

Грачёв В. Ю.

ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММ

**ВАЛИДАЦИЯ, ВЕРИФИКАЦИЯ,
СЕРТИФИКАЦИЯ**

20.05.2014

Грачев В.Ю.

ОЦЕНКА ПОЖАРНЫХ МОДЕЛЕЙ И ПРОГРАММ. ВАЛИДАЦИЯ, ВЕРИФИКАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ.

ООО «СИТИС», 2014 г.

Рабочие материалы книги по состоянию на 20.05.2014 года.

Переводчики:

Патрушева Н.А.

Слепушкин В.А.

© Грачев В.Ю., 2014 г.

© ООО «СИТИС», 2014 г.

ООО «СИТИС»

620028 Екатеринбург, ул. Долорес Ибаррури, 2

Тел: 310-00-99

e-mail: support@sitis.ru

www.sitis.ru

Содержание

Введение.....	4
Сертификация и декларирование соответствия программ	5
Понятия валидации и верификации	8
Иерархия моделей.....	9
Верификация расчетов.....	11
Обзор источников	13
Оценка пожарных моделей и численных методов	15
ISO 16730-1:2008 Оценка, верификация и валидация методов пожарно-технических расчетов	15
ISO/TR 16730-2:2013 Пример валидации зонной модели пожара.....	40
ISO/TR 16730-3:2013 Пример валидации модели вычислительной гидродинамики	51
ISO/TR 16730-4:2013 Пример валидации модели конструкции	71
ISO/TR 16730-5:2013 Пример валидации модели эвакуации	78
NIST 1822 Процесс верификации и валидации моделей эвакуации зданий при пожаре	107
ASTM E 1355-05a Оценка прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров	151
Брошюра ASME и NAFEMS «Что такое валидация и верификация?».....	161
ASME V&V 20-2009 Валидация и верификация в вычислительной гидродинамике.....	163
Требования к программам и технической документации программ	170
ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Требования к качеству и тестированию программ	170
ASTM E 1472–07 Составление документации программ моделей пожаров.....	180
Требования к выполнению расчетов.....	187
NAFEMS QSS 001:2007 Инженерное моделирование – Системы менеджмента качества – Требования.....	187
SAFESA – Руководство по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов	203
Сокращения и обозначения	210
Список литературы.....	211

Введение

В данном справочном руководстве приведены материалы по оценке пожарных моделей и программ для выполнения расчетов в области пожарной безопасности. К таким расчетам могут относиться:

- расчет времени блокирования путей эвакуации при определении расчетных величин индивидуального и социального пожарного риска по утвержденным методикам МЧС РФ;
- расчет температурного воздействия на несущие и ограждающие конструкции при расчетах огнестойкости и огнестойкости конструкций и их элементов;
- расчет распространения пожара в соседнее помещение или на соседнее здание при определении противопожарных расстояний и разрывов;
- моделирование работы систем дымоудаления и пожаротушения;
- расчет сил и средств для тушения пожаров;
- расчет ущерба при пожарах;
- другие подобные пожарно-технические расчеты.

Расчеты с использованием пожарных моделей и программ выполняются на различных этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий и сооружений:

- при разработке специальных технических условий на проектирование и строительство;
- при разработке проектной документации;
- при разработке рабочей документации;
- при оформлении декларации пожарной безопасности на построенный объект;
- при оформлении декларации пожарной безопасности на эксплуатируемый объект при пожарном аудите;
- при оформлении декларации пожарной безопасности на эксплуатируемый объект после перепланировки или изменения параметров его использования;
- при определении страховыми компаниями размеров страховых премий;
- при расследовании пожаров;
- при выполнении других подобных работ и услуг.

Для каждого этапа в жизненном цикле здания и сооружения -проектирование, строительство, эксплуатация, реконструкция и т.п., и для разных типов расчетов – оценочные, проверочные и т.п., с разной степенью ответственности за достоверность результатов, исполнитель выбирает для расчета нужные математические модели и реализующее их программное обеспечение, которые могут обеспечить получение искомого результата с необходимой и достаточной точностью.

В данном случае под точностью подразумевается степень соответствия результата расчета реальному явлению, которое этот расчет моделирует. Поскольку для понятия «точность» сложно подобрать количественную оценку, то в инженерной практике более употребительно оперировать аналогичным понятием «погрешность». Под погрешностью понимается разница между рассчитанными параметрами рассматриваемого явления, и его реальным значением, или значением которое измерено высокоточными методами измерений. Точность и погрешность связаны следующей зависимостью: чем меньше погрешность – тем больше точность.

Не для всех параметрах моделируемых явлений можно подобрать критерий, имеющий численную величину, удобную для расчета и измерения. Характеристика достоверности таких параметров называется «неопределенностью» модели явления. Неопределенность связана с точностью аналогичным образом – чем меньше неопределенность, тем выше точность.

В этой ситуации перед специалистами, планирующими выполнение какого либо расчета, в том числе расчета в области пожарной безопасности, возникает задача выбора модели и программы. Какие аспекты нужно знать, чтобы сделать такой выбор?

Прежде всего конечно нужно рассмотреть формальные вопросы – есть ли какие-либо законодательные, нормативные и другие подобные ограничения. Если говорить о программах для компьютеров, то для них никаких ограничений по использованию не накладывается. Для программы для расчетов в области пожарной безопасности не включены с список продукции, для которых требуется обязательное подтверждение соответствия в форме обязательной сертификации или декларирования. Нет требований МЧС по аккредитации или другому подобному способу допуска программ к возможности выполнения расчетов пожарного риска и других пожарнотехнических расчетов.

Зачастую проектировщики во время государственной или негосударственной экспертизы разработанной ими проектной документации сталкиваются с требованием эксперта предоставить сертификат или другой разрешающий документ на использование программы, с помощью которой выполнен расчет пожарного риска. Что делать? В таких ситуациях я всегда рекомендую попросить уточнить у эксперта, о какой

сертификации идет речь – обязательной или добровольной? Если об обязательной, то надо попросить ссылку на документ, в котором написано требование о необходимости сертификации, в каком сертифицируемом органе должна быть выполнена сертификация, и на соответствие каким требованиям какого технического регламента нужно сертифицировать. Как правило после такого ответа вопросом на вопрос, требование предоставить какой-то сертификат экспертом снимается.

Второй вопрос – какую математическую модель для выполнения расчета выбрать. На него ответ проще – если речь идет об утвержденных МЧС методиках, то исчерпывающий список моделей для расчетов приведен в приложениях к методикам. Это три модели для динамики опасных факторов пожара, и три модели для движения людей при эвакуации.

Далее идет вопрос о реализации выбранной математической модели – о программном обеспечении, как правило реализующий какой-либо численный метод решения сложных систем нелинейных уравнений, заложенных в эту математическую модель. И вот здесь встает реальный вопрос выбора – одну и ту же систему уравнений одной и той же математической модели различные численные методы и соответствующие им алгоритмы компьютерных программ рассчитывают с различной погрешностью.

Иногда эта погрешность может быть весьма велика и соизмеряться с полученным результатом или даже быть значительно больше его. Можно ли на основании подобного расчета принимать проектное решение, от которого зависит безопасность многих людей и сохранность имущества значительной ценности? Ответ на этот всегда персонально принимает специалист (или руководитель группы специалистов), а отвечает за него руководитель организации, выполняющий с использованием результатов расчета работы, требующие специального допуска (для проектных работ – допуск СРО, для пожарного аудита и оценки пожарного риска – аккредитация МЧС).

Для того, чтобы специалисту осознанно делать ответственный выбор необходимой математической модели и численного метода её реализации конкретной программой, ему нужна информация. Эта информация является неотъемлемой составляющей программного обеспечения, выполняющей инженерное моделирование и какие-либо инженерные расчеты. Такая документация обычно называется «техническое руководство» и в отличие от «руководства пользователя» описывает не интерфейс программы, а методологию и реализацию методов расчета, а также приводит информацию, подтверждающую отсутствие ошибок в программе, а поскольку программ без ошибок практически не бывает, то подтверждает небольшую наличия каких-либо ошибок. В случаях использования в программе сложных моделей, техническое руководство может подразделяться на руководство по валидации и руководство по верификации. В данном контексте под валидацией понимается описание погрешности и неопределенности математической модели, а под верификацией понимается описание погрешности численного метода решения системы уравнений математической модели.

В этой работе приведены данные, собранные из различных нормативных и методических отечественных и зарубежных источников, касающихся вопросов оценки достоверности пожарных моделей, а также вопросам описания разработчиками программного обеспечения свойств конкретных реализаций (версий) программ и объема информации, которая должна содержаться в технических руководствах, руководствах по валидации и верификации.

Сертификация и декларирование соответствия программ

Правовой основой технического регулирования в области пожарной Федеральный закон "О техническом регулировании", Федеральный закон "О пожарной безопасности" и федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»), в соответствии с которыми разрабатываются и принимаются нормативные правовые акты Российской Федерации, регулирующие вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов защиты (продукции) (ст.3 гл.1 ФЗ от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»).

Также вопросы пожарной безопасности зданий и сооружений регламентируются федеральным законом «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

В соответствии со ст. 7 гл 2. ФЗ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучений;
- биологическую безопасность;
- взрывобезопасность;
- механическую безопасность;
- пожарную безопасность;
- безопасность продукции (технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте).

Закон описывает следующие понятия:

декларация о соответствии - документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

декларирование соответствия - форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов;

подтверждение соответствия - документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, выполнения работ или оказания услуг требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров;

сертификат соответствия - документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров;

сертификация - форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров;

декларация пожарной безопасности - форма оценки соответствия, содержащая информацию о мерах пожарной безопасности, направленных на обеспечение на объекте защиты нормативного значения пожарного риска;

подтверждение соответствия в области пожарной безопасности - документальное удостоверение соответствия продукции или иных объектов, выполнения работ и оказания услуг требованиям технических регламентов, стандартов, норм пожарной безопасности или условиям договоров.

Подтверждение соответствия осуществляется в целях (ст. 18, гл. 4 ФЗ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»):

удостоверения соответствия продукции, процессов проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работ, услуг или иных объектов техническим регламентам, стандартам, сводам правил, условиям договоров;

содействия приобретателям, в том числе потребителям, в компетентном выборе продукции, работ, услуг;

повышения конкурентоспособности продукции, работ, услуг на российском и международном рынках;

создания условий для обеспечения свободного перемещения товаров по территории Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Подтверждение соответствия осуществляется на основе принципов (ст. 19, гл. 4 ФЗ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании»):

доступности информации о порядке осуществления подтверждения соответствия заинтересованным лицам;

недопустимости применения обязательного подтверждения соответствия к объектам, в отношении которых не установлены требования технических регламентов;

установления перечня форм и схем обязательного подтверждения соответствия в отношении определенных видов продукции в соответствующем техническом регламенте;

уменьшения сроков осуществления обязательного подтверждения соответствия и затрат заявителя;

недопустимости принуждения к осуществлению добровольного подтверждения соответствия, в том числе в определенной системе добровольной сертификации;

защиты имущественных интересов заявителей, соблюдения коммерческой тайны в отношении сведений, полученных при осуществлении подтверждения соответствия.

Подтверждение соответствия в области пожарной безопасности (ст. 3 глава I ФЗ от 21.12.94 №69-ФЗ «О пожарной безопасности»).

Подтверждение соответствия продукции и услуг установленным требованиям в области пожарной безопасности осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Формы подтверждения соответствия приведены в ст. 20, гл. 4 закона «О техническом регулировании»:

1. Подтверждение соответствия на территории Российской Федерации может носить добровольный или обязательный характер.

2. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется в форме добровольной сертификации.

3. Обязательное подтверждение соответствия осуществляется в формах:

принятия декларации о соответствии (далее - декларирование соответствия);
обязательной сертификации.

4. Порядок применения форм обязательного подтверждения соответствия устанавливается настоящим Федеральным законом.

Добровольное подтверждение соответствия (ст. 21, гл. 4 закона «О техническом регулировании»):

1. Добровольное подтверждение соответствия осуществляется по инициативе заявителя на условиях договора между заявителем и органом по сертификации. Добровольное подтверждение соответствия может осуществляться для установления соответствия национальным стандартам, предварительным национальным стандартам, стандартам организаций, сводам правил, системам добровольной сертификации, условиям договоров.

Объектами добровольного подтверждения соответствия являются продукция, процессы производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации, работы и услуги, а также иные объекты, в отношении которых стандартами, системами добровольной сертификации и договорами устанавливаются требования.

Система добровольной сертификации может быть создана юридическим лицом и (или) индивидуальным предпринимателем или несколькими юридическими лицами и (или) индивидуальными предпринимателями.

Лицо или лица, создавшие систему добровольной сертификации, устанавливают перечень объектов, подлежащих сертификации, и их характеристик, на соответствие которым осуществляется добровольная сертификация, правила выполнения предусмотренных данной системой добровольной сертификации работ и порядок их оплаты, определяют участников данной системы добровольной сертификации. Системой добровольной сертификации может предусматриваться применение знака соответствия.

Система добровольной сертификации может быть зарегистрирована федеральным органом исполнительной власти по техническому регулированию.

Обязательное подтверждение соответствия (ст. 25, гл. 4 закона «О техническом регулировании»):

1. Обязательное подтверждение соответствия проводится только в случаях, установленных соответствующим техническим регламентом, и исключительно на соответствие требованиям технического регламента.

Объектом обязательного подтверждения соответствия может быть только продукция, выпускаемая в обращение на территории Российской Федерации.

2. Форма и схемы обязательного подтверждения соответствия могут устанавливаться только техническим регламентом с учетом степени риска недостижения целей технических регламентов.

3. Декларация о соответствии и сертификат соответствия имеют равную юридическую силу и действуют на всей территории Российской Федерации в отношении каждой единицы продукции, выпускаемой в обращение на территории Российской Федерации во время действия декларации о соответствии или сертификата соответствия, в течение срока или срока службы продукции, установленных в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Единый перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации приведен в Постановлении Правительства РФ от 01.12.2009 N 982 с изменениями в Постановлениях Правительства РФ от 17.03.2010 N 149, от 26.07.2010 N 548, от 20.10.2010 N 848, от 13.11.2010 N 906, от 21.03.2012 N 213, от 04.05.2012 N 435, от 18.06.2012 N 596, от 04.03.2013 N 182).

Единый перечень продукции, подтверждение соответствия которой осуществляется в форме принятия декларации о соответствии приведен в том же Постановлении Правительства РФ от 01.12.2009 N 982 с изменениями в Постановлениях Правительства РФ от 20.10.2010 N 848, от 13.11.2010 N 906, от 21.03.2012 N 213, от 04.05.2012 N 435, от 18.06.2012 N 596, от 04.03.2013 N 182, от 04.10.2013 N 870).

Продукция, на которую не распространяется действие технических регламентов и которая при этом не включена ни в один из указанных перечней не подлежит обязательному подтверждению соответствия (п. 3.1 гл. 10 ФЗ «О техническом регулировании»).

В Единых перечнях продукции, подлежащей обязательной сертификации или декларированию, не указано никаких компьютерных программ, в том числе программ по расчетам в области пожарной безопасности.

В других документах, регламентирующих выполнение расчетов в области пожарной безопасности, также не оговаривается необходимость какой-либо сертификации или аккредитации программного обеспечения.

Приведем пример – Постановление от 31 марта 2009 г. N 272 «ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ ПО ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОГО РИСКА».

1. Настоящие Правила устанавливают порядок проведения расчетов по оценке пожарного риска в случаях, установленных Федеральным законом "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", при составлении декларации пожарной безопасности.

2. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с соответствующими нормативными значениями пожарных рисков, установленными Федеральным законом "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

3. Определение расчетных величин пожарного риска осуществляется на основании:

- а) анализа пожарной опасности объекта защиты;
- б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;
- г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

4. При проведении расчета по оценке социального пожарного риска учитывается степень опасности для группы людей в результате воздействия опасных факторов пожара, ведущих к гибели 10 человек и более.

5. Определение расчетных величин пожарного риска проводится по методикам, утверждаемым Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий.

6. Методики, предусмотренные пунктом 5 настоящих Правил, подлежат опубликованию в печатном издании Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий и размещению в информационной системе общего пользования в электронно-цифровой форме на период их действия.

7. Расчеты по оценке пожарного риска оформляются в виде отчета, в который включаются:

- а) наименование использованной методики, предусмотренной пунктом 5 настоящих Правил;
- б) описание объекта защиты, в отношении которого проведен расчет по оценке пожарного риска;
- в) результаты проведения расчетов по оценке пожарного риска;
- г) перечень исходных данных и используемых справочных источников информации;
- д) вывод об условиях соответствия (несоответствия) объекта защиты требованиям пожарной безопасности.

В этом документе, так же как и в других подобных документах – приказах и постановлениях, требований к обязательной оценке соответствия программ, используемых для расчетов в области пожарной безопасности, не оговаривается.

Понятия валидации и верификации

Валидация и верификация – часто при совместном использовании обозначаемые как V&V - термины, которые практически в каждом документе имеют различное определение и имеют различный смысловой оттенок. К тому же в зависимости от контекста употребления, они могут относиться к разным понятиям. Поэтому при чтении различных документов, оперирующими этими понятиями, нужно каждый раз уточнять их определения конкретно в этих документах. Наверное, самое сложное для понимания определения валидации и верификации приведено в стандарте ИСО 9001, посвященному менеджменту качества.

Я в своей работе и общении с коллегами использую эти термины следующим образом:

Валидация – документированное определение точности какого либо метода или процесса.

Верификация – документированное определение точности результата использования какого либо метода или процесса.

Для меня важным является слово «документированное» в этих определениях терминов, говорящее что определение точности выполняется не «на глазок», не прикидочно, а на основании инженерного анализа, и оформлено таким образом, что может быть понято, осознано, проверенно и подтверждено другими специалистами.

Но если прочитать определения в нижеприведенных стандартах и руководствах, то в каждом из них акценты сделаны на другие аспекты этих понятий.

Если говорить о компьютерных моделях и программах, то под валидацией и верификацией наиболее часто подразумевается следующее:

Валидация – определение точности (достоверности) концептуальной математической модели некоторого явления.

Верификация – определения точности (достоверности) численного метода реализации концептуальной математической модели в конкретной программе.

Когда же речь идет о выполнении некоторого расчета, то под его **валидацией** можно понимать использование для расчета компьютерной программы, обладающей возможностью обеспечить выполнение этого расчета с требуемой точностью. Под **верификацией** расчета понимается оценка правдоподобности и точности результата расчета.

При расчете, кроме используемой программы, значительное влияние на точность и достоверность результата оказывают принятые допущения и предпосылки, отсутствие ошибок при вводе исходных данных, отсутствие ошибок при интерпретации результатов вычислений и другие подобные аспекты.

Ошибиться при задании исходных данных и выполнить «неправильный» расчет с использованием «правильной» программы несложно, и такая ситуация случается довольно часто. Поэтому процедуру оценки и доказательства достоверности расчета, то есть верификацию, следует делать всегда, когда речь идет об ответственных решениях.

Иерархия моделей

Несколько сотен лет назад основной формой была масштабная уменьшенная модель некоего будущего объекта, над которой можно было работать, исследуя ее свойства с учетом подобия физических процессов. Например, натурные модели мостов, зданий или кораблей. В середине XX века широко использовались аналоговые вычислительные машины, где различные процессы моделировались электрическими процессами в системах, состоящих из резисторов, конденсаторов, амперметров, вольтметров и других электрических элементов и приборов.

В настоящее время наиболее распространенным является для решения практических задач является использование различных вычислительных моделей в виде программ для компьютеров.

Все модели можно разделить на две основных группы – **качественные модели** и **количественные модели**.

Количественная модель оперирует некими численными характеристиками. Можно выполнить расчет какого-то параметра, получить его значения и при необходимости сравнивать с какой-то величиной. Качественные модели оперируют не численными величинами, а какими-то закономерностями. Зачастую, это простые закономерности соотношений типа «больше / меньше». Все мы постоянно сталкиваемся с этими моделями при инженерном осмыслении той или иной задачи. Например, если в замкнутом помещении, где возник пожар и где расположено достаточно много горючего материала, открыть проем (дверь или окно), то туда будет поступать больше кислорода и интенсивность горения увеличится. Следовательно, увеличится термическое воздействие на ограждающие конструкции помещений. Схема «если поступает кислород, то увеличивается воздействие на конструкции» является некоторой качественной моделью. Другая модель «если в помещении пожара открываются большие проемы в стенах, то больше тепла уходит наружу и температурное воздействие на конструкции уменьшается». Такие качественные характеристики процессов, как правило, определяются на основании инженерного опыта и квалификации специалистов и их знании основополагающих подходов, без выполнения каких-либо вычислений. В связи с этим можно утверждать, что качественные модели находятся на более высоком уровне обобщения, чем количественные.

Математическая модель – это количественная модель, представляющая упрощенное отображение закономерностей реальных объектов и явлений в форме математических зависимостей.

Сейчас, с развитием вычислительной техники, в большинстве случаев это наиболее удобная и эффективная форма для решения практических задач в проектировании.

Выделяются три основных свойства модели:

- параметры модели – численные характеристики, являющиеся параметрами математических уравнений модели,
- область определения модели – диапазон значений параметров, при которых модель является корректной и для которого известна точность модели,
- точность модели – степень соответствия рассчитанных с помощью модели величин, соответствующим измеренным величинам реального явления.

Параметры модели

Какие параметры модели являются существенными, а какие нет? Если мы описываем какой-то реальный процесс или реальный объект, количество его свойств безгранично. Для большинства задач мелкие аспекты, например неровности на стенах и других ограждающих конструкциях, не являются существенными, как правило, решение определяется размерами помещения в целом.

В зависимости от того, с какой целью строится модель и которую задачу с ее помощью планируется решать, выделяются существенные и несущественные параметры модели. Для чего это нужно? При использовании любой модели нужно понимать эти параметры, потому что отсутствие учета какого-то существен-

ного параметра как правило приводит к существенным погрешностям и ошибкам.

Рассмотрим пример моделирования движения дыма в атриуме. Если рассматривать атриум как замкнутое пространство, в основании атриума смоделировать возгорание, а сверху поставить вытяжной вентилятор, то значительного удаления дыма происходить не будет, потому что в помещении возникнет разрежение, но движения нагретых слоев воздуха и дыма эта модель нам не продемонстрирует. Для того, чтобы было формирование припотолочного слоя и, соответственно, истечение дыма через отверстие или вентилятор, нужно подавать так называемый замещающий воздух, т.е. предусматривать приток воздуха, который будет компенсировать вытяжку. Если при моделировании, скажем посредством полевой или зонной модели не предусмотреть отверстие связи с внешним миром объема помещения, которые моделируется, то данные расчета при такой модели будут недостоверны. Таким образом, непонимание и неучет какого-то существенного параметра модели может привести к недостоверности результата расчета. К сожалению справочной литературы, где написано, какие параметры для какой модели являются существенными, я не встречал. Но специалист-расчетчик эти параметры должен знать и понимать физическую суть моделируемого процесса.

Область определения модели

Рассмотрим для примера тот же самый атриум. Что такое атриум? Это большое пространство, объединяющее несколько этажей или являющееся одним большим помещением. Чтобы правильно применять формулы некоторой аналитической модели для расчета динамики задымления атриума, в атриуме должны быть выполнены определенные соотношения размеров и высоты этого помещения. Как правило, считается, что над очагом пожара формируется колонка дымовых газов и вовлеченного воздуха, что формируется припотолочный слой. Из этого допущения накладываются ограничения на соотношение ширины к высоте помещений атриума, иначе формулы зависимостей, которые определены для больших помещений, работать не будут, поскольку могут возникнуть явления стратификации дымового слоя и другие аспекты при контакте колонки восходящих нагретых газов и стен помещения. Для того, чтобы можно было рассчитывать атриум по формулам, основанным на концепции зонной модели, требуется выполнение определенных соотношений между размерами помещения и высотой. Поэтому для каждой модели, очень существенной является область определения того метода, той математической модели, которая рассматривается. Если применять модель вне области определения, то полученные результаты могут быть крайне недостоверными.

Точность модели

Понятие точности характеризуются её погрешностью и неопределенностью.

Погрешностью является степень несоответствия модели реальному объекту, имеющая количественную характеристику. Как правило, под погрешностью понимается разница между рассчитанным и измеренным значением.

Неопределенность – это величина несоответствия реального явления и соответствующего ему модели, не имеющая количественной характеристики. Я полагаю, что к этой категории можно относить все аспекты выполнения расчетов, в которых присутствует субъективная экспертная составляющая, например экспертный выбор сценария пожара при расчете пожарного риска.

На форуме общения пользователей программного обеспечения фирмы СИТИС долгое время существовала дискуссия специалистов по пожарно-техническим расчетам - обсуждались данные по сравнению экспериментальных и расчетных данных программ моделирования динамики опасных факторов пожара. По одной серии выполненных испытаний была представлена информация о 20% расхождении между расчетом и экспериментом. Один специалист на форуме написал «Как так? Да не должно такого быть. Это же плохо». Другой специалист ответил: «Да нет, это нормальная точность для моделирования явлений при пожарах. Точнее не бывает», и далее каждая точка зрения нашла поддержку со стороны многих специалистов.

Как правило, точность моделей, которые мы рассматриваем, и для моделирования динамики опасных факторов пожара, и для экстремального движения людей при эвакуации, составляет 15-25%. Поэтому понимание точности модели является основополагающим и существенным для того, чтобы на результатах расчета специалисту можно было построить инженерное решение.

Если для расчета используется несколько моделей, то сразу возникает понятие иерархии моделей:

- **Инженерная модель**
- **Концептуальная математическая модель**
- **Расчетная схема концептуальной математической модели**
- **Вычислительная математическая модель 1 (низкая точность)**
- **Вычислительная математическая модель 2 (более высокая точность)**
- **Вычислительная математическая модель 3 (ещё более высокая точность)**
- **... и так далее**

Наверху иерархии всегда находится качественная модель (инженерная модель, инженерные суждения), а дальше идет ее детализация, чтобы прийти уже непосредственно к выполнению расчетов.

Следующий этап – создание концептуальной математической модели, например выбор одного из трёх методов расчета, который нам позволяет выбрать методика расчета пожарного риска. Эвакуацию мы можем

рассчитать тремя возможными способами. А каким конкретно мы будем считать эвакуацию для какого-либо данного случая? Концептуальная модель выбираем специалистом экспертным образом на основании своей квалификации и опыта, на основании своего личного инженерного суждения.

Дальше идет расчетная схема. Вариации в составление расчетной схемы, например деление расчетных участков пути движения людей на более мелкие участки иногда дает изменение результата на 15-20%. Поэтому составление расчетной схемы – это еще один этап моделирования.

Далее идет использование вычислительных моделей. Под вычислительной моделью можно понимать задание исходных данных в конкретную программу, реализующих некоторый расчетный метод и/или алгоритм. При использовании разных программ с одинаковыми исходными данными результат все равно будет немного разный. При необходимости можно использовать более точные модели, например в случае расчета эвакуации рассматривать не поточное, а индивидуальное движение. И так далее. То есть, теоретически процесс может быть бесконечен, но практически нужно где-то когда-то остановиться, потому что любая работа требует человеческих ресурсов и времени, и они не бесконечны.

Верификация расчетов

Не важно, валидированная или невалидированная программа или методика использована, есть на неё какой-нибудь сертификат, рекомендательное письмо или нет, все равно, любой расчет надо проверять. Потому что есть этап задания исходных данных, и, как правило, основные ошибки в расчетах – это ошибки в создании расчетных моделей и введении исходных данных. Основная ошибка – ошибка в количестве нолей. Получаются ошибки или в десять, сто, тысячу раз. Такую ошибку легко сделать. При этом результат в десяти случаях может быть почти такой же, как всегда, а в одиннадцатом он будет в два раза хуже или лучше.

В любом случае нужно проверять правильность решения. Какие существуют методы проверки правильности? Во-первых это **инженерное суждение** на основании обобщении практики. Получили какую-то цифру, нужно проверить ее на разумность. И если она не внушает доверия, надо искать ошибку в исходных данных или в выбранной методике расчета.

Второе – это **оценочный расчет**. Можно делать какую-то сложную модель, рассчитать, и получить некие числа. И где-то сделать ошибку. А как проверить? Скажем, посчитали ОФП какой-нибудь полевой моделью. Затем сделали какой-нибудь простенький расчет по интегральной модели для большого помещения, посмотрели на соответствие. Прикинули, совпадает или не совпадает. То есть, оценочный расчет – это, как правило, упрощенные расчеты, вручную или по какой-то простенькой программке, для сравнения результатов или оценке их сопоставимости.

Третий метод – это **Анализ чувствительности**. Как я говорил, есть качественная модель. То есть, добавляем в помещение кислород, увеличиваем пожарную нагрузку, пожар, при добавлении кислорода, должно больше гореть. Смоделировали пожар, получили результат, расширили какое-то отверстие, добавили приток кислорода, посмотрели, что поменяется? Если ничего не изменилось, значит где-то, какой-то процесс не учтен. Все мы знаем, на основании нашего инженерного опыта, что должно происходить на практике или при расчетах. И добавляя, изменяя параметры исходных данных, на какую-то небольшую величину, например на 10%, мы можем предсказать, насколько изменится результат. Предположим должна быть пропорциональная зависимость, и если ее не возникает, значит это предупреждение, что в использованной расчетной модели что-то может быть не так.

Расчет с последующим уточнением. Если оценочный расчет – это проверка результата выполненного расчета более грубым расчетом, то расчет с последующим уточнением наоборот – выполнение расчета с более точными исходными данными, с более точной моделью, для того, чтобы понять, насколько изменится при уточнении первый результат. Если, опять же изменение соизмеримо с ожидаемым – это нормально. А если нет, опять же надо анализировать и искать возможные ошибки.

Как пример, я хочу рассказать о расчете, который мы выполняли, когда разбирались с методикой расчета американской программы полевого метода FDS. У американцев немножко другая терминология по оптической плотности дыма, и мы решили посмотреть как американская терминология и реализованные в программе методы соотносятся с тем, что мы используем у нас в России. Мы замоделировали аппарат для определения дымообразующей способности материалов по ГОСТ 12.1.044. Это камера измерений 80 x 80 сантиметров, и камера где лежит образец материала, который нагревается и горит размером 15 x 15 сантиметров.

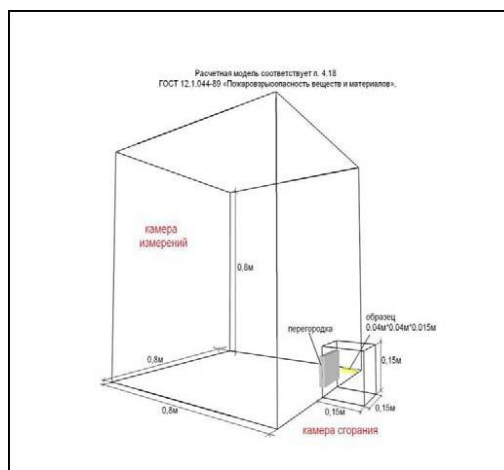


Рис. 15

Создали модель, положили условный материал, зажгли его, рассчитали полученную оптическую плотность дыма и начали увеличивать разбиения моделируемого пространства на расчетные ячейки. В первом расчете были ячейки по 10 см, потом по 5 см, потом по 1 см и так далее. Что мы ожидали? Чем меньше ячейка, тем лучше точнее результат. Я ждал, что для графика оптической плотности от размера ячейки найдется асимптота, и будет видно к какому значению стремится результаты расчета при предполагаемом увеличении точности, что при уменьшении размера ячейки расчеты асимптотически сойдутся к какой-то величине, это и будет то, что близко к реальности.

Вот что получилось на практике.

Во-первых, время расчета. Если для ячейки 10x10 см расчеты занимали около пяти минут, то если брать ячейку 5x5 см, расчет уже шел 45 минут. Ячейка 1x1 см считалась неделю.

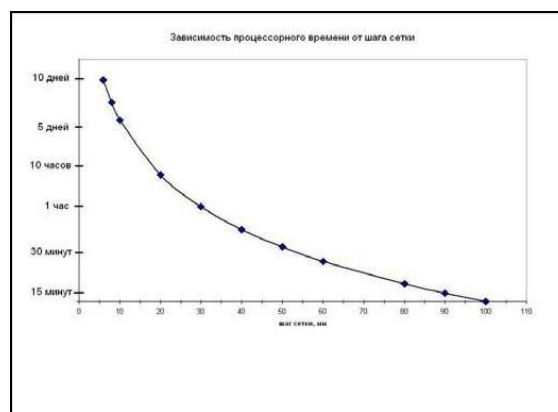


Рис. 16

В результате выполненных расчетов асимптота не получилась. На графике показаны оптические плотности через 510 секунд времени моделирования, через 360 и через 150 секунд. Меняя шаг сетки разбиения, не получили сходимости результатов. Представьте, что есть абстрактная задача проверить определенные параметры объемно-планировочных решений и параметров противопожарных систем здания, и это задача в составе расчета пожарного риска и мы определяем блокирование путей эвакуации. Определяющей характеристикой является видимость.

Просчитали сетку 60 x 60 мм, получили значение видимости 3,5 м через 3 минуты после начала пожара. Просчитали сетку 80x80 мм, получили значение 1,5 м.

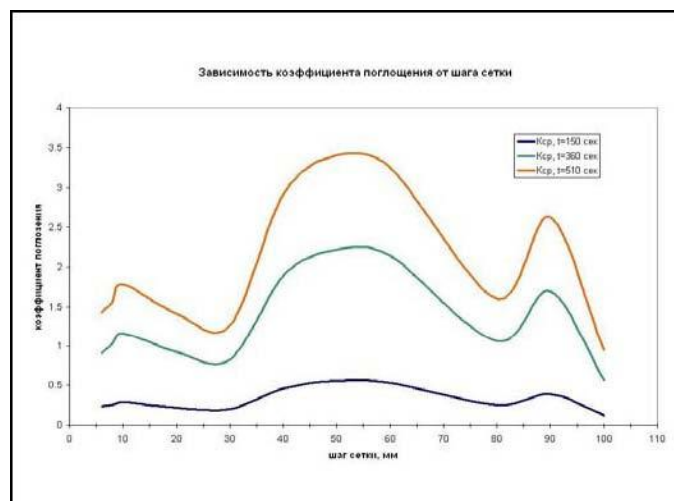


Рис. 17

Я не предполагаю, что полевой метод вычислительной гидродинамике и модель горения материалов, реализованные в программе FDS, приводят к нестабильным результатам расчета. Думаю, что при задании расчетчиком каких-то параметров в исходных данных этого конкретного расчета была ошибка. Ввиду того, что расчет не применялся в составе проектной работы, а был оценочным, то процедуру поиска и выявления ошибки мы не делали, оставив этот расчет как пример для обсуждения. Этот пример в очередной раз подтверждает, что всегда надо проверять результат на его достоверность и разумность. И, как правило, по одному набору исходных данных, по одному расчету это сделать практически невозможно, если нет каких-то оценок, основанных на обобщении экспериментальных данных и/или других верифицированных расчетов, по которым можно удостовериться в правдоподобности полученного результата с точностью, необходимой для использования результатов расчета.

Обзор источников

В настоящей книге использована и обобщена информация, изложенная в международных и национальных стандартах и технических руководствах национальных институтов и инженерных обществ. Все документы можно разбить на три группы.

Стандарты и руководства по оценке пожарных моделей и их численной (программной) реализации

В этих документах даются определения методов оценки достоверности моделей и численных методов, использующихся при компьютерном моделировании, с учетом специфики задач, решаемых при пожарнотехнических расчетах.

- ISO 16730-1:2008 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета;
- ISO/TR 16730-2:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 2: Пример зонной модели пожара;
- ISO/TR 16730-3:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели вычислительной гидродинамики;
- ISO/TR 16730-4:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели конструкции;
- ISO/TR 16730-5:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели эвакуации;
- NIST 1822 Техническое примечание. Процесс верификации и валидации моделей эвакуации из зданий при пожаре;
- ASTM E 1355-05a Стандартное руководство по оценке прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров;
- Брошюра ASME и NAFEMS «Что такое валидация и верификация»;
- ASME V&V 20-2009 Стандарт по валидации и верификации в вычислительной гидродинамике.

Стандарты, содержащие требования и рекомендации к оформлению документации к программам.

Документы этой группы переводят несколько теоретизированные рассуждения руководств по V&V из первой группы в практическую плоскость, поскольку через требования обязательного наличия исчерпы-

вающей, наглядной и удобочитаемой документации о функционировании конкретной реализации программы, осуществляют связь между невидимой глазу начинкой «черного ящика» программы с специалистом-расчетчиком.

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование;
- ASTM E 1472-07. Стандартное руководство по составлению документации для компьютерного программного обеспечения моделей пожаров.

Документы, содержащие требования и рекомендации к выполнению расчетов и квалификации специалистов-расчетчиков

Документы этой группы основываются на понятиях, приведенных в предыдущих документах, и описывают методологию использования моделей при выполнении компьютерных расчетов в какой-либо ответственной сфере деятельности – приводят рекомендации какие модели использовать, какие программы для этого выбирать и как проверять результаты расчета на достоверность и необходимую для дальнейшего использования точность.

- NAFEMS QSS 001:2007 Инженерное моделирование – Системы менеджмента качества – Требования;
- SAFESA – Руководство по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов.

Оценка пожарных моделей и численных методов

В этом разделе приведен обзор содержания следующих документов:

- ISO 16730-1:2008 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета;
- ISO/TR 16730-2:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 2: Пример зонной модели пожара;
- ISO/TR 16730-3:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели вычислительной гидродинамики;
- ISO/TR 16730-4:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели конструкции;
- ISO/TR 16730-5:2013 Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета: пример модели эвакуации;
- NIST 1822 Техническое примечание. Процесс верификации и валидации моделей эвакуации из зданий при пожаре;
- ASTM E 1355-05a Стандартное руководство по оценке прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров;
- Брошюра ASME и NAFEMS «Что такое валидация и верификация»;
- ASME V&V 20-2009 Стандарт по валидации и верификации в вычислительной гидродинамике.

ISO 16730-1:2008 Оценка, верификация и валидация методов пожарно-технических расчетов

Введение

Цель пожарно-технического анализа заключается в оказании помощи в достижении приемлемого прогноза уровня пожарной безопасности. Часть этой работы предполагает использование методов расчета с целью предсказать ход событий, которые потенциально могут иметь место в случае пожара или в результате пожара. Эта работа включает в себя использование методов расчета для оценки возможностей противопожарной защиты по снижению влияния неблагоприятных последствий пожара на людей, имущество, окружающую среду и другие объекты. Основными принципами, которые необходимы для обеспечения надежности этих методов расчета, являются оценка, верификация и валидация.

Существует необходимость наличия стандарта как технической базы для обеспечения разработчиков и пользователей методов расчета и третьих лиц процедурами для проверки, является ли точность метода расчета достаточной для конкретных задач.

Настоящий стандарт рассматривает оценку, верификацию и валидацию методов расчета пожарно-технического анализа в целом.

Это необходимо, чтобы потенциальные пользователи методов расчета и те, кто просят признать результаты быть уверенными, что методы расчета обеспечивают достаточно точные прогнозы хода и последствий пожара для конкретного запланированного применения. Для обеспечения этой гарантии, необходимо, чтобы рассматриваемые методы расчета были проверены на предмет математической точности и была проведена валидация на способность воспроизвести явление.

Не существует фиксированного требования к точности, которое применимо ко всем методам расчета. Уровень точности зависит от целей, для которых используется метод расчета. Необязательно, что все методы расчета демонстрируют высокую точность, так как в методах расчета существуют ошибки, неопределенности и ограничения применимости.

Предметом настоящего стандарта является точность прогноза методов расчета. Тем не менее, другие факторы, такие как простота использования, актуальность, полнота и состояние разработки играют важную роль в оценке использования наиболее подходящего метода для конкретного применения. Оценка пригодности метода расчета специального назначения в области пожарно-технического анализа поддерживается использованием методологии контроля качества, чтобы гарантировать выполнение требований. Руководство для установления системы показателей для измерения атрибутов соответствующих характеристик качества в краткой форме изложено в настоящем стандарте.

Настоящий стандарт предназначен для использования следующим кругом лиц:

- а) разработчиками методов расчета (частные лица или организации, осуществляющие разработку, в том числе анализ требований, проектирование и тестирование компонентов), для документирования полезности того или иного метода расчета, возможно, для конкретных приложений. Часть разработки метода расчета включает в себя определение точности и границ применимости и независимое тестирование,
- б) разработчиками методов расчета (частные лица или организации, которые поддерживают компьютерные модели, поставляют компьютерные модели и для тех, кто оценивает качество

компьютерных моделей в рамках обеспечения качества и контроля качества), для документирования процесса разработки программного обеспечения и гарантирования пользователям, что соответствующие методы испытаний соблюдаются для обеспечения качества инструментов приложений,

- в) пользователями методов расчета (лица или организации, которые используют методы расчета для выполнения анализа), чтобы удостовериться в том, что они используют подходящий метод для конкретного применения, и что он обеспечивает достаточную точность, разработчиками норм и стандартов, чтобы определить, является ли метод расчета подходящим для данного применения,
- г) надзорными органами/представителями надзорных органов (частные лица или организации, которые занимаются изучением и утверждением использования методов и инструментов оценки), чтобы гарантировать, что представленные методы расчета четко показывают, что метод расчета используется в рамках своей области применения и имеет приемлемый уровень точности,
- д) педагогами, чтобы продемонстрировать применение и допустимость преподаваемых методов расчета.

Необходимо, чтобы пользователи настоящего стандарта имели соответствующую квалификацию и компетентность в области пожарно-технического анализа и оценки риска. Важно, чтобы пользователи понимали параметры, в рамках которых могут быть использованы конкретные методики.

Термины и определения

В настоящем документе применяются термины и определения, приведенные в ISO 13943 и ISO/TR 13387-1, а также следующие ниже.

ПРИМЕЧАНИЕ. Некоторые определения были уточнены для пояснения текущего понимания значения терминов в области техники противопожарной безопасности.

Точность (*accuracy*) – степень точности, которой фактически соответствует приближение, измерение и т.д.

В контексте настоящего международного стандарта, численная (или математическая) точность является частью процесса верификации для методов расчета, где компьютерная модель пожара может представлять такой метод расчета. Точность может быть выражена в форме указания неопределенности расчета или решения (решений) модели.

Оценка (*assessment*) – представляет собой процесс определения степени, в которой метод расчета является точным отражением реальности с точки зрения целей применения метода расчета и степени точности, в которой реализация метода расчета точно отражает выполненное разработчиком концептуальное описание метода расчета и решение метода расчета. Ключевыми процессами в оценке пригодности метода расчета являются верификация и валидация.

Метод расчета (*calculation method*) – является математической процедурой, которая используется для прогнозирования связанных с пожаром явлений. Методы расчета могут отражать поведение людей, а также объект или пожар; по виду могут быть как вероятностными, так и детерминированными, и могут быть выражены как алгебраическими формулами, так и сложными компьютерными моделями.

Калибровка модели (*calibration of a model*) – процесс настройки параметров моделирования в вычислительной модели с целью повышения соответствия экспериментальным данным.

Компьютерная модель (*computer model*) – является компьютерной программой, которая реализует концептуальную модель.

Концептуальная модель (*conceptual model*) – представляет собой описание, состоящее из всей информации, данных математического моделирования и математических уравнений, описывающих представляющую интерес (физическую) систему или процесс.

Значение по умолчанию (*default value*) – стандартная настройка или состояние, которое используется программой, если системой или пользователем не задана альтернативная настройка или состояние.

Детерминированная модель (*deterministic model*) – является методом расчета, который использует научно-обоснованные математические выражения для получения одинакового результата каждый раз, когда расчет осуществляется с одним и тем же набором значений входных данных.

Инженерная оценка (*engineering judgment*) – представляет собой процесс, выполняемый специалистом, обладающим соответствующей квалификацией исходя из своего образования, опыта и признанных навыков, который уполномочен выполнять, дополнять, принимать или отклонять компоненты количественного анализа.

Ошибка (*error*) – это признаваемая неточность в любой фазе или действии в процессе расчета, не вызванная недостаточностью знаний.

Модель пожара (*fire model*) – реализация системы или процесса, связанного с развитием пожара, включая динамику пожара и воздействие пожара.

Математическая модель (*mathematical model*) – это наборы уравнений, описывающие поведение физической системы.

Показатель измерения (*measure*) – переменная, которой присваивается значение в результате измерения.

Измерение (*measurement*) – набор операций с целью определения значения показателя измерения.

Система показателей (*metric*) – количественные или качественные измерения относительно достижения желаемого показателя качества.

Моделирование (*modelling*) – процесс построения или модификации модели.

Численная модель (*numerical model*) – численная реализация физической модели (пожара).

Физическая модель (*physical model*) – модель, которая пытается воспроизвести такое явление как пожар в упрощенной физической ситуации, например, в моделях в масштабе.

Вероятностная модель (*probabilistic model*) – модель, которая рассматривает явление в виде серии последовательных событий или состояний, с использованием математических действий для управления переходом от одного события к другому, например, от возгорания к установившемуся горению, а также вероятностей, заданных для каждой точки перехода.

Моделирование (*simulation*) – выполнение или использование метода расчета.

Расчетная модель (*simulation model*) – модель, которая рассматривает динамические соотношения, как правило, существующие в реальной ситуации, как ряд элементарных операций с соответствующими переменными.

Неопределенность (*uncertainty*) – потенциальная неточность в любой фазе или действии в процессе моделирования, вызванная недостаточностью знаний.

Валидация (*validation*) – процесс определения степени, при которой метод расчета является точным отражением реальности с точки зрения предполагаемого использования метода расчета.

Верификация (*verification*) – процесс определения того, что реализация метода расчета точно отражает выполненное разработчиком концептуальное описание метода расчета и решение метода расчета. Фундаментальная стратегия верификации вычислительных моделей представляет собой идентификацию и количественную оценку ошибок в расчетной модели и их решение.

Документация

Основные положения

Техническая документация должна быть достаточно подробной, чтобы все результаты расчетов могли быть воспроизведены с установленной достоверностью и точностью квалифицированным, независимым лицом или группой лиц. Достаточная документация методов расчета, в том числе компьютерное программное обеспечение, имеет важное значение для оценки адекватности научно-технической основы методов расчета и точности вычислительных процессов. Кроме того, адекватная документация может помочь в предотвращении непреднамеренного неверного применения методов расчета. Отчеты о любой оценке конкретного метода расчета должны быть частью документации. Достоверность метода расчета включает в себя сравнения результатов с данными практических испытаний, на основе исследования или из реальных приближений и должна быть указана, применяя методику обеспечения контроля качества. Это дает показатели или набор показателей измерений, которые должны сравниваться с заранее определенными критериями, чтобы продемонстрировать, соблюдаются ли утвержденные требования к качеству.

Документация должна включать следующее:

- техническую документацию, которая объясняет научную основу метода расчета;
- руководство пользователя, если это компьютерная программа;

В данных пунктах описаны необходимые требования к технической документации и руководству пользователя. Список достаточно длинный, но не подразумевается, что он исключает другие формы информации, которые могут помочь пользователю в оценке применимости и удобства использования метода расчета.

Техническая документация

Техническая документация необходима для оценки научной базы метода расчета. Предоставление технической документации метода расчета является задачей, выполняемой разработчиками модели. Необходимо, чтобы техническая документация детально описывала метод расчета и его основу, демонстрировала способность метода выполняться надлежащим образом, и предоставляла пользователям информацию, необходимую для правильного применения метода расчета. В случае расчетов, которые используют алгебраические уравнения, полученные из результатов испытаний путем регрессии, или если применяются аналитические решения, пользователь должен полагаться на соответствующую документацию из стандартов или аналогичные материалы, например, на научную литературу. Когда разрабатываются стандарты, которые содержат методы расчета для использования в пожарной безопасности, источник (источники) для используемых методов расчета, а также техническая документация, как описано ниже, должны предоставляться, где это применимо.

а) Описание метода расчета должно включать полную информацию о нижеследующем:

1) цель:

- определить решаемую задачу или выполняемую функцию;
- описать результаты метода расчета;
- включать технико-экономические обоснования и формулировку обоснованности;

2) теория:

- описать основную концептуальную модель (главное явление), если применимо;
- описать теоретическую основу явления и физические законы, на которых основывается метод расчета, если применимо;

3) применение теории, если применимо:

- представить основные уравнения;
- описать используемые математические методы, процессы и вычислительные алгоритмы и предоставить ссылки на них;
- определить все допущения, внедренные в логику, с учетом ограничений по входным параметрам, которые вызваны областью применения метода расчета;
- обсудить точность результатов, полученных важными алгоритмами и, в случае компьютерных моделей, любую зависимость от конкретных компьютерных возможностей;
- описать результаты анализа чувствительности;

3) входные данные:

- описать нужные входные данные;
- предоставить информацию об источнике необходимых данных;
- для компьютерных моделей – перечислить все необходимые вспомогательные программы или внешние файлы данных;
- предоставить информацию об источнике, содержании и использовании библиотек данных для компьютерных моделей.

б) Необходимо, чтобы оценка (верификация и валидация) метода расчета была полностью описана, с подробной информацией о нижеследующем:

- результаты любых попыток оценки прогностических способностей метода расчета, что должно быть представлено в количественном выражении;
- ссылки на обзоры, аналитические тесты, сравнительные тесты, экспериментальную валидацию и проверки кода, которые уже выполнены. Если, в случае компьютерных моделей, валидация метода расчета основана на бета-тестировании, документация должна включать профиль тех, кто участвовал в тестировании (например, участвовали ли они в какой-либо степени в разработке метода расчета, или они были обычными пользователями, были ли им даны дополнительные инструкции, которые не доступны потенциальным пользователям конечного продукта, и т.д.);
- степень, в которой метод расчета соответствует требованиям настоящего международного стандарта.

Техническая документация должна быть собрана в один документ, такой как руководство, если речь идет о компьютерных моделях. Всякий раз, когда явные алгебраические уравнения используются для решения противопожарной безопасности инженерная задача, соответствующая техническая документация может именоваться из источников, указанных выше.

Подготовив эту документацию, однако, процессы верификации и валидации не считаются завершенной, пока третья сторона не прошла через процесс самостоятельно ("аудиторская третья сторона"). Этот процесс аудита поддерживается определения и использования соответствующих методов обеспечения качества, чтобы достигнуть меры или набора (полученных) мер, что позволяет масштабировать качество расчетного метода и определяет, является ли метод расчета является достаточно точным для удовлетворения требования предполагаемого пользователя [см., например, концепции по внутренним и внешним показателям и по качеству в использовании из серии программных требований к качеству и оценка документов серии SQUARE разработанные ISO/IEC JTC1]. Для получения дополнительной информации см. серию ISO/IEC 25000 документов. Цель оценки метод расчета в, в общем, является сравнение качества метода расчета против требований к качеству, которые выражают потребности пользователей, или даже, чтобы выбрать метод расчета путем сравнения различных методов расчета.

в) Техническая документация должна включать, по крайней мере, один (или несколько) рабочих пример (ы). Рабочие примеры могут потребоваться как для явных алгебраических формул и математических моделей. Цель рабочих примера является демонстрация того, что необходимые входные данные и их ограничения, и область применимости результата (результатов) расчетного метода рассматривается. Примеры необходимых исходных данных и их предполагаемого диапазона или ограничений, в пределах которого расчет был утвержден являются, например, геометрия, свойства материалов, и граничные условия.

Стандарты на методы расчета включают рабочий пример (ы) в информативной приложении. Указав необходимые компоненты пример с в качестве международного стандарта на методы расчета (например ISO 16734 до 16 737), руководство дается о том, как правильно применять международный стандарт, вместе с информацией в Международном самого стандарта по требованиям по ограничениям и вход параметры. Примеры взяты из реальных проблем включают температуру стального элемента или пожара оскорбление кабеля в атомной электростанции. Поскольку есть примеры, доступные в открытой литературе, требование о включении примеров с в информационный приложении к Международному стандарту по методам расчета могут быть также встретился со ссылкой на учебниках, которые включают такие примеры.

Руководство пользователя

Руководство пользователя требуется только в случае компьютерных моделей. К руководству пользователя для компьютерной модели должны позволить пользователям понять модель приложения и методологию, воспроизвести рабочую среду компьютера и результаты проблем образцов включены в руководство, изменять входные данные и запустить программу для указанных диапазонов параметров и крайних случаях. Руководство должно быть достаточно кратким, чтобы служить в качестве справочного документа для подготовки исходных данных и интерпретации результатов. Монтаж, техническое обслуживание и программирование документация может быть включен в руководстве пользователя или могут быть представлены отдельно. Там должно быть достаточно информации, чтобы установить программу на компьютере. Все формы документации должны включать в себя имя и достаточную информацию, чтобы определить конкретную версию метода расчета и определить организации, ответственной за поддержание метод расчета и для дальнейшего предоставления помощи.

В случае компьютерных моделей, необходимо, чтобы в руководстве пользователя предоставить всю информацию, необходимую для пользователя, чтобы применить компьютерную модель правильно. Он должен включать следующее:

а) описание программы:

- полное описание модели;
- описание основных задач обработки выполняется и методы и процедуры используемых расчетов (блок-схема может быть полезна);
- описание типов навыков, необходимых для выполнения типичных работает;

б) инструкции по установке и эксплуатации:

- определить минимальную аппаратную конфигурацию, необходимую;
- идентифицировать компьютер (ы), на которых программа была успешно выполнена;
- определить языки программирования и операционные системы программного обеспечения и версию в использовании;
- предоставить инструкции для установки программы;
- обеспечить типичное время персонала и времени установки по выполнению обычной перспективе;
- предоставить информацию, необходимую для оценки времени выполнения компьютер на действующих компьютерных систем для типовых применений;

в) расчеты программы:

- описываются функции каждой основной вариант для решения различных проблем с руководством по выбору этих параметров;
- определить пределы применимости (например, в ряде сценариев, над которыми основная теория известно или предполагается, действует или диапазон входных данных, над которыми метод расчета был протестирован);
- список ограничений и/или ограничения программного обеспечения, включая соответствующие диапазоны данных и поведении программы, когда диапазоны превышения;

г) описание входных данных:

- название и описать каждую переменную ввода, ее размерных единиц, значение по умолчанию (если таковые имеются) и источник (если не широко доступны);
- описать любые специальные методы ввода;
- определить ограничения на вход на основе стабильности, точности и практичности данных и применимости модели, а также вытекающих из них ограничений в отношении производства;
- описать любые переменные по умолчанию и описание процесса определения этих переменных с определенными пользователем значениями;
- если обработка последовательных случаев можно, объяснить условия хранения данных или повторной инициализации от случая к случаю;

д) внешние файлы данных:

- описать содержание и организацию любых внешних файлов данных;

- обеспечить ссылки на какие-либо вспомогательные программы, которые создают, изменяют или редактируют эти файлы;
- е) требования к управлению системой:
 - деталь процедура требуется для установки и запуска программы;
 - список команд управления операционной системы;
 - список подсказкам программы, с диапазонами соответствующих ответов;
 - если возможно сделать так, описывают, как остановить программу во время выполнения, как резюме или выхода и статуса файлов и данных после перерыва;
- ж) выходные данные:
 - описать вывод программы и любой графический дисплей и сюжетные процедуры;
 - предоставить инструкции по судя имеет ли программа сходится к хорошим решением, в случае необходимости;
- з) примеры задач/примеры с решением:
 - обеспечить файла с данными с соответствующими выходами, что позволяет пользователю проверить правильность работы программы; эти образцы проблемы должны проявлять большую часть доступных запрограммированных вариантов);
- и) обработка ошибок:
 - сообщения об ошибках список, который может быть генерируемые программой;
 - предоставить список инструкций для соответствующих действий при возникновении сообщения об ошибках;
 - описать поведение программы при ограничения нарушаются;
 - описать процедуры восстановления.

Методика

Основные положения

Верификация и валидация метода расчета являются процессы используются для определения степени, в которой метод расчета дает точное представление о реальном мире с точки зрения целей применения метода расчета и степени, в которой реализация метода расчета точно представляет разработчика концептуальное описание метода расчета и решения расчетного метода. Это называется "оценка" метода расчета (см. определения). Проверка представляет собой процесс определения того, решаются правильно уравнения. Предполагая, что в настоящее время используются правильные уравнения, следующим шагом будет проверка, которая должна гарантировать, что результаты соответствуют тому, что, как ожидается, в реальности.

На рисунке ниже, фазы моделирования и симуляции, и роли проверки и подтверждения в этих процессах применительно к моделям компьютер пожарных, представлены в самом общем виде.

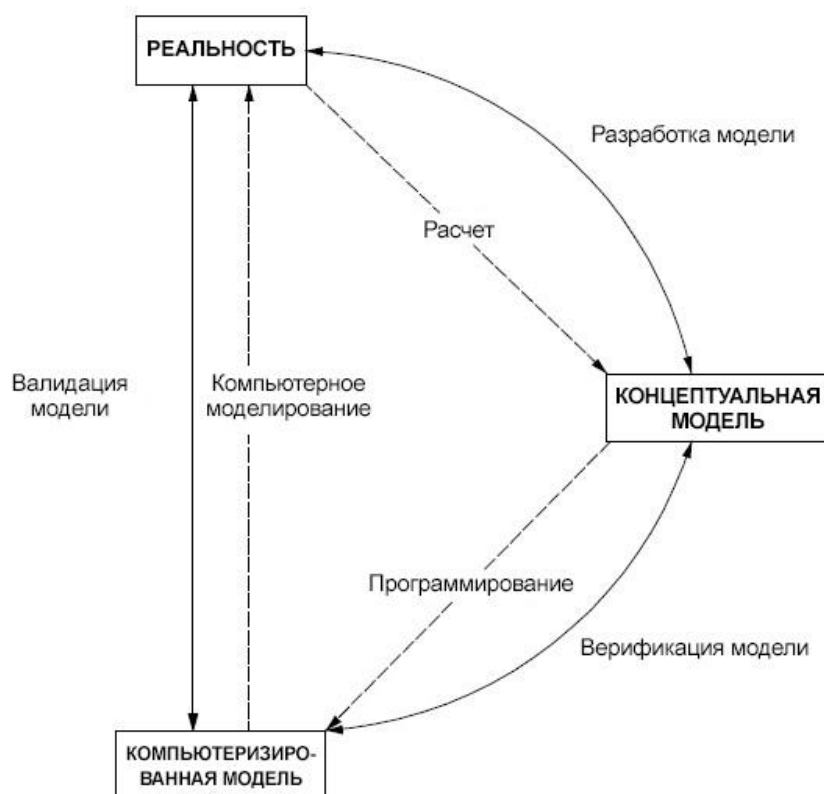


Рис. Этапы разработки и оценки компьютерных (компьютеризированных) моделей

Концептуальная модель производится на основе анализа реального мира (иногда физическая система) и состоит из данных математического моделирования и уравнений, описывающих физическую систему (уравнений Навье-Стокса, сохранения энергии и массы, а также дополнительные физические модели, например, турбулентности модели, аспекты человеческого поведения, структурное поведение, риск и т.д.). Проверка касается взаимосвязи между концептуальной модели и компьютерной модели, в то время как проверки рассматриваются взаимосвязи между расчетной модели и реальности.

Рисунок ниже является продолжением рисунка, приведенного выше, и представляет его в виде блок-схемы для общего применения, иллюстрирующий возможности использования алгебраических уравнений, где это требуется.

Процедура начинается с необходимыми знаниями испытаний и экспериментов или исследований для описания того, что происходит в реальном мире. От восприятия реального мира поведения, концептуальная модель разработана в качестве подробного словесного описания процесса (процессов) связи, представляющая собой дальнейшее развитие в набор математических соотношений. Они рассматриваются такие, что (а) решение (решения) могут быть получены путем разрушения эти вниз строка за строкой из очень сложном уровне в менее сложном уровне, применяя приближения до такой степени, что проблема может быть решена как с достаточной точностью и приемлемый усилия решение (например, во времени и производительности компьютера).

Теоретической основой расчетного метода компьютерной модели должны быть пересмотрены одним или несколькими экспертами хорошо знакомы с фундаментальной науки пожарных явлений и вычислительной техники, но не участвует в разработке модели. Этот обзор должен включать оценку полноты документации, в частности в отношении численных приближений. Рецензент должен быть в состоянии судить о том, имеется достаточно научных доказательств в открытой научной литературе, чтобы оправдать подходы используются. Данные, используемые для констант и значения по умолчанию в коде также должны быть оценены на предмет точности и применимости в контексте метода расчета и предполагаемого использования. Последнее особенно актуально, если данные, используемые для числовых констант могут иметь определенные значения для конкретных сценариев. Практические верхние и нижние пределы переменных, используемых в качестве входных данных должны быть четко определены, чтобы ограничить применение в проверенной области применимости.

Между шагом ломать элементы вниз в систему, которая может быть обработан, необходимо, чтобы процессы верификации и валидации проводиться для того, чтобы постоянно проверять систему решения или возможные источники ошибок, см. приложение. Рамка входит на рисунке для алгебраических уравнений, которые также рассматриваются в настоящем международном стандарте, но которые, в связи со сложностью математических формулировок явлений пожара, связанных, не являются необходимыми для оценки (эмпирических) методов расчета.

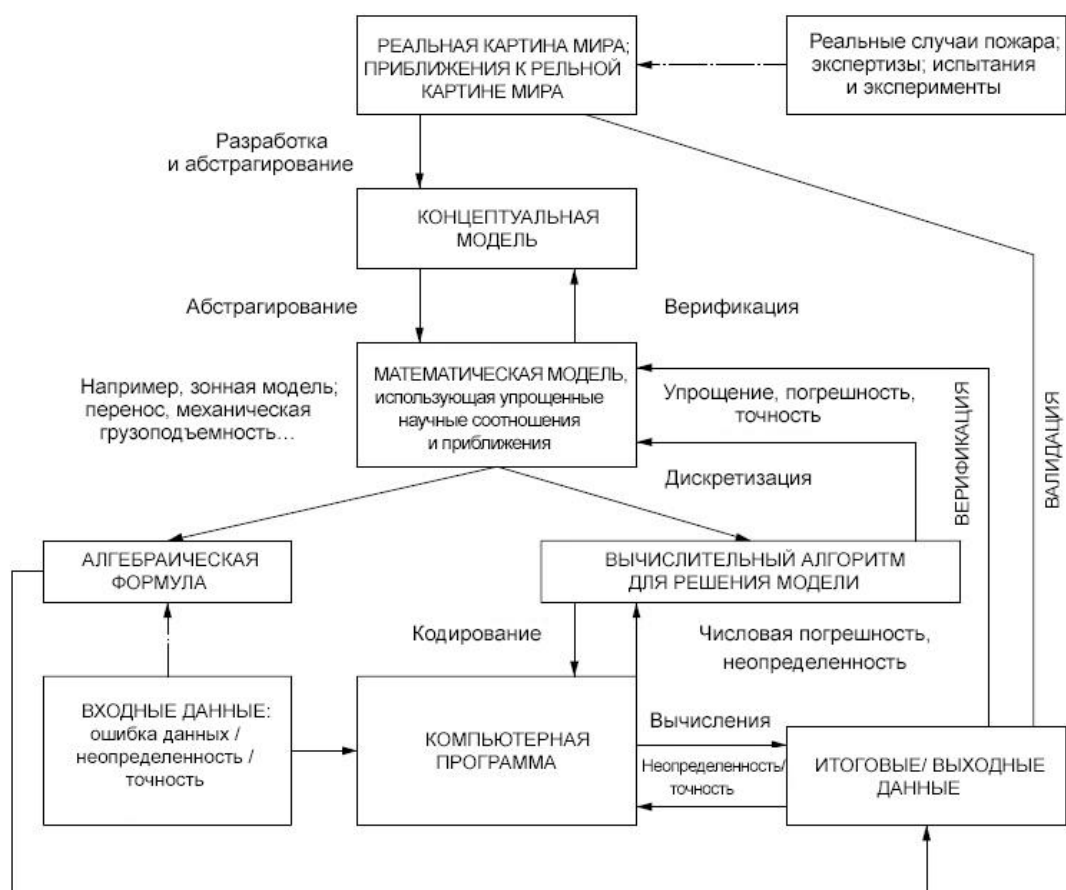


Рис. Блок-схема представления оценки модели, включая валидацию и верификацию

Методология вовсе не ограничивается распространения огня и подобных проблем, но и может быть применен к оценке, валидации и верификации расчетных методов поведения и передвижения людей, чтобы поведение конструкции и к оценке рисков (где риск равен вероятности раз залегания следствием; см. ISO 16732).

Верификация

Основные положения

Верификация представляет собой процесс определения, что реализация метода расчета точно представляет разработчика концептуальное описание метода расчета и раствора до расчетного метода. Это не означает, что управляющие уравнения являются целесообразными, только что уравнения реализуются и решаются правильно и что осуществление точно представляет разработчика концептуальное описание метода расчета и раствора до расчетного метода.

Целью процесса верификации, тогда, чтобы проверить правильность кода и оценить контроль численного ошибок, которые могут быть разделены на три категории:

а) ошибка округления, которая возникает потому, что компьютеры представляют действительные числа, используя конечное число цифр;

б) ошибки усечения, которая происходит, когда непрерывный процесс заменяется конечным один, это может произойти, например, когда бесконечные серии усекается после конечного числа членов, или когда итерация прекращается после того, как критерий сходимости был удовлетворен;

в) ошибка дискретизации, который происходит, когда это непрерывный процесс, такие как производное аппроксимируется дискретного аналога, такого как разделенной разности.

Оценка вычислительной метода должно включать в себя анализ и обсуждение методов, используемых и ограничений, присущих в частности вариантов, которые были сделаны.

Проверка кода

Программный код можно проверить на структурной основе, либо вручную, либо с помощью кода проверки программ выявление нарушений и несоответствий в рамках компьютерного кода. Обеспечение того, чтобы методы и методологии, используемые для проверки кода, вместе с любыми недостатками найденных, четко определены и записаны, повышает уровень уверенности в способности программы для обработки данных надежно, но он не может дать никаких признаков вероятного достоверность и точность программы в использовании. Это не обязательно, что ошибка оказывает программа непригодным, но документация из этих "ошибок" не позволяет использовать пострадавших функций.

Временная и пространственная дискретизация

Математические модели, как правило, выражаются в виде дифференциальных или интегральных уравнений. Модели в общем комплексе и аналитические решения часто трудно найти. Численные методы необходимы для нахождения приближенных решений. В численном методе, непрерывная математическая модель дискретизируется, то есть аппроксимируется дискретной, численной моделью. Дискретизация осуществляется во времени и в пространстве (сетки).

Непрерывная математическая модель может быть дискретизирована по-разному, в результате чего в виде множества различных дискретных моделей. Для достижения хорошего приближения решения непрерывных моделей, дискретная модель необходима, чтобы имитировать свойства и поведение непрерывной модели. Это означает, что дискретное решение должно сходиться к решению (когда оно существует) из непрерывной задачи, когда параметры дискретизации (шаг по времени, пространства сетки и т.д.) уменьшатся. Это достигается, когда требования к последовательности и стабильности будут выполнены. Согласованность означает, что дискретная модель тесно приближает непрерывную модель в смысле какой-то меры, то есть нормы. Стабильность означает, что условия об ошибках не увеличиваются, как программа переходит.

Формальный порядок ошибки в обоих пространственной и временной дискретизации должны быть объяснены и обсуждены. Это не могло бы быть возможным, чтобы быть исчерпывающим, но необходимо, чтобы анализ был сделан как часть процесса проверки преобразования уравнений в дискретной цифровой форме.

Многие проблемы, связанные с огнем включают взаимодействие различных физических процессов, таких как химический или тепловых процессов и механической реакции. Временных и пространственных масштабах, связанные с процессами может существенно отличаться, что приводит к численным трудностям. Следовательно, при решении дифференциальных уравнений, необходимо проявлять определенную осторожность при выборе времени и пространстве действия, чтобы обеспечить стабильность (специально по отношению к временной шаг для переходных вычислений) и достаточное сходимость вычислений. Некоторые численные методы могут быть использованы для того, чтобы динамически контролировать параметры дискретизации в соответствии с требованиями стабильности и точности (например, насколько это пространственная дискретизация обеспокоен, апостериорной оценки погрешности соединенный с динамической уточнения зацепления). Используя такие методы рекомендуется, специально для выдачи времени устойчивости нелинейных задач, с которыми столкнулись в моделях зоны. В этом случае, документация код должен широко объяснить, как это было достигнуто и численные эксперименты адресации действительность используемого алгоритма должны быть представлены. Это не мешает выполнять пользователи, для конкретного расчета, исследование времени и пространства сходимости. Как эта задача достигается систематически и в случае выбора параметров дискретизации оставляют для пользователя.

Испытания итерационной сходимости и совместимости

Важно, чтобы проверить, что реализация концептуальной модели в виде компьютерной программы будет сделано правильно. Для этой цели следующие процедуры должны быть выполнены, когда это применимо.

- Проверьте соответствие критериям остаточных ошибок.
- Проверьте для стабильности выходных переменных.
- Применить глобальные проверки на сохранение соответствующих количеств.
- По мере возможности, сделать сравнение против аналитических решений.
- Произведите сравнение с более точными решениями, полученными на более полных моделях, которые, как известно, были проверены и подтверждены.
- Проверьте эффекты искусственных граничных условий для задач с открытым потоком.

Обзор числовой обработки моделей

Важной частью оценки модели является проверить, что уравнения и методы, как указано в документации, описывающей подход, были реализованы по назначению. Это включает в себя оценку документации, реализации уравнений в компьютерном коде и анализа дискретизации и численных методов используется.

Валидация

Процесс валидации

Основным шагом является сравнение предсказания модели или аналитической техники с соответствующими данными. Как указано во введении, надо быть ясно, что, в то время как модель является выражением теоретической концепции, экспериментальные данные представление о реальном мире. В этом контексте важно обеспечить, чтобы соответствующие модели и входные данные представляют собой эксперимент, с которой делает сравнение. Оба представления имеют ограничения и необходимо, чтобы присущие ошибки и соответствующие заявления неопределенности в оба будут включены в сравнении. Корректность в смысле валидации является то, что модель дает соответствующие ответы на входных данных, представляющих сценариев в стадии рассмотрения.

Общие аналитические решения не существует проблем пожарных, даже для простейших случаев. То есть, нет в замкнутом виде решения такого рода проблемы. Тем не менее, можно сделать два вида проверки. Первый тип является то, что при помощи которых отдельные алгоритмы сверяются с экспериментальной работы. Второй состоит из простых экспериментов, например проводимости и излучения, для которого результаты асимптотичны. Например, для простого испытания с одним помещением без огня, температура

должна уравниваться асимптотически к одному значению. Модель должна быть в состоянии воспроизвести это поведение. Наконец, можно вычислить решения для ситуаций, в которых имеются аналитические ответы, однако они не могут происходить естественным путем.

Корреляции являются допустимыми прогнозирующими инструментами и необходимо, чтобы они были подтверждены таким же образом, как и подробные компьютерные модели, с использованием аналогичных статистических методов.

Процесс валидации включает в себя заявление о диапазоне действия входных данных.

Как правило, предполагается, что данные гарантируют следующее:

- полнота данных об окружающей среде, как температурных градиентов в зданиях или разницы температур между внутренней здания и снаружи, воздействия ветра,
- использование правильного Данные объекта, например, если используются постоянные, необходимо, чтобы анализ чувствительности показать их влияние на выходах. Если константы используются вместо, например, температуры зависимые переменные, необходимо, что исход этого приближения (см. выше) быть оценены для диапазона применимости модели или метода расчета.

Для данных, взятых из литературы, источники должны быть ссылки. Примеры литературе справочники, стандарты, журналы, научные доклады. Если данные не из рецензируемой литературы, они должны быть проверены на фактических данных.

Те же принципы применяются, независимо от степени сложности представления реального мира явлений, будь то методы расчета или модели, или как, используются для прогнозирования течения пожара в здании или эвакуации процессов. Поведенческие аспекты человека могут также повлиять на результаты и должны быть оценены на основе тех же принципов. Данные для детерминированных моделей, Стандартное руководство для получения данных для детерминированных моделей пожара (ASTM, Филадельфия).

Сравнение полного метода расчета с соответствующими результатами

Сравнение предсказания с одним значением с данными

В то время как результаты алгебраических уравнений в основном с одним значением предсказания, то же самое касается их как для предсказаний с одним значением с компьютерными моделями. Предсказания с одним значением должны проверяться с экспериментальными данных или данных обследований, всякий раз, когда они доступны для рассматриваемой задачи, и если они были произведены с эквивалентным набором начальных и граничных условий.

Сравнение предсказания со значением времени с данными

Приложение В описывает способ количественной оценки сходства и различия двух кривых, таких как изменения во времени температуры верхнего уровня для предсказания модели и эксперимента. Он работает путем обработки кривые бесконечномерных векторов, а затем использует векторный анализ, чтобы описать различия. Этот анализ дает количественную метод проверки моделей пожарных и количественной неопределенности в экспериментальных данных.

В то время как существует множество чисел, которые могут быть сгенерированы для описания различия между двумя кривыми или набор кривых, два значения будут выделены, давая соответствующую информацию для определения различия. Во-первых, относительная разность, дает значение, как различные обе кривые. Это позитивный, вещественная функция, которая возвращает 0 для одинаковых кривых; для кривых, которые отличаются, это возвращает значение, возрастает с увеличением разницы. Второй, косинус, дает меру, как фигуры из двух кривых сравнить. Она возвращает значение от 1 до -1 с 1 показывая, что кривые имеют одинаковую форму и -1, что кривые являются зеркальным отображением; значение 0 означает, что кривые не имеют ничего общего.

Приложение В описывает метод и соответствующих уравнений и приведены примеры, как это сделать сравнение.

Обзор теоретических и экспериментальных основе вероятностных моделей

Уравнения, используемые в вероятностной модели, как правило, в качестве части оценки риска, как правило, те, которые определяют риск с точки зрения вероятностной функции на пространстве, ограниченном сценариев и те, которые используются для получения необходимые вероятности от других более легко доступных вероятностей. Обзор правильности уравнений следует ответить на следующие вопросы.

- Использует ли модель только четко определенные вероятностные переменные и параметры?
Вероятностное моделирование и оценка риска обычно используют экспериментальные базы данных или инженерные решения для производства вероятности переменные и параметры. Доказательства точности переменную или параметр оценкам одного значение получается путем сравнения оценки в альтернативных оценок, вычисленных таким же образом из независимых данных. Например, значения оценки, полученный от одной группы экспертов можно сравнить с значениями оценки, полученный из второй группы экспертов. В таком случае, особое внимание должно быть уделено характеристикам специалистов, которые считаются наиболее вероятно, влияют на суждения. Кроме того, вероятность опыте основе (например, вероятности воспламенения) может быть проверена путем сравнения нравиться вероятности на основании опыта другом месте или в другое время.
Выходные переменные оценки риска, как правило, на основе вероятности и последствий, если на последних являются производными от детерминированной модели. Детерминирован-

ные предсказания модели могут быть подтверждены в порядке, описанном в данном стандарте. Комбинированный расчет риска, как для всей расчета или для подсистемы или другой части, может быть подтверждено путем сравнения с фактическими результатами. Где вероятность значения опыте основе, опыт потери используется для проверки должны быть взяты из тех же мест и времен, как были использованы для установки значения вероятности.

- Следуют ли вероятностные переменные, параметры и расчеты законам вероятностей (например, вероятности должен находиться в пределах от 0 до 1)?
- Являются ли все уравнения, которые используют условные вероятности, полными?
ПРИМЕР. Для уравнения $P(A) = [P(A \text{ задано } B) \cdot P(B)] + [P(A \text{ задано не } B) \cdot P(\text{не } B)]$.
Если вторая часть выражения опущена, то необходимо дать конкретный пример, что либо $P(\text{не } B)$ или, что более часто, $P(A \text{ задано не } B)$ равно нулю или приблизительно равно нулю.
- Определяется ли риск с помощью явного выражения, связывающего меру риска для вероятностей и последствий сценариев? Если нет, то есть основной выражение?
- Охватывает ли выражение, определяющее риск с точки зрения сценариев, все возможные сценарии? Если нет, то всесторонне ли учитывает расчет воздействие пропущенных сценариев на расчет?
- Затрагиваются ли непосредственно неопределенности, связанные с вероятностных переменных и параметров, в расчете? Находятся ли оба случайные неопределенности и источники систематической ошибки рассмотрены и обращены?
- Если какие-либо уравнения упрощаются от полных форм, которые они сравнивают по точности с их полных аналогов?

Сравнение моделей подсистем или подмоделей против соответствующих результатов

Сравнение предсказаний подсистемы модели (например, дым наполнения/вентиляции) или из подмоделей (например шлейф модели) с данными, собранными экспериментально является основным способом пользователей чувствовать себя уверенно в своей предсказательной способности. Когда явление не хорошо или полностью понял, эмпирическая проверка предоставляет возможность тестирования, что его представление в модели (программы) является соответствующим для использования программы. Прогнозы должны быть сделаны без ссылки на экспериментальных данных, используемых для сравнения. Конечно, это ограничение не включает необходимый входной данные, возможно, были получены с помощью лабораторных масштабах испытаний. Неопределенности в измерениях, должны учитываться на систематической и последовательной основе. Никакая попытка отрегулировать посадку между измерениями и предсказаниями не следует.

Сравнение предсказаний с данными требует следующего:

- глубокое понимание источников неопределенности в данных,
- количественная оценка этих источников неопределенности,
- анализ чувствительности, чтобы оценить эффект неопределенности на предсказаниями,
- методы сравнения данных/программа для учета такой неопределенности.

Большинство опубликованных работ по сравнению прогнозов модели с экспериментальными данными являются достаточно качественными, то есть «удовлетворительно», «хорошо», или «разумно». Некоторые рекомендации по количественной оценке приведены в работах А. Биарда [37], [38].

Все эти сравнения могут быть против а) аналитических решений, б) тестов случаи (четко определенные, точные результаты известны), в) набор экспериментальных результатов, г) другие компьютерные коды, д) обследования.

Анализ чувствительности

Анализ чувствительности метода расчета является изучение того, как изменения в конкретных параметров влияет на результаты, полученные с помощью метода расчета. Прогнозы могут быть чувствительны к неопределенности в исходных данных, на уровень строгости, занятого в моделировании соответствующую физику и химию, и к применению неадекватных численных методов лечения. Хорошо разработаны и выполнены анализ чувствительности служит для:

- а) определить доминирующие переменные в методах расчета,
- б) определить приемлемый диапазон значений для каждой входной переменной,
- в) продемонстрировать чувствительность выходных переменных к изменениям входных данных,
- г) информировать и предупредить любые потенциальных пользователей о степени и уровня обслуживания, необходимой при выборе входа и запуска модели,
- д) дать представление о том, какие параметры должны быть проверены в крупномасштабных экспериментов.

Проведение анализа чувствительности сложной пожарной модели является трудной задачей. Многие модели требуют широких входные данные и генерировать предсказания для многочисленных выходных переменных в течение моделируемого времени. Выбранные методы для использования зависит от целей исследования, требуемые результаты, имеющихся ресурсов и сложности модели анализируемых.

Существует два основных подхода для получения информации чувствительности.

- Местные методы: Они производят меры чувствительности для определенного набора входных параметров и необходимо, чтобы они повторялись для диапазона входных параметров для получения информации на общую производительность модели. Методы конечных разностей могут быть применены без изменения модели в уравнение набор, но требуют тщательного отбора

входных параметров для получения хороших оценок. Прямые методы дополнить набор уравнение решается с помощью модели с уравнениями чувствительности, полученных из множества уравнения решены с помощью модели в работе А. Вержбицкого [39]. Уравнения чувствительности затем решается совместно с системой модели уравнений для получения чувствительности. Необходимо включить прямые методы в конструкцию пожарного модели, которые не часто доступны для уже существующих моделей пожарных.

- Глобальные методы: Они производят меры чувствительности, которые усредненные во всем диапазоне входных параметров. Глобальные методы требуют знания плотности вероятности функций входных параметров, которые, в случае моделей огнестрельного, как правило, неизвестны.

Местные методы наиболее легко наносится. Глобальные методы подходят, если диапазон входной информации известно, например, в расчетах риска пожарной безопасности техники.

Несмотря на то, можно определить, насколько чувствителен и устанавливать различные методы для их вычисления, есть еще трудности, связанные с выполнением анализ чувствительности. Иман и Хелтон [40] отмечают, некоторые из следующих свойств сложных компьютерных моделей, которые усложняют анализ.

- Есть много входные и выходные переменные.
- Разрывы могут существовать в поведении модели.
- Корреляции может существовать среди входных переменных, и связанные с ним маргинальные распределения вероятностей часто ненормальных.
- Прогнозы модели являются нелинейными, многомерными, зависящие от времени функции входных переменных.
- Относительная важность отдельных входных переменных является функцией времени.

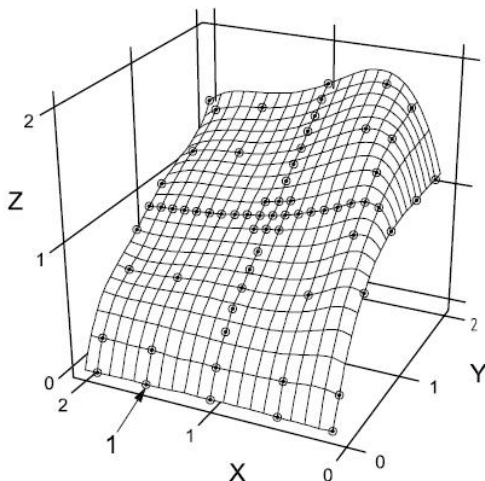
Кроме того, уравнения чувствительности имеют аналогичные свойства. Для данной модели производства и заданной модели входных данных, может быть регионы времени, когда модель выход чувствителен к входным и также регионах, где модель выход нечувствителен к тем же параметром.

По крайней мере, две общие вопросы можно решить с помощью анализа чувствительности пожарной модели. Первый: «Насколько чувствителен модель к конкретному входу» Это попытка получить общую оценку важности входного относительно всех других входов. Для этого вопроса, диапазон входных параметров моделей можно выбрать как можно более широким, представляющий спектр применимости модели. Последующий анализ результатов моделирования для таких широких изменений, то дает представление об относительной важности данного входного переменного на выбранных выходов. Такой анализ дает общую картину поведения модели.

Второй вопрос: «Как тесно необходимо указать конкретный вклад?» Вместо того, чтобы понять общее поведение модели, это является попыткой получить представление о влиянии на модельных выходов неопределенности в отдельных входов. Для этого вопроса, малые возмущения в входов может быть рассмотрено. Если конкретный сценарий представляет интерес, возмущения входов для этого сценария можно рассматривать.

В соответствии с предложением Имана и Хелтона [40], средняя относительная разница таким образом может использоваться для характеристики чувствительности модели для сравнения отдельных входов и выходов.

На нижеприведенном рисунке представлена поверхность реакции пожарной модели, показывающая влияние изменяющейся скорости тепловыделения (HRR) и размер вентиляционного отверстия в верхнем температурном слое см. [41]. Она представляет эффект как пик HRR и вентиляционные отверстия (в каминном зале) на максимальной температуре верхнего уровня. На этой фигуре фактические модельных расчетов нормированы к значениям базовым сценарием, как указано кругами, наложенных на поверхности сетки, генерируемого сплайн-интерполяции между точками данных. С поверхности, становится ясно, что HRR имеет больший эффект на пиковой температуре, чем это делает ширину отверстия. Пока огонь не становится кислородом ограничено, тенденции очевидны в поверхности соответствуют ожиданиям: температура повышается с ростом HRR и вниз с ростом ширины вентиляционной. Последствия не, конечно, линейной или с HRR или вентиляционные отверстия.



Условные обозначения:

X нормализованная ширина отверстия

Y нормализованная скорость тепловыделения (HRR)

Z нормализованная пиковая температура

1 базовые значения сценария, с которыми расчеты фактической модели нормализуются

ПРИМЕЧАНИЕ. Этот рисунок показывает влияние изменяющейся скорости тепловыделения и вентиляционных размеров от температуры верхнего уровня.

Рис. Поверхность срабатывания для модели пожара для характеристики чувствительности модели для сравнения отдельных входных и выходных данных

Контроль качества

Оценка компьютерных программ для целей подтверждения гарантии качества является целесообразным. Качество таких программ могут быть оценены с использованием моделей обеспечения качества. Они делают использование процедур, которые приводят к оценке как внешнего качества, важной для конечного пользователя, и внутреннего качества, важные для правильного функционирования программы. Атрибуты качества программного обеспечения делятся на шесть характеристик (функциональность, надежность, удобство использования, эффективности, ремонтпригодности и переносимости), которые в свою очередь подразделяются на подгруппы характеристик (см. рисунок ниже). Для каждой характеристики и субхарактеристики, качество программного обеспечения должны определяться набором измеренных внутренних атрибутов. Характеристики и субхарактеристики должны измеряться внешне, в какой степени эта возможность, предоставляемой системой, содержащей программное обеспечение.



Рис. Модель внешнего и внутреннего качества, демонстрирующая характеристики и субхарактеристики

Для оценки или оценки качества метода расчета, порядок как указано в ISO/IEC 25000 серии нормативных документов на основе ISO/IEC 9126-1 и ISO/IEC 14598-1 применить. Короткий сокращенный вариант процедуры приведен в Приложении «Методика обеспечения контроля качества».

Требования к исходным данным для валидации методов расчета

Справочные данные для проверки метод расчета может быть получена из экспериментов, обследований (а) одного или нескольких аналогичной, хорошо документированы пожарной случай (случаи), или других проверенных методов расчета, в соответствующих случаях к параметрам и других величин быть подтверждено.

Данные, используемые для определения, установлен или оценить, количество в методе расчета не может быть использована для проверки, что количество. Это необходимо, чтобы независимые данные можно использовать для проверки.

Различия между количеством расчетного метода и данных, используемых для проверки, что количество может быть связано с ошибками в количестве или ошибок в данных.

Для поддержки выводы о применимости метода расчета, необходимо, что осуществление проверки оценить масштабы и характер ошибок в базовых данных и оценить влияние этих ошибок о различиях между количествах и данных. Таким образом, необходимо, чтобы полнота, качество, точность и смещение опорно-

го данных можно охарактеризовать, например, одним из следующих, прежде чем он может быть использован для валидации.

- Для экспериментальных данных, необходимо, что повторяемость и воспроизводимость процедуры испытания, что является источником данных оцениваться. Точность и смещения характеристики справочных данных может быть получена из имеющихся точных и смещения характеристик аппарата или устройства измерения, который был использован для получения данных.
- Для (статистической) данных обследования, необходимо, чтобы репрезентативность плана обследования и достигнутых образца оцениваться. Кроме того, необходимо, чтобы определить погрешность из-за размера образца.
- Для данных судебно-медицинской экспертизы, необходимо указать, как были собраны эти данные.
- По данным на других проверенных методов расчета, доказательства от проверки этих методов, вместе с характеристикой его точности, предвзятости и источников и величин ошибки не требуется.

Необходимо провести оценку соответствия между условиями сбора справочных данных и условий, взятых на себя расчетного метода. Это включает в себя начальные и граничные условия. Например, если эксперименты дают справочные данные о производительности эвакуации населения, состоящего исключительно из молодых, здоровых взрослых, то эти данные не достаточны, чтобы проверить метод расчета применяется к более смешанным населением.

Необходимо проверить метод расчета весь и, чтобы проверить ее подсистем и субмодели отдельно. Необходимо, чтобы соответствующие данные быть выявлены и приобрела для каждого из этих уровней проверки.

Необходимо оценить любую процедуру сокращения, преобразования или интерпретации применительно к необработанным данным с целью получения справочных данных, пригодных для использования в проверке. Например, если исходные данные опроса доступны только для выбранных высотных офисных зданий в одном городе, то его применимость к другим типам зданий других высот в других городах в других странах является неопределенным. Необходимо, чтобы этот несовершенный матч отметить и оценены.

Необходимо оценить независимость поколения справочных данных и обзор от развития метода расчета.

Полная валидация метода расчета требует оценки полного спектра выходов для полного спектра случаев и условиях. Справочные данные необходимы для поддержки как полного оценку, насколько это возможно, и необходимо, чтобы любые ограничения диапазона выходов и случаях оценив быть явно отмечено, по возможности в форме ограничений на применения расчетного метода, для которого проверка была успешно завершена. Например, если экспериментальные данные доступны только для потолочных температур, то метод расчета предсказания температурах в других местах в комнате не были непосредственно подтверждена.

Неопределенность

Неопределенность измерения данных

Основные положения

Основная часть данной главы заимствована из работы [42].

Данная глава предоставляется для оказания помощи экспериментаторов в выражении неопределенность их измерений и пользователей модель в судя полезность экспериментальных данных при принятии эмпирическую проверку модели.

Не все опубликованные экспериментальные данные включают информацию о неопределенности данных.

В общем, результат измерения является только результатом приближения или оценки определенного количества подлежащего измерению и, таким образом, результат является полным только в сопровождении количественного отчета о неопределенности. Неопределенность результата измерения, как правило, состоит из нескольких компонентов, что, в подходе, используемом Международным советом по мерам и весам, могут быть сгруппированы в две категории в зависимости от метода, используемого для оценки их численные значения:

- тип А: те, которые оцениваются с помощью статистических методов;
- тип В: те, которые оценивали с помощью других средств.

Неопределенность обычно делится на две составляющие: случайные и систематические. Каждый компонент, который вносит свой вклад в неопределенность измерения представлена, по оценкам, стандартного отклонения, называется стандартной неопределенности, с рекомендованной символ, u_i , и равен положительному квадратному корню из расчетной дисперсии, u_i^2 . Компонент неопределенность в категории А может быть представлена статистически стандартное отклонение, s_i , равной положительному квадратному корню из статистически оценкам дисперсии, s_i^2 , и связанном с числом степеней свободы, ν_i . Для такого компонента стандартная неопределенность, u_i , равна s_i . Аналогичным образом, компонент неопределенность в категории В представлена количества, u_j который можно считать приближением к соответствующей стандартным отклонением; она равна положительного квадратного корня из u_j^2 , который можно считать приближением к соответствующая дисперсия и который получается из предполагаемого распределения вероятностей, основанной на всей имеющейся информации. Так как величина u_j^2 рассматривается как дисперсия и u_j как стандартное отклонение, для такого компонента, стандартная неопределенность просто u_j .

Оценка стандартной неопределенности типа А

Оценка стандартной неопределенности типа А может быть основано на любом допустимом статистическом методе для лечения данных. Пример вычисления стандартного отклонения от среднего ряда независимых наблюдений с помощью метода наименьших квадратов, чтобы соответствовать кривой к данным для оценки параметров кривой и их стандартных отклонений. Этот отчет не пытается дать подробные статистические методы для проведения статистических оценок. Для сравнения см. библиографию [43] – [46].

Оценка стандартной неопределенности типа В

Оценка неопределенности типа В, как правило, на основе научного осмысления используя всю необходимую информацию, доступную, которые могут включать:

- а) данные предыдущего измерения,
- б) опыт работы с или общие знания, поведение и свойства соответствующих материалов и инструментов,
- в) технические характеристики производителя,
- г) данные, представленные в калибровке и других отчетов, и неопределенности назначен ссылки на данные, взятые из справочников.

Поскольку надежность оценки компонентов неопределенности зависит от качества информации, доступной, рекомендуется, что все параметры, от которых зависит измерение варьироваться в максимально насколько это возможно, так что оценки основаны как можно больше на наблюдаемом данных. Всякий раз, когда это возможно, использование эмпирических моделей процесса измерения, основанного на долгосрочных количественных данных, а также использование контрольных стандартов и контрольных карт, которые могут указать, что процесс измерения находится под статистическим контролем, должны быть частью усилий, чтобы получить надежный оценки компонентов неопределенности.

Комбинированная стандартная неопределенность

Суммарная стандартная неопределенность измеряемой результате предложил символ u_c , берется представлять стандартное отклонение результата. Его получают путем объединения отдельных стандартных неопределенностей, пользовательский интерфейс, являются ли они следствием оценки типа А или оценки типа В, используя обычный метод для объединения стандартных отклонений. Этот метод часто называют «закон распространения неопределенности» или «квадратный корень из суммы из квадратов методом». В сочетании стандартная неопределенность, u_c , является широко используемым мера неопределенности.

Расширенная неопределенность

Хотя суммарная стандартная неопределенность, u_c , используется для выражения неопределенности многих результатов измерений, что часто требуется является мерой, которая определяет интервал о результате измерения, y , в котором значение измерения Y можно с уверенностью сказать, чтобы ложь. Эта мера называется расширенной неопределенности, предложил символ U , и получается путем умножения $u_c(y)$ на коэффициент охвата, предложил символ k . Таким образом,

$$U = kU(y) \quad (1)$$

и можно с уверенностью утверждать, что

$$y - U \leq Y \leq y + U \quad (2)$$

что обычно записывается в виде

$$Y = y \pm U \quad (3)$$

В общем, коэффициент покрытия, k , выбирается на желаемом уровне достоверности. Как правило, k находится в интервале от 2 до 3. Когда нормальное распределение относится и u_c имеет незначительную неопределенность, присвоение k значения 2 определяет интервал, имеющий уровень доверия приблизительно 95% и присвоение k значения 3 определяет уровень доверия более 99%. Текущий международная практика заключается в использовании значение k равна 2.

Отчетность по неопределенности

Чтобы сообщить неопределенности измерений, отчет U вместе с коэффициента охвата, k , используемого для его получения, или сообщить u_c . При представлении результата измерения и его неопределенности, включать следующую информацию в самой или ссылается на опубликованный документ отчета:

- список всех компонентов стандартной неопределенности, вместе с их степенями свободы, в случае необходимости, и в результате стоимость u_c ; компоненты должны быть определены в соответствии с методом, используемым для оценки их численные значения (статистических или другим способом);
- подробно описание того, как оценивали каждый компонент стандартной неопределенности.

Пример процесса валидации

Ключ к валидации достоверности моделей пожара является возможность количественной оценки различий между модельных предсказаний и экспериментальных измерений или между двумя предсказаний моде-

ли или двух экспериментальных наборов данных. Эти методы считаются полезными в сравнении моделей и экспериментов, сравнивая модели друг с другом и сравнивать предсказания модели с данными датчиков для использования в пожарной сигнализации и прогнозирования в системах реального времени.

Средства сделать это с помощью математической технологии, известной как функционального анализа. Функциональный анализ является обобщением линейной алгебры, анализа и геометрии. Это область исследования, которая возникла в 1900 году от работы Гильберта и других. Функциональный анализ становится все большее значение в ряде областей, включая теоретическую физику, экономику и инженерию, чтобы ответить на вопросы по дифференциальных уравнений, численных методов, теории приближений и прикладных математических методов. Проблемы описаны в векторной форме и соответствующих операций на этих векторов могут быть определены, чтобы позволить количественный анализ свойств подстилающей физической системы. Первичные векторные операции интересные нормой, мерой длины вектора, а внутренний продукт, мера угла между двумя векторами.

Чтобы получить общее сравнение двух кривых, это сравнение одной точке может быть расширена до нескольких точек. Каждый из этих кривых можно представить в виде многомерного вектора, при этом каждый момент времени, определяющей дополнительное измерение. Использование такого векторные обозначения, прямым продолжением простых сравнений максимумов является норма разности векторов экспериментальных и модельных данных.

Понятие нормы дает определение длины вектора. Расстояние между двумя векторами просто длина вектора в результате разности двух векторов. Символическое представление записывается в виде $\|\bar{x}\|$ где \bar{x} является обозначение для n-мерного вектора $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$. Для этого примера, сравнение пиковых значений называется верхняя грань нормой или нормой на основе максимальных абсолютных значений. Чтобы продлить вир норму, все данные также могут быть представлены вектором значений измеряемой в каждый момент времени, \bar{E} . Предсказания модели при тех же временных точках может быть представлено

в виде вектора \bar{m} . Расстояние между этими двумя векторами норма разности векторов, или $\|\bar{E} - \bar{m}\|$. Это удобно для нормализации это как относительной разности с экспериментальными данными по выражению данной в уравнении (B.1):

$$\frac{\|\bar{E} - \bar{m}\|}{\|\bar{E}\|} \quad (1)$$

Разница вектор рассчитывается так же, как это было по той простой пример сравнения максимумы двух кривых, принимая разницу между экспериментом и модели в каждый момент времени. Первоначально евклидова норма является наиболее интуитивно понятным для длины вычислительной, как указано в уравнении (B.2):

$$\frac{\|\bar{E} - \bar{m}\|}{\|\bar{E}\|} \quad (2)$$

Как будет показано ниже, другие геометрические формы также могут быть полезны для сравнения в реальном времени. Для примера на рис., расстояние между двумя векторами, $\|\bar{E} - \bar{m}\|$, является 14,1, а относительная разница в том, 0056. Для этих простых кривых, сравнение пиковых значений обеспечивает хорошую меру общего соглашения, почти идентичный с общим сравнению с уравнением (1), так как эти две кривые были выбраны, чтобы отличаться лишь на пике. Для более сложных кривых, сравнение максимумов может быть не так хорошо показатель. Несколько примеров представлены позже в этом приложении.

В то время как разница, $\|\bar{E} - \bar{m}\|$, и относительная разница, $\|\bar{E} - \bar{m}\|/\|\bar{E}\|$, обеспечить меры разницы между экспериментальными данными и прогнозами модели, другие расчеты дать полезную информацию о источнике разницы. При сравнении векторов, есть в основном два геометрические компоненты, которые следует учитывать: разница в длине между двумя векторами и (ненулевой) угла между двумя векторами.

Скалярное произведение, $\langle \bar{x}, \bar{y} \rangle$, двух векторов является продуктом длины двух векторов и косинуса угла между ними, как показано в уравнении (B.3):

$$\langle \bar{x}, \bar{y} \rangle = \|\bar{x}\| \|\bar{y}\| \cos[\angle(\bar{x}, \bar{y})] \quad (3)$$

который может быть изменен, как указано в уравнении (B.4):

$$\cos[\angle(\bar{x}, \bar{y})] = \frac{\langle \bar{x}, \bar{y} \rangle}{\|\bar{x}\| \|\bar{y}\|} \quad (4)$$

Выбор внутренний продукт, стандарт точка продукт дает результаты согласуются с типичной евклидовой геометрической восприятия как показано в уравнении (B.5):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad (5)$$

Для этого примера, $\cos[\angle(\vec{x}, \vec{y})] = 0,99$. Визуально это угол между двумя векторами представляет собой меру того, насколько хорошо формы этих двух векторов соответствуют друг другу. Как косинус угла приближается к единице, общая форма кривых становится идентичной.

В целом, внутренний продукт просто функция, которая принимает два вектора и возвращает число. Число может быть реальной или комплекс; для наших целей, только реальные внутренние продукты считаются. Аксиомы, приведенные в таблице обеспечить достаточное определение скалярного произведения и нормы, чтобы иметь возможность выполнять вектор расчетов [47]

Таблица. Аксиомы, определяющие внутреннее произведение и норму

Аксиома	Внутреннее произведение	Норма
I	$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle \geq 0$	$\ \vec{x}\ \geq 0$
II	$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$	$\ \vec{x}\ = 0 \Leftrightarrow \vec{x} = 0$
III	$\langle \alpha \vec{x}, \vec{y} \rangle = \alpha \langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$	$\ \alpha \vec{x}\ = \alpha \ \vec{x}\ $
IV	$\langle \vec{x} + \vec{y}, \vec{z} \rangle = \langle \vec{x}, \vec{z} \rangle + \langle \vec{y}, \vec{z} \rangle$	$\ \vec{x} + \vec{y}\ \leq \ \vec{x}\ + \ \vec{y}\ $
V	$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \overline{\langle \vec{y}, \vec{x} \rangle}$	—

Эти аксиомы обеспечивают соответствующие правила, чтобы определить скалярное произведение и норму для других геометрий в дополнение к евклидовому пространству. Три дополнительных определений, Хеллингера, секанс и гибрид Евклида и секущей, считаются. Для согласованности, норма может быть определен в терминах внутреннего продукта. Это гарантирует, что необходимо, в соответствии определения для нормы и скалярного произведения используются в расчетах. Так как угол между вектором и само по себе, по определению нулевой, уравнение (6) следует из уравнения (3):

$$\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle = \|\vec{x}\|^2 \text{ or } \|\vec{x}\| = \sqrt{\langle \vec{x}, \vec{x} \rangle} \quad (6)$$

Скалярное произведение Хеллингера для функций x , таких, что $x(0) = 0$, определяется на основе первой производной функции, как указано в уравнении (7):

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_0^T x'(t) y'(t) dt \quad (7)$$

Для дискретных векторов, это может быть аппроксимирована с первого различия как показано в уравнении (8):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{i-1})(y_i - y_{i-1})}{t_i - t_{i-1}} \quad (8)$$

На основе первой производной или касательных к кривым, скалярное произведение и норма Хеллингера обеспечивают чувствительное измерение сравнении виде двух векторов. Разновидностью скалярного произведения Хеллингера может быть определена на основе секущая, а не касательной, как указано в уравнении (9):

$$\langle x(t), y(t) \rangle = \int_{pT}^T \frac{[x(t) - x(t - pT)][y(t) - y(t - pT)]}{(pT)^2} dt \quad (9)$$

где $0 < p \leq 0,5$ определяет длину секущей. Предел секущей скалярного произведения как $p \rightarrow 0$ является неотъемлемой Хеллингера. Для дискретных векторов, это может быть аппроксимирована аналогична геометрии Хеллингера, как указано в уравнении (10):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=1, s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (10)$$

Когда $s=1$, секущая определение эквивалентно дискретного Хеллингера скалярного произведения. В зависимости от значения p или s , секущая внутренний произведение и норма обеспечить уровень сглажива-

ния данных и, таким образом, более действенных мер по масштабные различия между векторами. Для экспериментальных данных с присущими мелким шума или модельных прогнозов с числовыми неустойчивости, секущая обеспечивает фильтр, чтобы сравнить общую функциональную форму кривых без основного шума. Наконец, гибридный скалярного произведения Евклида и секущей обеспечивает баланс между ранга упорядочения евклидовой нормы и функциональной сравнению виде секущей. Из приведенных выше аксиом, сумма двух внутренних продуктов, а внутренний продукт. В настоящий стандарт, простой взвешенная сумма евклидовой скалярного произведения и секущей скалярного произведения считается, или, как указано в уравнении (11):

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i + \frac{1}{n-s} \frac{\sum_{i=1, s}^n (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-s}} \quad (11)$$

Весовые коэффициенты выравнивания вклад евклидовой скалярного произведения и секущей скалярного произведения в сочетании.

На рис. показан простой пример данных по сравнению с тремя предсказаниями модели. Модель 1 просто экспериментальные данные, умноженные на 0,9. Модель 2 имеет такую же пиковое значение в качестве модели 1, но с пиком сдвинуты -25 с. Модель 3 имеет тот же пик как модели 1 и модели 2, но с плато 20 с центром вокруг пика экспериментальных данных. Сравнение только максимумов показывает, что все три модели идентичны с относительной разностью 0,1. Очевидно, что это сравнение не в состоянии охватить различия между тремя моделями. Таблица показывает относительную разницу и косинус между векторами экспериментальных данных и модельных предсказаний для трех моделей, использующих другие определения для скалярного произведения и нормы.

Все из показателей ранжировать модели в том же порядке, с модели 1 ближе к экспериментальным данным, за которым следует модели 2 и 3. Порядок ранга соответствует визуальной интерпретации сравнений. Модель 1, очевидно, лучший, с той же функциональной форме и пик приурочен правильно, но немного ниже, чем экспериментальными данными. С другой стороны, модель 2, с его пика значительно смещенной от эксперимента, появляется самое худшее. Хотя модель 3 не имеет правильный тип пика (удлиненный плато, а не резкое пик), у него есть правильный общий вид; изменения, чтобы соответствовать эксперименту.

Относительная разница для модели 1 является одинаковым для всех показателей, как это должно быть.

По выбору, форма вектора модели 1, \vec{m} , просто $\vec{m} = 0,9\vec{E}$. Таким образом, относительная разница, $\|\vec{E} - \vec{m}\|/\|\vec{E}\|$, независимо от определения нормы, просто $\|\vec{E} - 0,9\vec{E}\|/\|\vec{E}\|$ или 0,1. Аналогичным образом, косинус угла между модели 1 и эксперимента является 1,0 для всех сравнений.

Хотя и евклидовой относительная разница и косинус имеют соответствующий рейтинг для всех моделей, косинус не дает много дифференциацию между предсказаний модели. Значения Хеллингера и секущие предоставлять более широкий спектр, поскольку они конкретно сравнить функциональные формы экспериментов и моделей.

В качестве примера, сравнение модели CFAST с пятью различными реальном масштабе испытаний пожарных показано в Таблице, с помощью этой методики. Они состоят в следующем.

а) Испытание однокомнатная использованием мягкой мебели, как горящий пункта был выбран для его хорошо охарактеризованных и реалистичной источника огня в простой геометрии однокомнатной; см. [48].

б) Огневое испытание однокомнатная с помощью мебели, как источника огня (см. [49]) при условии, тест, похожий на первом тесте с более реалистичной источника пожара.

в) Конфигурации трехкомнатная, для которых средняя из серии 11 повторных тестов с простых стационарных пожаров газа горелки цитируется.

г) Серия испытаний, проведенных в конфигурации с несколькими комнатной с более сложными газовая горелка пожаров (см. [50]), чем предыдущего набора данных считается.

д) Серия натурных испытаний проводится с целью оценки зональные систем дыма - контроля, с и без подъезде давления (см. [51]). Это последнее испытание было проведено в восьмизэтажный отель с несколькими номерами на каждом этаже и лестничной клетки соединительной на всех этажах. Выбор данных из этих же тестах используется в настоящем стандарте привести примеры эквивалентных сравнений количественно с помощью нормы и скалярное произведение. Подробная информация о геометрии, экспериментальные измерения и предсказания модели доступны [52]. Таблица представляет гибридную относительную разность нормы, уравнение (1) и косинус угла между векторами экспериментальных данных и модельных предсказаний для отбора данных из этих пяти тестов. Чтобы лучше понять эти количественные сравнения, на рисунке приведены экспериментальные данные и модели предсказания для одной из переменных, включенных в таблице.

Рис. показывает сравнение температур верхнего уровня для теста однокомнатной. В этом тесте две позиции измерений доступны из экспериментальных данных. Прогнозируемые температуры проявляют очевидную схожесть в измеренных значений. Пиковые значения происходят в подобные времена с сопоставимой взлета и падения на обеих позициях измерений. Для обоих положениях, пиковые температуры выше, чем предсказаний модели, с одной позиции несколько выше, чем в другое положение. Оба относительная разница нормой и косинус отражают эти тенденции. Относительное - разница норма несколько выше для одного из экспериментальных позиций (0,36 против 0,31), что отражает более высокую температуру на этой

позиции измерения. С формами всех кривых аналогичных, косинус, дает аналогичные значения для обеих кривых (0,93 и 0,95).

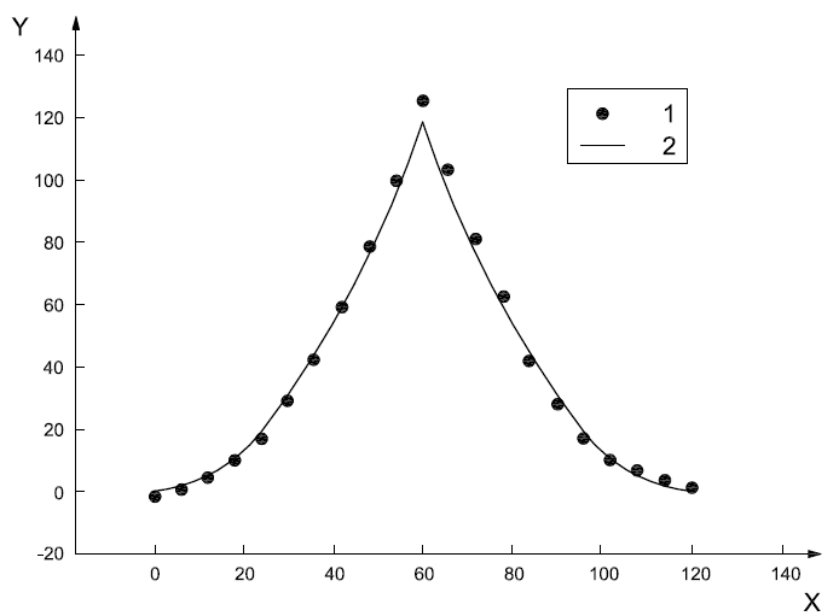
Для экспериментов и моделей, рассмотренных, методы обеспечивают возможность количественной сравнение величины и функциональной формы в соответствии с визуального осмотра сравнений.

Таблица. Сравнение «вымышленных» экспериментальных данных с тремя предсказаниями модели с использованием нескольких различных определений внутреннего произведения

Геометрия	Модель	Относительная разность	Косинус
Euclidean	1	0,10	1,00
	2	0,40	0,92
	3	0,20	0,98
Hellinger	1	0,10	1,00
	2	0,94	0,58
	3	0,74	0,77
Secant	1	0,10	1,00
	2	0,92	0,58
	3	0,66	0,83
Hybrid	1	0,10	1,00
	2	0,64	0,78
	3	0,43	0,91

Таблица. Сравнение экспериментальных измерений и предсказаний модели для нескольких тестов

Температуры верхнего и нижнего слоя и положение границы раздела									
Модель испытания	Местоположение/ помещение	Температура верхнего слоя		Температура нижнего слоя		Положение границы раздела		Косинус	Косинус
		Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус		
Испытания с мебелью в одно- комнатном помещении	1	0,31	0,95	0,47	0,92	1,38	—	—	—
	2	0,36	0,93	0,63	0,78	0,63	—	—	—
	1	0,25	0,97	a	a	a	—	—	—
Испытания с коридором в трехкомнатном помещении	2	0,26	0,99	a	a	a	—	—	—
	3	0,26	0,98	a	a	a	—	—	—
	1	0,51	0,93	0,33	0,95	2,26	—	—	—
Испытания с коридором в четырёхкомнатном помещении	2	0,54	0,91	0,52	0,87	a	—	—	—
	3	0,36	0,97	0,78	0,86	a	—	—	—
	4	0,20	0,98	a	a	a	—	—	—
Многоэтажное здание	1	0,28	0,97	a	a	a	—	—	—
	2	0,27	0,96	a	a	a	—	—	—
	7	2,99	0,20	a	a	a	—	—	—
Модель испытания	Местоположение/ помещение	Кислород		Моноксид углерода		Диоксид углерода		Косинус	Косинус
		Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус		
Испытания с мебелью в одно- комнатном помещении	1	0,48	0,90	0,93	0,66	0,69	—	—	—
	1	0,85	0,53	1,05	0,61	1,16	—	—	—
	2	0,93	0,39	1,02	0,57	0,90	—	—	—
Многоэтажное здание	2	0,74	0,68	0,72	0,90	0,87	—	—	—
Высвобождение тепла, давление и поток вентиляции									
Модель испытания	Местоположение/ помещение	Высвобождение тепла		Давление		Вентиляционный поток		Косинус	Косинус
		Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус	Относительная разность	Косинус		
Испытания с мебелью в одно- комнатном помещении	—	0,19	0,98	a	a	0,61	—	—	—
	—	0,21	0,98	1,31	0,80	—	—	—	—
Испытания в однокомнатном помещении с горячей стеной	1	0,43	0,96	0,15	0,99	0,14	—	—	—
	2	a	a	0,68	0,98	0,20	—	—	—
Испытания с коридором в трёх- комнатном помещении	—	a	a	6,57	0,74	a	—	—	—
	1	a	a	1,12	—0,41	a	—	—	—
a данные для сравнения недоступны									



Условные обозначения:

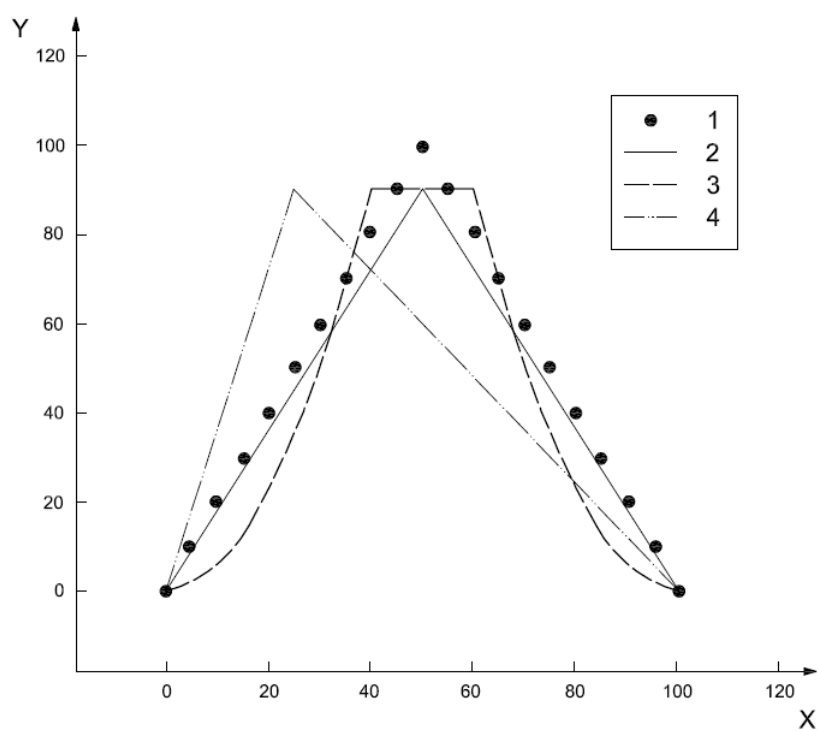
X время

Y измерение

1 точки экспериментальных данных

2 модель

Рис. Простой пример экспериментальных данных в сравнении с предсказанием модели



Условные обозначения:

X время

Y измерение

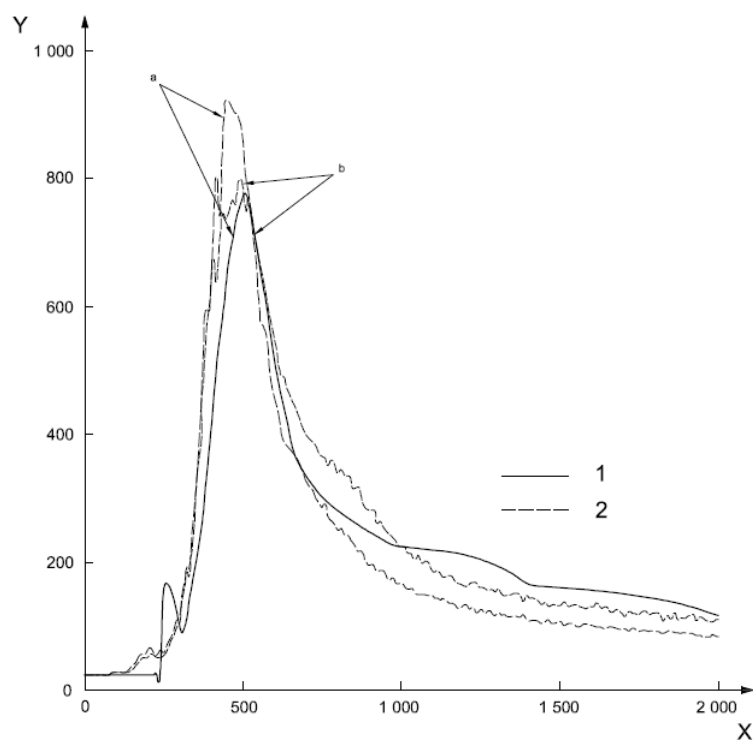
1 Колонка 6 против колонки 7

2 Колонка 6 против колонки 9

3 Колонка 6 против колонки 11

4 Колонка 6 против колонки 13

Рис. Три возможных прогноза модели для примера экспериментальных данных



Условные обозначения:

X время (с)

Y температура (°C)

1 модель

2 экспериментальные данные

a Относительная разность равна 0,36; косинус равен 0,95.

b Относительная разность равна 0,31; косинус равен 0,93.

Рис. Сравнение температуры верхнего уровня для испытания одном помещении

Методика обеспечения контроля качества

Основные положения

Процесс оценки изложен на рисунке ниже.

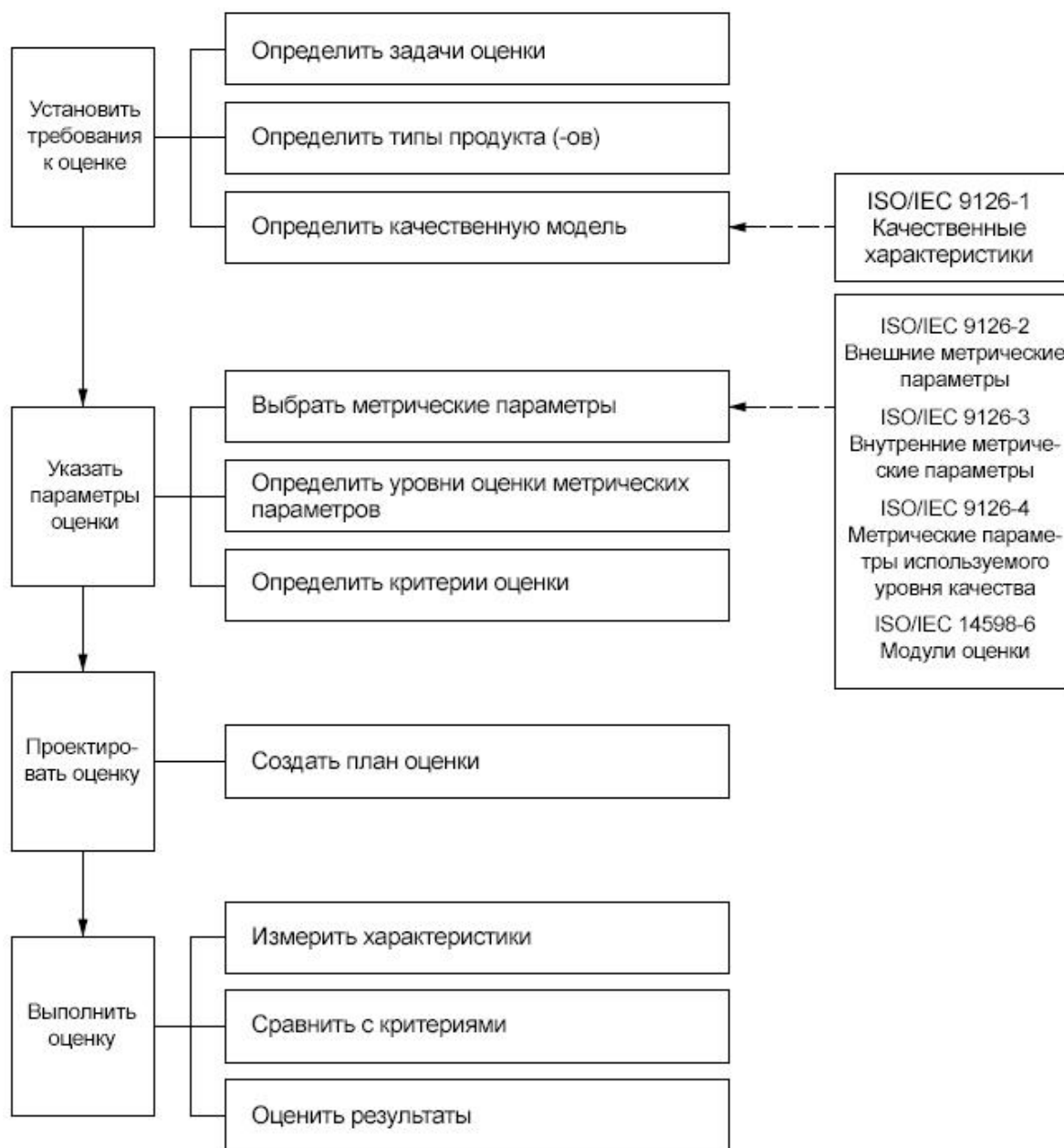


Рис. Процесс оценки (из ISO/IEC 14598-1)

Установить требования оценки

Установите цель оценки

Цель оценки программного продукта, в общем, для сравнения качества программного продукта против требований к качеству, которые выражают потребности пользователей, или даже выбрать программный продукт путем сравнения различных программных продуктов, или рейтинг продукт по отношению к своим конкурентам. Эта общая цель может быть более конкретны, при рассмотрении вопроса о точке зрения оценки программного продукта, например, приобретения, в процессе разработки, или в условиях эксплуатации.

Указать вид продукта (продуктов), которые будут оценены

Типы продуктов, оцененных в зависимости от цели оценки. В качестве первого шага, оценщик должен определить продукты проходят оценку в качестве промежуточного (во время разработки жизненного цикла) или конечных продуктов. Продукты оцениваемом можно измерить с помощью: внешние показатели, когда продукт является частью комплексной системы аппаратного/программного обеспечения под операции, внутренние показатели, которые могут применяться для измерения внутренние свойства программного обеспечения (например, спецификации или исходного кода), и качество - в использовании показателей, измеряющие влияние использования программного обеспечения в указанной среде.

Указать модель качества

Качество модели указано для оценки является эталонным для определения требований к программному обеспечению первым.

На этом этапе оценки, требования описаны соответствующими качественными характеристиками, становится приоритетным направлением в соответствии с потребностями пользователей.

Указать оценку

Выбрать показатели

Количественное описание и измерение требований к качеству продукции программного обеспечения могут быть сделаны только с помощью показателей, которые связаны с желаемыми характеристиками качества. Показатели могут быть:

- внутренняя, например, связанный с архитектуры программного продукта и позволяя предсказание качество конечного продукта;
- внешний, например измеримыми, когда продукт находится в эксплуатации;
- качества в использовании, например, для оценки эффекта использования программного продукта.

Выбор показателей для использования во время оценки программно- продукта зависит от цели оценки, выбранных качественных характеристик, о том, как легко и экономично это применять измерений. Показатели, используемые для сравнения также должны быть действительными и достаточно точным, чтобы позволить надежные сравнения должны быть сделаны. Это означает, что измерения должны быть объективными, эмпирической, используя работоспособную масштаб, и воспроизводимым.

Задать уровни градации для показателей

Для каждого выбранного показателя, значения градации определяется по соответствующей шкале, где требуемый уровень атрибута измеряемой выражено. Принятая шкала может указывать лимиты для каждого атрибута, идентификации, является ли измеренное значение, например, недопустимо, минимально приемлемым, в пределах целевого диапазона, или же она превосходит требования.

Установить критерии для оценки

Критерии оценки не требуют подведения измеренных значений для формирования уникального индикатора, который представляет качество продукции, так как качество характеризуется соблюдением установленных требований. В таком образом, стоимость и график могут быть чувствительны к каждой установленной требованию и его измеренного значения. Когда процесс оценки используется, чтобы сделать выбор среди различных продуктов, это может быть необходимо создать модель, которая представляет воспринимаемую коммерческую ценность каждого продукта из измеренных значений, с тем чтобы сделать более объективные сравнения.

Расчет оценки и производства плана оценки

Документирование методов оценки и производства проект плана требует решения таких вопросов, как:

- технические ограничения, связанные с измерениями или проверок,
- методы оценки каждого измерения или проверки, что должно быть документально,
- идентификация программных средств, используемых для измерений,
- идентификация продукции компонентов, на которых метод должен быть применен,
- спецификация интерпретации результатов, при необходимости,
- описание среды,
- оптимизации оценки плана адресации вопросы, такие как пересмотр проекта плана оценки, чтобы избежать дублирования оценщика действия,
- оценки планирования действия по отношению к имеющимся ресурсам, на решение вопросов, таких как измерения и график запланированных мероприятий, и с учетом
 - доставки график продукта и компонентов,
 - связь между оценщиком и разработчиком,
 - доступ к разработке и производственных предприятиях.

ПРИМЕЧАНИЕ. Желательно для пользователей настоящего стандарта, чтобы начать читать соответствующие положения из ISO/IEC 14598-2 и рассмотреть информацию в других частях ISO/IEC 14598 для того, чтобы иметь более широкий понимание этого вопроса, когда намереваясь подготовить план оценки.

Выполнить оценку

Выполнить измерения

Выбранные показатели для нанесения на программный продукт, в результате чего значения на весах показателей.

Сравнить с критериями

Измеренные значения сравниваются с критериями, установленными в спецификации. Для измерений конечного продукта, значения сравниваются с целевыми значениями.

Измеренные значения должны быть использованы для идентификации:

- каждого недостатка продукта и того, как каждый недостаток можно устранить,
- любые дополнительные оценки, необходимые для устранения любых выявленных недостатков; эта дополнительная оценка может, например, подтвердить, что нет дефицита, или быть использованы для проверки правильности и приемлемую производительность программного обеспечения, как только изменения в конструкции или изменения были внесены в правильно дефицит,
- стоит ли ограничивать или контролировать использование программного продукта и, в данном случае, ограничение, например, воздействие на обязательных требований, требуется ли дополнительная работа по оценке или воздействия на приложения дизайна, бюджета или график,
- любые исключения из сферы оценки и/или ограничений на результаты для каждой оценки, таких как: «Эта оценка не включает в себя подробный обзор функциональных возможностей продукта»,
- интегрированные результаты всех мероприятий по оценке, чтобы позволить общий вывод для оценки программного продукта должны быть сделаны.

Оценка результатов

В оценке деятельности, набор номинальных значений суммируется и заявление о степени, в которой программный продукт отвечает требованиям качества производится. Это резюме затем сравнивается с другими аспектами, такими как время и стоимость. Наконец, на основе управленческих критериев, управленческое решение производится на принятии или отклонении или об освобождении или не освобождении программного продукта. Результаты оценки влияют следующие шаги жизненного цикла разработки программного обеспечения; например, «если требования изменены или больше ресурсов, необходимых для процесса развития?»

Надо делать выводы, которые могут быть объяснены двух взаимодополняющих подходов:

- а) путем формализации выводы, используя «заявление о соответствии требованиям», которая разъясняет, как каждое требование было выполнено;
- б) принимать окончательное решение либо принять или не принять программный продукт для использования и рассмотреть возможные альтернативы: например, если решение не принимать, рассмотреть вопрос об изменении продукта или изменения требований.

Необходимо также учитывать, что, хотя оценщик несет ответственность за заключение оценки, он может выполнить окончательную оценку, только если это указано в спецификации оценки. Оценщик обычно составляет в запрашивающей отчета об оценке, которые могут содержать некоторые выводы, а затем запрашивающая завершает оценку на основе этого доклада. Это происходит потому, что окончательная оценка может принять во внимание стратегические решения для организации, такие как стоимость, приспособлений, которые будут реализованы и вовремя доставить.

Примеры

Выбор показателей и критериев оценки

Основания, по которым выбираются показатели зависит от бизнес целей для продукта и потребностей оценщиком. Потребности определяются критерии мер. Модель в ISO/IEC 9126-2 поддерживает различные требования оценки, например

- пользователь или бизнес-единица пользователя может оценить пригодность программного продукта с помощью показателей для качества в использовании,
- покупатель может оценить программный продукт от критерия значений внешних мер функциональности, надежности, удобства использования и эффективности, или качества в использовании,
- сопровождающий может оценить программный продукт с помощью показателей для поддержки,
- лицо, ответственное за внедрение программного обеспечения в различных средах, могут оценить программный продукт с помощью показателей для портативности,
- разработчик может оценить программный продукт от значений критерия с использованием внутренних мер любой из качественных характеристик.

Примечание: ISO/ IEC-4 содержатся требования и руководство по выбору показателей и критериев измерения для оценки программы-продукта.

Уровни градации для показателей

Количественные характеристики могут быть измерены количественно с использованием качественных показателей. В результате, т.е. измеренного значения, отображается на шкале. Это значение не само по себе показывает уровень удовлетворенности. Для этой цели необходимо разделить шкалу в пределах, соответствующих различным степеням удовлетворения потребностей. Примерами являются:

- деления шкалы на две категории: неудовлетворительные и удовлетворительные,
- деления шкалы на четыре категории, ограниченных текущим уровнем существующих или альтернативный продукт, в худшем случае, и запланированного уровня. Текущий уровень сказано, чтобы контролировать, что новая система не ухудшается от текущей ситуации. Планируемый уровень того, что считается достижимо с имеющимися ресурсами. В худшем случае уровень является границей для принятия пользователем, в случае, если продукт не выполняет запланированный уровень (см. рис.).



Рис. Уровни градации для показателей

Показатели для оценки – Установка критериев оценки

Программное обеспечение качества-требования спецификации должны быть определены с помощью соответствующего, четко определенную модель качества.

Для этого, модель качество и определения в ISO/IEC 9126-2 следует использовать, если нет особых причин, чтобы использовать другую модель.

Для оценки качества продукта, необходимо подвести итоги оценки различных характеристик. Оценщик должен подготовить процедуры для этого, отдельные критерии для различных характеристик качества, каждый из которых может быть с точки зрения отдельных субхарактеристики, или взвешенной комбинации субхарактеристики. Эта процедура обычно включает в себя другие аспекты, такие как время и стоимость, которые вносят вклад в оценку качества программного продукта в конкретной среде.

ISO/TR 16730-2:2013 Пример валидации зонной модели пожара

Область применения

Стандарт 16730 показывает, как ISO 16730-1 применяется к методу расчета для конкретного примера. Он демонстрирует, как техническая и аспекты пользователей метода правильно описано, с тем чтобы оценку метода в целях проверки и подтверждения.

Пример в этой части ISO 16730 описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1 для зонной модели (CFAST).

Основная цель конкретной модели обработанной здесь является моделирование пожара в закрытых отсеках с естественной или принудительной системой вентиляции.

Общие сведения о рассматриваемой зонной модели

Имя, данное модели зоны рассматриваемого в настоящем стандарте является «CFAST». CFAST является двухзонная модель пожара способна предсказывать окружающей среды в структуре с несколькими отделениями под действием огня. Он рассчитывает времени развивается распределение дыма и пожарных газов и температуры во всем здании во время пользователем предписано огня. Это технический отчет описывает

уравнения, которые представляют собой модель, физическую основу для этих уравнений, а также оценку чувствительности и прогнозных возможностей модели.

Уравнения моделирования принять математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закон сохранения энергии (первый закон термодинамики), закон идеального газа, и отношений на плотность и внутренней энергии. Эти уравнения предсказать как функции времени величин, таких как давление, высоты слоя и температуры даны накопление массы и энтальпии в два слоя. После этого модель состоит из набора ОДУ для вычисления окружающей среды в каждом отделении и коллекция алгоритмов для вычисления массы и энтальпии исходных условий, необходимых ОДУ.

Методика, используемая в данном техническом отчете

Для расчетного метода считается, проверяет на основе ISO 16730-1 и, как указано в настоящем стандарте применяются. Это технический отчет перечисляет в Приложениях важные вопросы, которые будут зарегистрированы в левой колонке таблицы из двух столбцов. Вопросы, рассматриваемые затем подробно описано, и показано, как они были рассмотрены в ходе разработки метода расчета в правой колонке на Приложениях и цитированной выше, где приложение охватывает описание метода расчета и Приложения охватывает полное описание оценки (проверки и апробации) конкретного метода расчета. Приложение С описывает работал пример и Приложение добавляет руководство пользователя.

Описание метода расчета

Цели	
Определение проблемы решены или функция, выполняемая	Модель была разработана для решения практических задач Пожар в огнезащиты, в то же время обеспечивая инструмент для изучения фундаментальной динамики огня и распространение дыма. Он предназначен для системы моделирования строительства и строительных компонентов. Он не предназначен для детального изучения потока в купе, например, необходимо для детектор дыма размещения. Объемы пространства от $\sim 1 \text{ м}^3$ до $1\,000 \text{ м}^3$ и временных масштабах от $\sim 1 \text{ с}$ до примерно за несколько часов.
(Качественный) описание результатов расчетного метода	Выходы модели являются разумные переменные, которые необходимы для оценки окружающей среды в здании под действием огня. К ним относятся температуры верхних и нижних слоев газа внутри каждого отсека, температуры потолок/стена/пол внутри каждого отсека, видимый дым и концентрации видов газа в пределах каждого слоя, целевые температуры, и время активации спринклерной.
Обоснование заявления и технико-экономических обоснований	Модель прогнозирует среды в отсеки структур в результате пожара, установленном пользователем. Это является примером класса моделей под названием конечных элементов. Это конкретная реализация называется моделью зоны и, по сути, пространство быть смоделированы разбивается на несколько элементов. Физика отсека пожарных явлений обусловлена потока жидкости, в первую очередь плавучести. Обычный набор элементов или зон являются верхний и нижний слой газа, разбиение стена/потолок/пол к элементу каждого, одного или нескольких шлейфов, и такие объекты, как пожары, целевых показателей и детекторов. Одной из особенностей этой реализации модели конечных элементов является то, что интерфейс между элементами (в данном случае, верхних и нижних слоев газа) может перемещаться с его позиции, определенной руководящими уравнений. Перечень всех проведенных испытаний по валидации приведен в работах [53-56].
Теория	
Базовая концептуальная модель (руководящий явления)	Уравнения моделирования принять математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закон сохранения энергии (что то же самое, первый закон термодинамики), и закон идеального газа. Эти уравнения прогнозируют как функции времени величин, таких как давление, высоты слоя и температуры даны накопление массы и энтальпии в два слоя. Предположение о модели зоны в том, что свойства, такие как температура может быть аппроксимирована

	по всему объему управления по среднему значению.
Теоретические основы явлений и физических законов, на которых основывается метод расчета	Уравнения, используемые принять математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закон сохранения энергии (первый закон термодинамики), закон идеального газа, и отношений на плотность и внутренней энергии. Эти уравнения прогнозируют как функции времени величин, таких как давление, высоты слоя и температуры даны накопление массы и энтальпии в два слоя.
Применение теории	
Основные уравнения	Уравнения моделирования, используемые принять математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закон сохранения энергии (первый закон термодинамики), и закон идеального газа. Эти уравнения прогнозируют как функции времени величин, таких как давление, высоты слоя и температуры даны накопление массы и энтальпии в два слоя. Предположение о модели зоны в том, что свойства, такие как температура может быть аппроксимирована по всему объему управления по среднему значению. Формулировка использует определения плотности, внутренней энергии, и закон идеального газа. Эти показатели представляют собой обмен массой и энтальпии между зонами из-за физических явлений, таких как перья, естественной и принудительной вентиляции, конвективного и лучистого теплообмена, и так далее. Например, воздушный клапан, обмены массы и энтальпии между зонами в смежных номеров, огонь шлейф, как правило, добавляет тепла в верхнем слое и передает вовлеченного массу и энтальпии от нижнего к верхнему слою, и конвекционные передает энтальпии от слоев газа в окружающий стены.
Математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы используются, со ссылками на них	Уравнения, используемые в зоне пожара моделирования являются обыкновенные дифференциальные уравнения (ОДУ), которые являются жесткими. Термин «жесткий» означает, что большие различия в масштабах времени присутствуют в оде раствора. В нашей задаче, давление приспособиться к изменяющимся условиям быстрее, чем других величин, таких как температура слоя или высоты интерфейса. Специальные Решатели требуются в целом решить зона пожарной моделирования ОДУ из-за этого жесткости, которые используются здесь. Есть два предположения, которые уменьшают время вычислений. Во-первых, относительно небольшое число зон или элементов в отсеке достаточно, чтобы моделировать физическую ситуацию. Второе предположение заключается в, чтобы закрыть систему уравнений без использования уравнение импульса в купейных интерьеров. Это упрощение устраняет акустические волны. Хотя это предотвращает один из расчета гравитационных волн в отсеках (или между отсеками), в сочетании с лишь несколько элементов на отсеке позволяет прогнозировать в большой и сложной пространстве очень быстро.
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику; ограничения на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	Модель была разработана для решения практических задач Пожар в огнезащиты, в то же время обеспечивая инструмент для изучения фундаментальной динамики огня и распространение дыма. Он предназначен для системы моделирования зданий и строительных компонентов. Он не предназначен для детального изучения потока в купе, например, необходимо для детектор дыма размещения. Она включает в себя активацию разбрызгиватели и пожаротушения каплями воды. Наиболее широкое применение модели находится в огне и распространения дыма в сложных зданий. Эффективность и вычислительная скорость присущи немногих вычислительных клеток, необходимых для реализации модели зона. Большинство использования для реконструкции, сроки проведения пожара и распространения дыма в жилых, коммерческих и промышленных пожарных реконструкций. Некоторые приложения модели были для проектирования систем управления дыма.

	<p><u>Противопожарные отсеки</u>: Модель, как правило, ограничиваются ситуациями, когда объемы отсека сильно стратифицированы. Тем не менее, для того, чтобы облегчить использование модели для предварительным оценкам, когда более сложный расчет, в конечном счете, необходимых, есть алгоритмы коридора потока, активизацией детектора дыма, и детального теплопроводности через твердых границ. Эта модель не предусматривают непрямоугольной отсеков, при том, что приложение предназначено быть ограниченным относительно простых пространств, таких как чердаков и судовых коридоров. Там нет намерения включить сложную геометрию, где поле комплекс потока является движущей силой. Для таких приложений, вычислительная гидродинамика (CFD) модели могут быть применены.</p>
	<p>Есть также ограничения, присущие в предположении стратификации слоев газа. Модель зона концепция, по определению, предполагает резкую границу между верхним и нижним слоями, тогда как на самом деле, переход, как правило, в течение примерно 10% от высоты отсека и может быть больше, в слабо стратифицированной потока. Например, горящая сигарета в нормальном номере, не входит в компетенцию модели зоны. Хотя вполне возможно, делать прогнозы в пределах 5% от фактических температур газовых слоев, это не оптимальное использование модели. Это более правильно используется, чтобы сделать оценки распространения огня (не распространения пламени), обнаружения дыма и загрязнения, и расчеты жизненного безопасности.</p>
	<p><u>Скорость тепловыделения</u>: Существуют ограничения, присущие допущений, используемых в применении эмпирических моделей. В качестве общей рекомендации, выделение тепла не должна превышать порядка 1 MW/m³. Это ограничение на численных процедур в связи с связи между потоком газа и теплопередачи через границы (теплопроводности, конвекции и излучения). Присущая двухслойная предположение, вероятно, сломать задолго до достижения этого ограничение.</p>
	<p><u>Излучение</u>: Так как модель включает в себя сложные излучения модели и вентиляционные алгоритмы, это еще больше использовать для изучения загрязнения здания через систему вентиляции, а также эффект стека и эффект ветра на циркуляции воздуха в зданиях.</p>
	<p><u>Вентиляции и утечка</u>: В одном отсеке, отношение площади отверстия соединительной один отсек к другому объему отсека не должна превышать примерно 2 м⁻¹. Это ограничение на предположении идеального вытеснения для вентиляционных отверстий. Важное ограничение возникает из неопределенности в описании сценария. Например, утечка в зданиях является значительным, и это влияет расчеты потока особенно когда ветер присутствует и для высотных зданий. Эти эффекты могут сокрушить ограничения на точность реализации модели. Общая точность модели тесно связана со спецификой, уходу и полноты, с которой предоставляются данные.</p>
	<p><u>Тепловые свойства</u>: точность прогнозов модели ограничена тем, насколько точно пользователь может указать теплофизические свойства. Например, доля топлива, которое в итоге, как сажа, имеет важное воздействие на поглощение излучения слоя газа и, следовательно, относительное конвективный против радиационным нагревом слоев и стен, которые в свою очередь влияет на плавучесть и поток. Существует более высокий уровень неопределенности прогнозов если свойства реальных материалов и реальных топлива неизвестны или трудно получить, или физические процессы горения, радиация, и теплообмен являются более сложными, чем их математические представления в модели.</p>

Обсуждение точности результатов, полученных важных алгоритмов и, в случае компьютерных моделей, любая зависимость от конкретных возможностей компьютерных	Предсказания, как правило, с точностью до 10% до 25% измерений для ряда сценариев. В общем, это достаточно для его предполагаемого использования, которые расчеты жизненного безопасности и оценка окружающей среды, к которому строительные элементы подвергаются во время пожара среды. Прикладные дизайн поля, как правило, больше, чем этот уровень точности и может быть целесообразным для обеспечения адекватного запас прочности.
Описание результатов анализа чувствительности	Многие из выходов весьма нечувствительны к неопределенности во входных параметрах для широкого диапазона сценариев. Не удивительно, что скорость выделения тепла последовательно рассматривается как наиболее важной переменной в диапазоне моделирования. Скорость тепловыделения и связанные переменные, такие как теплота сгорания или поколения темпов продуктов сгорания обеспечивает движущую силу для пожарных приводом потоков. Все это вводит пользователь. Таким образом, тщательный отбор этих пожарных связанных переменных необходимо для точных предсказаний. Другие переменные, связанные в отделение геометрии, такие как высота отсека или вентиляционные размеры, в то время считаются важными для результатов моделирования, как правило, более легко определены для конкретных сценариев проектирования, чем входов пожарных, связанных с. Для некоторых сценариев, например, типичный дизайн производительности здание, эти отверстия, возможно, потребуется включить эффекты утечки для обеспечения точных предсказаний. Для других сценариев, таких как судового использования или объектов атомной энергетики, утечка может быть легко определена и не может быть проблемой в расчетах.
Входные данные	
Требуемые параметры	<p>Все данные для запуска модели содержатся в файле ввода данных. Необходимы также базы данных для объектов, теплофизических свойств границ, и выборочных описаний предписано огня предоставляемых с моделью. Эти файлы содержат информацию о геометрии здания (размеров отсеков, строительных материалов, и свойства материала), связи между отсеками (горизонтальные отверстия потока, такие как двери, окна, отверстия вертикальных потоков в полами и потолками, и механических соединений вентиляционных), пожарные свойства (размер огонь и видов темпы производства в зависимости от времени), и спецификации для детекторов, спринклеры, и задач (расположение, размер, характеристики теплопередачи и характеристики течения для разбрызгивателей). Материалы определяются их теплопроводности, теплоемкости, плотности, толщины и характеристик горения (скорость выделения тепла, свойства зажигания и видов урожайности).</p> <p>Файл входных данных предоставляет программу с параметрами для описания сценария в стадии рассмотрения. Параметры организованы по группам родственных переменных. Каждая строка входного файла данных содержит входы, связанные в одну группу и начинается с ключевого слова, которое идентифицирует вход. Например, отделение геометрия описывается набором линий (ключевое слово: COMPA), которые определяют ширину, глубину и высоту каждого отсека. Описание входных параметров можно найти в руководстве пользователя. [54]</p>
Источник данных, необходимых	Различные источники данных могут быть использованы. Эти данные включают в себя данные о собственности, для граничных материалов, таких как теплоемкости и теплопроводности, коэффициентов потока через отверстия, коэффициенты шлейф модели, и так далее. Данные взяты из рецензируемых изданиях.
Для компьютерных моделей: любые вспомогательные программы или внешние файлы данных, требуемых	Нет
Предоставление информации о источнике, содержание и использование библиотек данных для компьютерных моделей	Примеры библиотек данных предоставляются.

Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

(Количественный) результаты любых усилий по оценке прогнозных возможности метода расчета в соответствии с главой 5 ISO 16730-1	Обширная проверка метода расчета была выполнена. [53]
<p>Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода уже выполняется. Если, в случае компьютерных моделей, проверка метода расчета основана на бета-тестирование, документация должна включать профили тех, кто участвует в тестировании (например, были они вовлечены в какой-либо степени в развитии метода расчета, или они были наивные пользователи, были они дали каких-либо дополнительных инструкцию, которая не будет доступна для предполагаемых пользователей конечного продукта и т.д.)</p>	<p>Метод расчета является общедоступной модель, разработанная Национальным институтом стандартов и технологий (США). Это был подлежит строгому анализу, в том числе проверки кода, проверки многочисленными исследователями и проверки через сравнению со многими экспериментами. К ним относятся данные, собранные специально для этой модели, а также данные, разработанных для других целей.</p> <p>Полный спектр сравнений, используемых для проверки CFAST, приведен в главе 6 Технического справочного руководства [53]</p> <p>В полном анализе беспристрастности, есть сравнение с полномасштабные испытания, проведенные специально для выбранной оценки (13), сравнения с ранее опубликованными данными испытаний (10), сравнение с документированной пожарной опыта (5), и по сравнению с экспериментами, которые охватывают особые ситуации (2 по ядерным объектам, 3 из малого масштаба тестирования и 9 на необычной геометрии или специальных алгоритмов).</p> <p>Испытания, использованные в текущей оценке модели, подробно представлены в работе [56], являются:</p> <p>НБС Одноместный номер Тесты с Мебель (общий объем отсека: 21 м3, пик размер огонь: 2,9 МВт)</p> <p>VTT большой зал Тесты (общий объем отсека: 7 182 м3, пик размер огонь: 4 МВт)</p> <p>NIST/CPH Серии тестов (общий объем отсека: 586 м3, пик численности пожарной: 2,2 МВт)</p> <p>FM/SNL Серии тестов (общий объем отсека: 1 296 м3, пик численности Огонь: 516 кВт)</p> <p>IBMB отсек Тесты (общий объем отсека: 74 м3, пик численности пожарной: 3,6 МВт)</p> <p>НБС нескольких отсеков серии испытаний (общий объем: 100 м3, пик размер огонь: 500 кВт)</p> <p>FM Четыре номера, включая коридор серии испытаний (общий объем: 200 м3, пик размер огонь: 1 МВт)</p> <p>NIST семиэтажного отеля Тесты (общий объем здания: 140 000 м3, пик численности пожарной: 3 МВт)</p> <p>В таблице приведены сравнения проверки для текущей версии модели.</p>
Степень, в которой метод расчета отвечает этому Технический отчет.	Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.

Таблица. Обзор сравнений модели [56]
(см. Пикок Р.Д., МакГреттан К.Б., Клейн Б., Джонс У.У., Ренеке П.А. «CFAST – Объединенная модель роста пожара и распространения дыма (версия 6): Разработка программного обеспечения и модель руководства по оценке», Специальная публикация NIST 1086 (2008))

Величина	Среднее значение ^a (%)	Среднее значение выборки ^b (%)	В пределах экспериментальной неопределенности ^c (%)	90-й процентиль ^d (%)
Температура слоя горячих газов	6	14	52	30
Глубина слоя горячих газов	3	15	40	28
Температура струи	17	11	39	29
Температура припотолочной струи	16	5	70	61
Концентрация кислорода	-6	18	12	32
Концентрация углекислого газа	-16	16	21	52
Задымление ^e	272/22	227/18	0/82	499/40
Давление	43	13	77	206 ^f
Целевой поток (общий)	-23	27	42	51
Целевая температура	0	18	38	34
Исходный поток (общий)	5	25	40	61
Температура поверхности	24	35	17	76

^a Среднее значение включает в себя как знак и величину относительных различий в порядок, чтобы показать какой-либо получения общей тенденции к избыточной или недостаточной прогноза.

^b Среднее значение выборки основано только от величины относительных значений и игнорирует знак относительных различий, так что значения с противоположными знаками не отменяют и сделать сравнение кажутся ближе, чем отдельные величин будет означать.

^c Процент модельных предсказаний, что находятся в экспериментальной неопределенности.

^d 90% модельных предсказаний находятся в пределах указанного процента от экспериментальных значений. Для справки, с разницей в 100% является фактором 2 больше или меньше экспериментальных значений.

^e Первое число для закрытых тестов NIST/NRC, и второе число для открытых дверей тестов NIST/NRC.

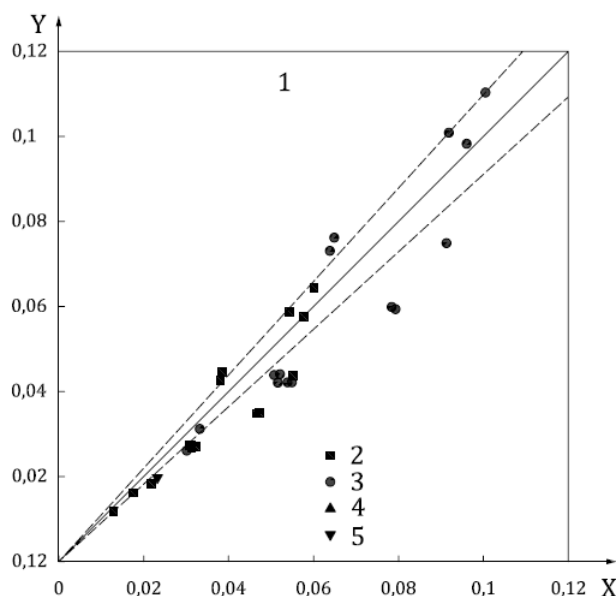
^f Высокая величина 90 стоимости процентиль приводом в значительной степени двух тестов, где под-предсказание составляет приблизительно 2 Па.

Пример с решением

Это пример расчета посмотрите на экспериментальной неопределенности, неопределенности модели, и ряд полномасштабные эксперименты.

Серия пожарных экспериментов была выполнена в NIST для комиссии по регулированию США по ядерному и научно-исследовательского института электроэнергетики. [55]. На рисунке ниже показано сравнение с изменением объемной доли (концентрации) диоксида углерода и кислорода между прогнозами CFAST и данными испытаний с макетами в проекте ICFMP. На втором рисунке представлено подобное сравнение спрогнозированной и измеренной температуры горячего слоя газа с другими подмножеств данных из того же проекта. Подробная информация о тестовой среде и условиях испытаний можно найти в упомянутой литературе. [55]

Ссылка для проверки серию в ICFMP содержится в [55]. BE n обозначает один из сценариев.



Условные обозначения:

X измеренное изменение объемной доли

Y прогнозируемое изменение объемной доли

1 концентрации видов газа CFAST

2 ICFMP BE # 3 верхний слой CO₂

3 ICFMP BE # 3 верхний слой O₂

4 ICFMP BE # 5 верхний слой CO₂

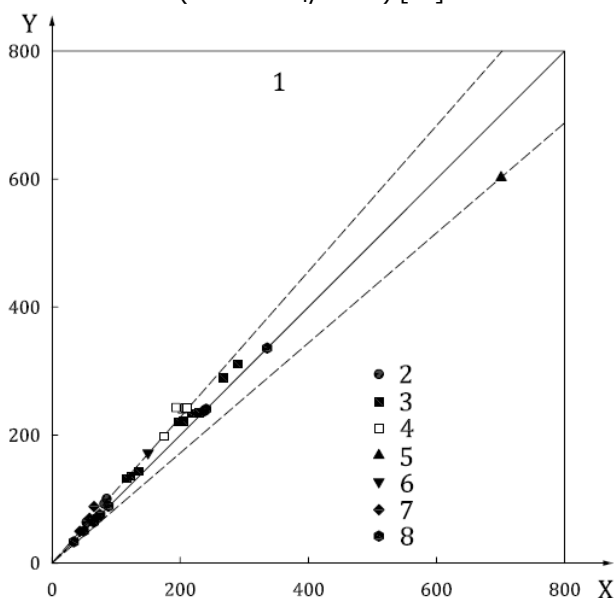
5 ICFMP BE # 5 верхний слой O₂

— расчет CFAST для заявленного сценария

----- (±) суммарная погрешность

ПРИМЕЧАНИЕ. ICFMP xx обозначает конкретные тестовые сценарии.

Рис. Сравнение концентрации кислорода и концентрации углекислого газа (см. таблицу ниже) [55]



Условные обозначения:

X подъем измеренной температуры (°C)

Y подъем прогнозируемой температуры (°C)

1 подъем температуры слоя горячих газов CFAST

2 ICFMP BE # 2

3 ICFMP BE # 3 (испытания с закрытыми дверями)

4 ICFMP BE # 3 (испытания с открытыми дверями)

5 ICFMP BE # 4

6 ICFMP BE # 5

7 FM/SNL

8 NBS множество помещений

—— прогноз CFAST
 - - - - - (±) суммарная погрешность
 ПРИМЕЧАНИЕ. ICFMP xx обозначает конкретные тестовые сценарии.

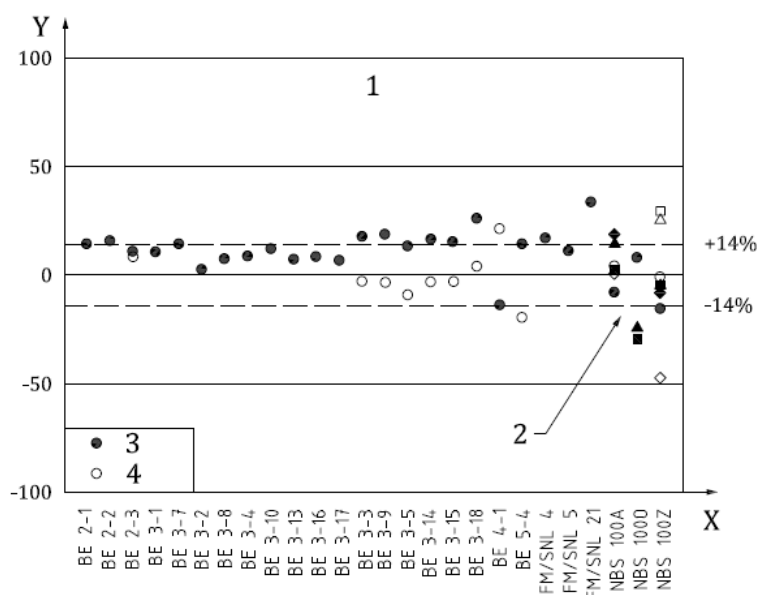
Рис.: Сравнение для подъема температуры слоя горячих газов [55]

Сравнение для всех тестов [55] дает ощущение неопределенности соглашения между прогнозированием и измерения, как обозначено в таблице.

Таблица. Суммарная погрешность из испытаний ICFMP

Величина	Количество испытаний	Суммарная погрешность (%)
Подъем температуры слоя горячих газов	26	13
Глубина слоя горячих газов	26	9
Температура припотолочной струи	18	16
Температура струи	6	14
Концентрация газа	16	9
Концентрация дыма	15	33
Давление	15	40 (естественное)
		80 (форсированное)
Тепловой поток	17	20
Целевая температура	17	14

Важно отметить, что не существует ни одно заявление, о котором ближе к истинным ценностям. Еще один способ, чтобы посмотреть это сравнение является упрощенным относительно разницы (для того же набора данных), как показано на следующем рисунке.



Условные обозначения:

Y относительная разность (%)

1 температура и глубина слоя горячих газов CFAST

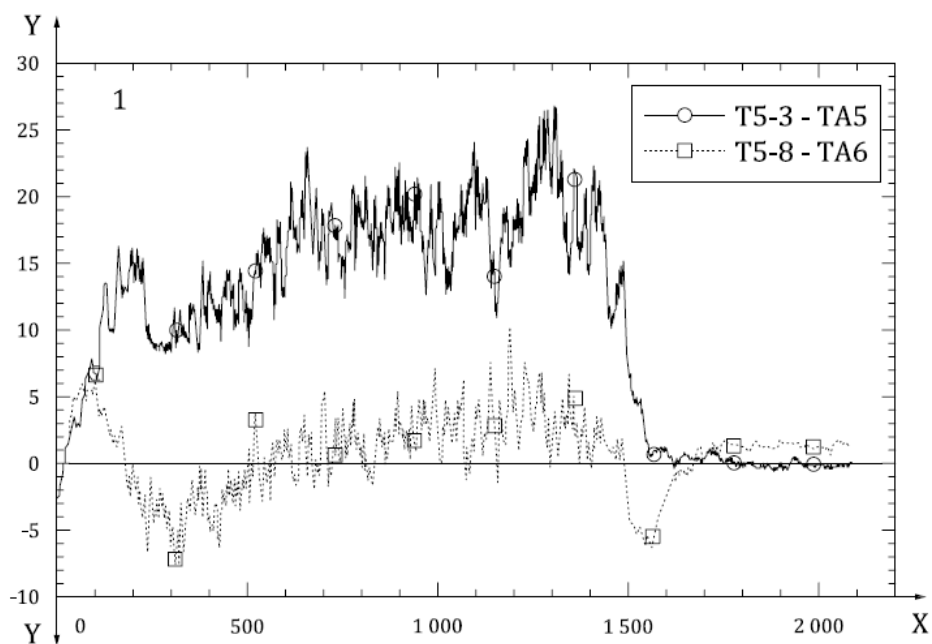
2 кроме кружочков, точками отмечены места, удаленные от помещения с пожаром в серии испытаний с множеством помещений NBS

3 температура слоя горячих газов (HGL)

4 глубина слоя горячих газов (HGL)

Рис. Относительная разность температур горячего и холодного слоя газа и глубины, соответственно, к предсказаниям CFAST, для различных испытаний, которые обозначаются на оси x и в работе [55]

Экспериментальные ошибки могут ползти в сравнении. На следующем рисунке для одного из испытаний показано сравнение между шариком и безнаддувными термопарами.



Условные обозначения:

X время (с)

Y температура (°C)

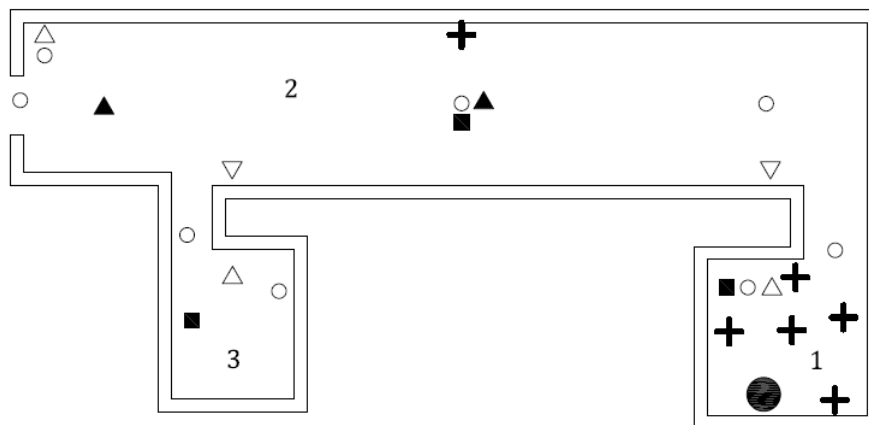
1 испытание 3

Примечание: круги для придыханием, и коробки и нижний график представляет термодатчики.

Рис. Относительное изменение температуры для босых термодатчиков
как по сравнению с придыханием термодатчиков

Верхняя кривая на рисунке, приведенном ниже, является атмосферный термодатчиков, в то время как нижний график представляет собой термодатчиков без коррекции излучения. Это часто является источником разницы сообщили, когда предсказания CFAST представлены и автор приходит к выводу, что модель перепрогнозирует температуру. Там нет простое правило для этой коррекции, так как это зависит от температуры и радиации в окружающей среде.

Наконец, ошибки моделирования могут ползти, когда модель не истинное представление эксперимента. В натурного эксперимента на NIST, серия измерений было сделано в расположении трехкамерные (см. рисунок выше).



Условные обозначения:

1 помещение 1

2 помещение 2

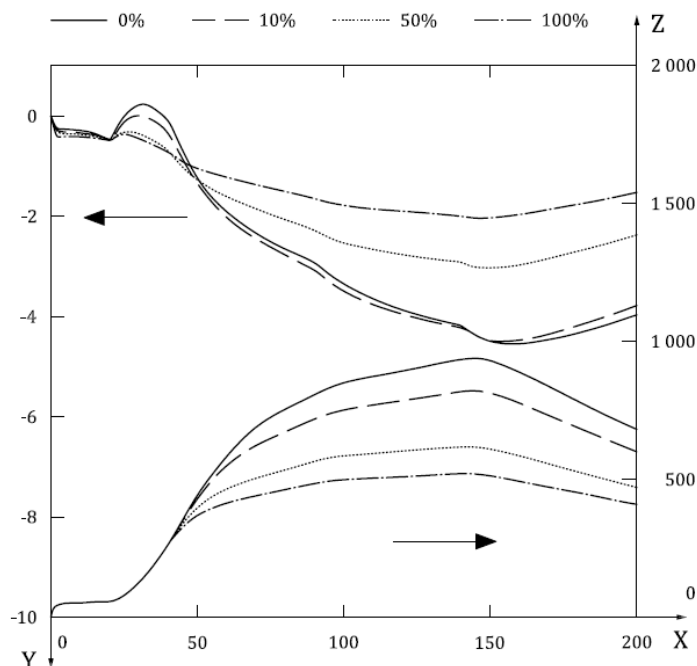
3 помещение 3

Примечание: символы обозначают позиции измерительных зондов, как TC.

Рис. Схема расположения испытания

В течение первого сравнения измерений с предсказанием, разница была поразительно плохо. В следующей серии испытаний было установлено, что дым протекает из верхней части передней стенки номере 2. Следовательно, утечки во время пожара было сочтено важным и измеряли.

Эффект утечки на верхней температуры слоя и давления пола как фракции фактических отверстия показан на рисунке ниже.



Условные обозначения:

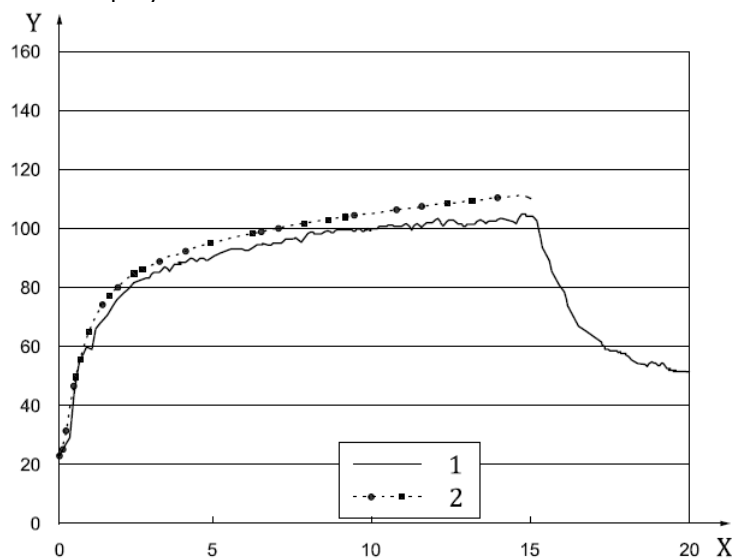
X время (с)

Y давление (Па)

Z температура (°C)

Рис. Последствия утечки как долей фактических отверстия в схеме на рис. на обоих давления и температуры

Делая правильный расчет, что делает прогноз для эксперимента, как это было, а не то, что было сначала себе быть, отображается на рисунках 16 и 17 соответственно.



Условные обозначения:

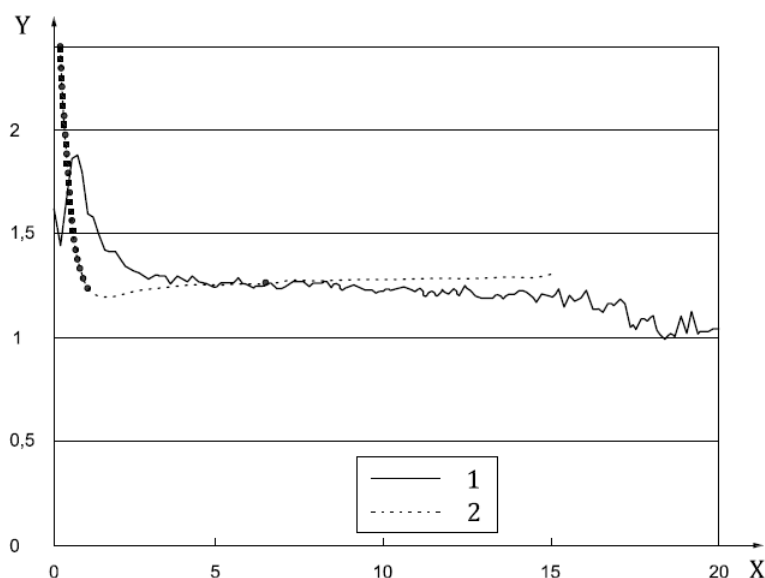
X время (мин)

Y температура слоя горячих газов дерева 4/Испытание с множеством помещений NBS Испытание 100A

1 exp ВРЕМЯ против UP 18

2 время CFAST против температуры 4 слоя горячих газов

Рис. Температура слоя горячих газов против времени дерева термолар 4: Сравнение прогнозов с результатом испытаний



Условные обозначения:

X время (мин)

Y высота слоя горячих газов дерева 4/Испытание с множеством помещений NBS Испытание 100A

1 exp ВРЕМЯ против ВЫСОТЫ 18

2 время CFAST против высоты 4 слоя горячих газов

Рис. Сравнение высоты слоя горячих газов: Прогноз по сравнению с испытанием

Вывод таков, что важно, чтобы убедиться, расчет для эксперимента под рукой.

Руководство пользователя

Руководство пользователя находится в открытом доступе, см. работу [54]

ISO/TR 16730-3:2013 Пример валидации модели вычислительной гидродинамики

Общая информация о рассматриваемой модели вычислительной гидродинамики (CFD)

Имя, данное модели CFD считается в этой части ISO 16730 – «ISIS». Компьютерный код ISIS, разработанный Французским институтом радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN) и определяется как динамическое переноса текучей среды модели (также называемый CFD или полевая модель), основана на согласованный набор моделей, которые могут быть использованы для моделирования пожар в крупных и искусственной вентиляции легких отсеков. Этот вид конфигурации с участием сложных потоков требует точного физического моделирования и эффективных численных методов. Как правило, пространственные и временные масштабы, с которыми сталкиваются в пожарах очень разрозненные и связь между явлениями очень сильна.

Проверки и подтверждения фазы кода два различных процесса, которые постоянно обновляются на основе последних разработок кода. Фаза проверки использует широкий спектр методов, таких как сравнение с аналитическим решением для модельных задач, использование изготовленного раствора, а также по сравнению с эталонной результате. Процесс проверки основана на так называемой агрегирования в том числе первого блока проблем, подсистема случаях, а затем масштабные реалистичным пожарные экспериментов. Этот процесс позволяет разделить сложную инженерную систему на несколько более простых случаях. Следовательно, руководство проверки этого кода [57] включает ламинарного, турбулентного и пожарных случаев и содержит в общей сложности 18 тестов.

Методика, применяемая в данной части стандарта ISO 16730

Для расчетного метода считается, проверяет на основе ISO 16730-1 и, как указано в настоящем стандарте 16730 применяются. Эта часть ISO 16730 спискам в Приложениях А и В важных вопросов, которые необходимо проверить в левой колонке таблицы из двух столбцов. Вопросы, рассматриваемые затем подробно

описано и показано, как они были рассмотрены в ходе разработки метода расчета в правой колонке в приложениях А и В, где приложение охватывает описание метода расчета и Приложение В охватывает полный описание оценки (проверки и апробации) конкретного метода расчета. Приложение С описывает рабочий пример, и Приложение добавляет руководство пользователя.

Описание метода расчета

Цели

Определение решенной задачи или выполнено функции	<ul style="list-style-type: none"> – Основная цель этого метода расчета заключается в имитации пожара в открытой среде или закрытых отсеков с естественной или принудительной системой вентиляции. – Основное моделирование опирается на низком числе Маха формулировке уравнений Навье-Стокса в сочетании с модели турбулентного горения, адаптированной для потока переменной плотности.
(Качественное) описание результатов метода расчета	<ul style="list-style-type: none"> – Выходные данные включают: <ul style="list-style-type: none"> – Температура газа в каминном зале и соседних номерах, – Изменение давления во время пожара, – На входе и выходе массовые расходы на вступительных и извлечения отраслей отсеке, – Поток тепла, полученные стене, – Снижение содержания кислорода в отсеке, и – Продукты сгорания в купе и целевых номеров.
Обоснование заявления и технико-экономические обоснования	Влияние процесса роста огонь по вентиляционной сети является серьезной проблемой для пожарной анализа безопасности. Следовательно, модель была разработана, чтобы позволить связь между сетью вентиляции и пожара в искусственной вентиляции отсека. Изменение давления в пожарном отсеке также подключен к сети вентиляции и может вызвать обратный потоки во впускных или выпускных ветвей. Эта критическая сценарий также представляет большой интерес для пожарной анализа безопасности.

Теория

Базовая концептуальная модель (руководящие явления)	Физическое моделирование в этом методе расчета основана на классических местных консервирования законов для физических величин, таких как массы, импульса (в формулировке потока на низких оборотах), энергии и концентрации видов. Руководящие формулы в случае пожарной моделирования описания турбулентного реактивной поток с радиационными переводов.
Теоретические основы явлений и физических законов, на которых основывается метод расчета	Эта модель поле Рейнольдсу Среднемесячная Навье-Стокса (RANS) модель с закрытием двух формулы для турбулентного потока. Скаляров потоки моделируются градиентной диффузионной предположения и плавучести эффекты рассматриваются в турбулентности точки производства. Модель сгорания на основе консервативного скалярного подхода и предполагает быстрый химии. Он опирается на модифицированном вихря разбить модель для не-

	предварительно смешанного горения.
--	------------------------------------

Применение теории

Управляющие формулы	<p>Набор управляющих формул подробно описаны в работах [58] и [59].</p> <p>Для имитации пожара в замкнутом отсеке, следующие формулы руководящие решаются:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Уравнения РАЕН; – Два-формула закрытие турбулентность (к-ε); – Смесь фракция (процесс сгорания); – Массовая доля топлива; – Энтальпия; – Трансферы излучения; – Уравнения Бернулли для впускных и выпускных ветвей. <p>Плотность реакционной смеси определяется с помощью идеального газа (уравнение состояния идеального газа) и среднюю молекулярную массу отдельных видов смеси.</p>
Математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы используются, со ссылками на них	<p>Формулы баланса для скаляров (виды, энтальпия и т.д.) дискретизированы во времени и в пространстве, используя метод конечных объемов для получения схемы, которые обеспечивают достижение хорошего компромисса между временем расчета и точности и убедитесь, что неизвестные остаются в пределах своих физических границ; второго порядка до извилистые методы используются для точного учитывать быстрые пространственные изменения неизвестных, без потери устойчивости. Уравнения Навье-Стокса дискретизированы в пространстве с помощью конечного технику элемент, который удовлетворяет свойства совместимости между скорости и давления, необходимого для стабильности. В отличие от схемах конечных объемов с шахматном сеток, этот метод также позволяет легко использовать сетки, которые локально неструктурированных из-за геометрии, участвующих или уточнения. В целях обеспечения согласованности с конечного объема дискретизации, приближение выбран младший и соответствует [60]. Временная дискретизация выполняется с дробным шагом по схеме такой, как в работе [61]. Это полу - неявная схема позволяет большой временной шаг в то время как каждая формула решается в определенной последовательности.</p> <p>Модель основана на научных платформы PELICANS развития вычислительной техники, который доступен как с открытым исходным кодом программного обеспечения (https://gforge.irsn.fr/gf/project/pelicans).</p> <p>PELICANS предлагает библиотеку компонентов программного обеспечения, состоящий из "строительных блоков" для реализации численных методов. Модель полностью распараллелены через эту платформу, как для собраний и решения дискретных систем.</p>
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику; ограничения на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	<ul style="list-style-type: none"> – Сетку; – Гидродинамическая модель: низкое число Маха предположение; – Молекулярная диффузия: каждый вид смеси имеют одинаковый коэффициент массовой диффузии; – Теплоемкость: используется только постоянная теплоемкость;

	<ul style="list-style-type: none"> – Модель турбулентности: формулировка РАЕН, Буссинеска для турбулентной вязкости, простой градиентной диффузионной гипотезе, постоянной турбулентного Прандтлем или номер Шмидта; – Модель сгорания: не-предварительно смешивают сгорания, единство Льюиса приближение; – Тепло модель перевод: 1D теплопроводности в стенах; – Модель излучения: серые СМИ предположение, нет диффузии в уравнения переноса излучения.
Обсуждение точности результатов, полученных важных алгоритмов, и, в случае компьютерных моделях, любой зависимости от конкретных возможностей компьютерных	В общем, результаты, приведенные в модели для моделирования пожара в замкнутом отсеке находятся в хорошем согласии с измерениями. Погрешность порядка 10% до 20% наблюдается для температуры, видов массовой доли, потока стены тепло, давление и скорости потока вентиляции вариаций.
Описание результатов анализа чувствительности	Работа описана в документе [62].

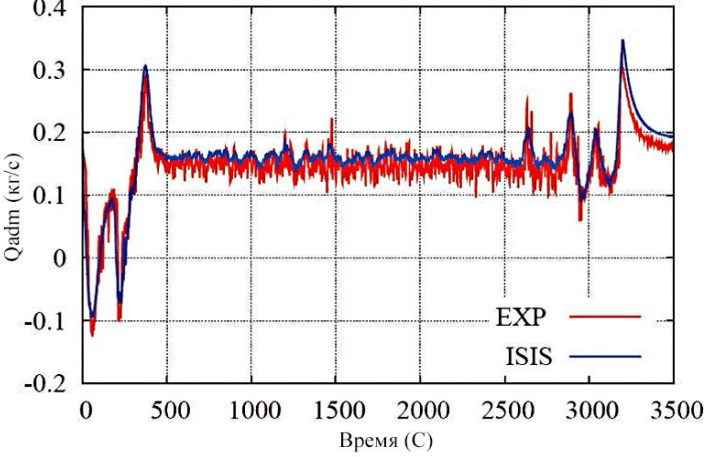
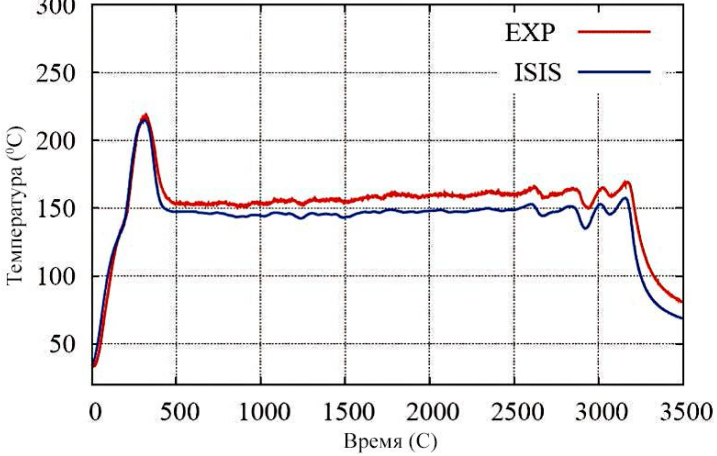
Входные данные

Требуемые входные параметры	<ul style="list-style-type: none"> – Геометрия; – Сетка; – Время-шаг; – Теплофизические свойства (на топливо, стены, изоляция); – Начальные условия; – Граничные условия; – Сопротивление впускных и выпускных патрубков.
Источник необходимых данных	<ul style="list-style-type: none"> – Данные по геометрии, времени и пространства дискретизации вводятся пользователем. – Свойства материала должны быть взяты из теста или литературе.
Для компьютерных моделей: любые вспомогательные программы или внешние файлы данных, требуемых	<p>Дистрибутив LINUX с</p> <ul style="list-style-type: none"> – GCC 4 (или более новая версия), – GNU сделать 3,77 (или более новую версию), – Perl 5.6 (или более новая версия) и – Java 1.5.0 (или более новая версия). <p>Постобработки инструменты</p> <ul style="list-style-type: none"> – Meshtv, – OpenDX, – GMV, – ParaView или – FIELDVIEW. <p>Сетка поколения с ISIS или</p> <ul style="list-style-type: none"> – Emc2, – Mefisto, – Gambit, или – GMSH.
Предоставление информации о источнике, содержание и использование библиотек данных для компьютерных моделей	Библиотеки данных о свойствах топлива или стены или изоляционные материалы можно найти в SFPE Справочник противопожарной защиты.

Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

(Количественные) результаты любых усилий по оценке прогнозных возможностей метода расчета в соответствии с п. 5 ISO 16730-1	Процесс проверки кода представлена в работе [59]. Около 20 случаев выполняются и включают сравнения с аналитическими решениями, изготовленных решений и контрольных случаев. Некоторые из этих примеров можно найти в работах [56], [59], [60], [61].
---	---

	<p>Процесс проверки используется для оценки пожарной модели описана в работе [53] и пример приведен в работах [59] и [63]. Руководство проверки [53] содержит 18 тестов:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Ламинарные случаи (5) <ul style="list-style-type: none"> – 3D обратным уступом – Ламинарного диффузионного пламени метана – 2D ламинарного струи – Радиационные тепловые переводы в 3D- идеализированной печи – Конвекция и излучение в 3D полости дифференциально подогревом – Турбулентные случаи (10) <ul style="list-style-type: none"> – Турбулентный поток с квадратным препятствие – Естественная конвекция в закрытом полости – Тепловые шлейфы – 2D плавучей диффузии пламени – Турбулентная струи пламени I: нет связи между потоком и сажи – Турбулентная струи пламени II: связь между потоком и сажи – 2D декартовы турбулентные струйные – Радиационные переводы в турбулентном пилотируемого реактивного пламени – Радиационные переводы в турбулентном закопченной пламени – Пиролиз полиметилметакрилата (ПММА) в конусе калориметр – Пожарные случаи (3) <ul style="list-style-type: none"> – Тест LIC1.14 – Тест PRISME Источник PRS- СИ- D1 – PRISME Источник тесты PRS- СИ- D3 <p>Примером количественного сравнения дается для замкнутом пожарной испытанию на испытательной лаборатории в IRSN от огня. Давление, расход прием, и средняя температура газа рассчитывается по модели построены в зависимости от времени и по сравнению с экспериментальными измерениями.</p>
	<p style="text-align: center;">PRS-SI-D1: Давление газа</p>

	<p style="text-align: center;">PRS-SI-DI: Скорость потока массы на входе</p> 
	<p style="text-align: center;">PRS-SI-DI: Средняя температура газа</p> 
<p>Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода, которые уже выполнены [Если, в случае компьютерных моделей, проверка метода расчета основана на бета-тестировании, документация должна включать профили тех, кто участвует в тестирования (например, были они вовлечены в какой-либо степени в развитии метода расчета или они были наивные пользователи, были они дали каких-либо дополнительных инструкцию, которая не будет доступна для предполагаемых пользователей конечного продукта и т.д.)]</p>	<p>Верификация: см. [56], [59], [60], [61] Валидация: см. [53] [56], [59], [63], [64],[65]</p>
<p>Степень, в которой метод расчета соответствует этой части ISO 16730</p>	<p>Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.</p>

Пример с решением

Основные положения

Приведенный ниже пример взят из документа [53].

Моделирование реального масштаба экспериментальной пожара рассматривается в настоящем приложении. Это испытание было проведено в IRSN, как часть экспериментальной программы выполнены, чтобы предоставить данные для проверки вычислительных средств, имитирующих пожаров в искусственной вентиляции легких отсеков, с первого применения к атомной электростанции. Этот тест оказывается особенно трудно, практически для двум причинам. Первое, что крупномасштабная геометрия изучаемой проблемы и длительности переходного интереса сделать вычислительные требования значительная; первая забота затем для оценки стабильности кода и сходимость для таких систем. Во-вторых, результаты потока из сложной связи между нелинейных явлений, как турбулентность, горения и эффектов плавучести; отдельной проверки каждого отдельного модели является то, очевидно, вне досягаемости, и опирался на эти цели на описанном ранее агрегатирования. В том же направлении, обратите внимание, в дополнение, что знание начальных и граничных условий, вместе с характеристикой потока, обязательно менее всеобъемлющим, чем в экспериментах, проведенных в лабораторных масштабах, которые даже усиливает интерес проверки каждый "элементарный" моделировать с помощью простых экспериментов.

Описание задачи

Эксперимент состоит в ограниченном этанола бассейна пожара в отсеке искусственной вентиляции легких с металлическим шкафом рядом с огнем. Принципиальная схема отсека пожара показано на рисунке. Размеры телефона для x , y , и z , соответственно, $L_x = 9$ м, $L_y = 6$ м, и $L_z = 7,5$ м. Различные стены, пол и потолок являются 0,25 - м толстые бетонные стены. Отсек подключен к вентиляционной сети, включающей в себя принудительной вентиляции впускным отверстием для подачи и принудительной вентиляции выпускного отверстия (см. рисунок) с размерами 0,3 м² и 0,4 м², соответственно. Скорость вентиляции 5 ч⁻¹ и депрессия -200 Па Огонь бассейн представляет собой квадрат из поверхности 1 м² и высотой 0,13 м, расположен в центре отсека. Скорость высвобождения пожарный тепловой, определяется как произведение ставки потери массы топлива и теплоты сгорания этанола, достигает 563 кВт во время стационарной фазы сгорания рисунок.

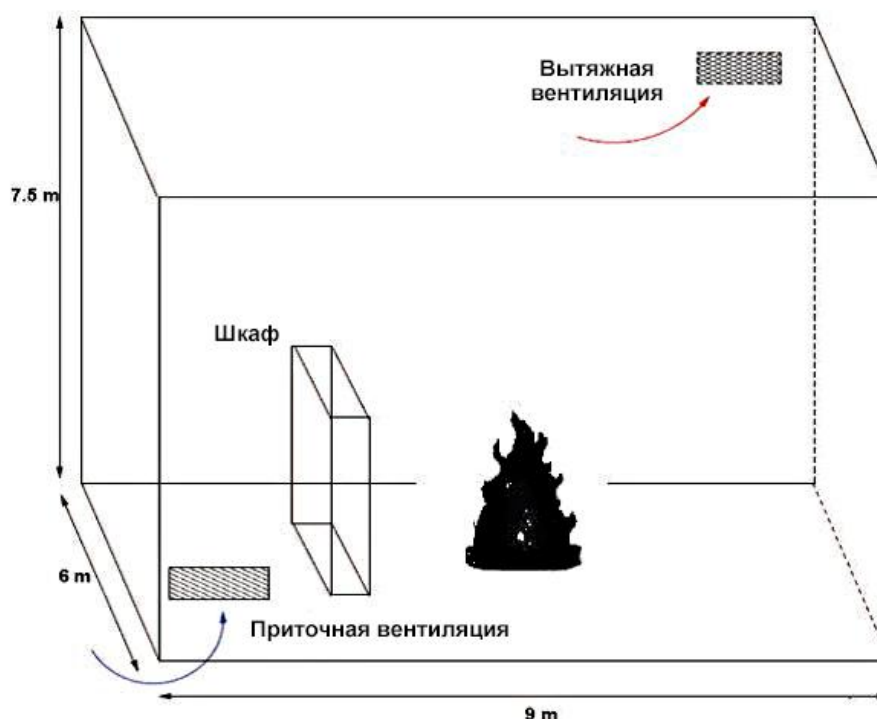


Рис. Экспериментальная геометрия огонь случай

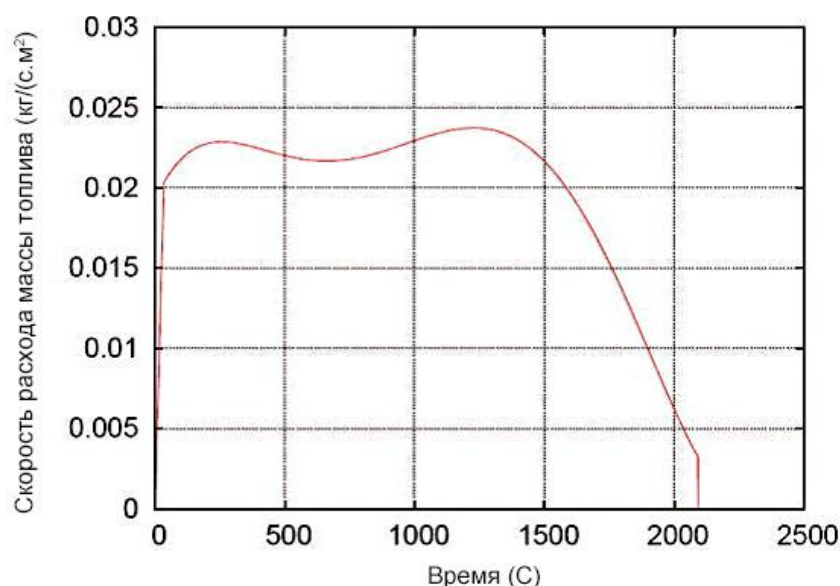


Рис. Скорость потери массы топлива в экспериментальном примере пожара

Система описания турбулентного реактивного потока в низком числе Маха режима представлена ниже. Приближении турбулентности прибегает к массовой Усредненной, которая также называется усреднение Фавр. Модифицированная модель К-ε, основанная на гипотезе Буссинеска и модели турбулентной вязкости используется для закрытия турбулентности. Для моделирования турбулентного процесса сгорания, быстро химии предположение и сохраняется скалярное подход используются; переменная γ смесь фракции и масса топлива доля Y_F хранятся как неизвестных переменных. Удаление сокращенно в обозначениях операторов турбулентность усреднения Фавр или Рейнольдса, регулирующие формулы следующим образом:

- Баланс массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

- Баланс импульса:

$$\frac{\partial \rho \mathbf{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \otimes \mathbf{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} + (\rho - \rho_0) \mathbf{g} \quad (2)$$

- Баланс турбулентной кинетической энергии:

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} k = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_k} \nabla k \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon \quad (3)$$

- Баланс вязкой диссипации:

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} \epsilon = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_\epsilon} \nabla \epsilon \right) + \frac{\epsilon}{k} (c_{\epsilon 1,1} G_k + c_{\epsilon 1,2} G_b - c_{\epsilon 2} \rho \epsilon) \quad (4)$$

- Баланс вязкой энтальпии:

$$\frac{\partial \rho h}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} h = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_h} \nabla h \right) + \frac{dP_{th}}{dt} \quad (5)$$

- Баланс доли смеси:

$$\frac{\partial \rho z}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} z = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_z} \nabla z \right) \quad (6)$$

- Баланс доли массы топлива:

$$\frac{\partial \rho Y_F}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{v} Y_F = \nabla \cdot \left(\frac{\mu_e}{\sigma_{Y_F}} \nabla Y_F \right) + \dot{\omega}_F \quad (7)$$

Тензор напряжений Рейнольдса, τ , появляясь в формуле импульса, выражается как:

$$\tau = \mu_e \left(\nabla \mathbf{u} + \nabla^t \mathbf{u} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \mathbf{I} \right) - \frac{2}{3} \rho k \mathbf{I} \quad (8)$$

Турбулентные условия производства определяются как:

$$G_k = \tau \otimes \nabla \mathbf{v} \quad (9)$$

$$G_b = \frac{\mu_t}{\rho \sigma_g} \nabla \rho \cdot \mathbf{g} \quad (10)$$

где термин G_b стоит для генерации и уничтожения турбулентности из-за сил плавучести. В многокомпонентных смесях, плотность смеси оценивали путем:

$$\rho = \frac{P_{th} W}{R_u T} \quad (11)$$

с

$$\frac{1}{W} = \sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{W_k} \quad (12)$$

где W представляет собой среднее молярная масса смеси и Y_k и W_k , соответственно, стоят за массовой долей и атомного веса видов k (т.е. топлива и т.д.). Скорость горения топлива рассчитывается по формуле:

$$\dot{\omega}_F = -C_{EBU} \rho \frac{\varepsilon}{k} \min \left(Y_F, \frac{Y_O}{s} \right) \quad (13)$$

где C_{EBU} является моделью постоянной обычно принято порядка четырех, но которые могут быть смоделированы вязкой модели смешивания; здесь, первый вариант, $C_{EBU} = 4$, используется. Чтобы справиться с радиационных потерь, так называемый модель Маркштейна используется, так что удельная энтальпия связана с температурой следующим соотношением:

$$h = c_p (T - T_0) + \Delta H_c (1 - \chi_r) Y_F \quad (14)$$

где T_0 является нормальная температура, ΔH_c является теплота сгорания и χ_r есть доля энергии сгорания потерянной переноса излучения; χ_r установлен в 0,25 в этой симуляции. Модельные константы имеют следующие стандартные значения:

$$c_\mu = 0,09 \quad c_{\varepsilon 1,1} = 1,44 \quad c_{\varepsilon 2} = 1,92 \quad c_{\varepsilon 1,2} = 1,44$$

$$\sigma_k = 1 \quad \sigma_\varepsilon = 1,3 \quad \sigma_h = \sigma_z = \sigma_{Y_F} = 0,71$$

Термодинамический давление из комнаты вычисляется путем решения упрощенную (0D) импульса баланса формулу для системы, состоящей из ограниченного отсека и вентиляционной сети. В этом моделировании, Бернулли общее уравнение описывает каждую ветвь I сети, которая, в данном конкретном случае, подключен к отсеку:

$$\frac{L_i}{S_i} \frac{\partial Q_i}{\partial t} = P_{th} - P_{node,i} - f \quad (15)$$

где Q_i является расход в отрасли i , P_{node} , я это давление на оконечности отрасли, которая не находится в раздельной перегородки и f является аэродинамическое сопротивление. Геометрические размеры L_i и S_i , соответственно, длина и поверхность филиала i . Эта система должна быть дополнена общей формуле баланса масс отсека:

$$\int_{\Omega} \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{P_{th} W}{RT} \right) + \sum_i Q_i = 0 \quad (16)$$

Геометрические и свойства материала собраны в следующих таблицах:

- Газовая смесь:
 - динамическая вязкость: $\mu = 1,68 \times 10^{-5} \text{ кг/(м} \cdot \text{с)}$
 - теплопроводность: $\lambda = 0,018 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
 - теплоемкость: $c_p = 1\,100 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
 - число Прандтля: $Pr = 0,71$
 - теплота сгорания: $\Delta H_c = 2,56 \times 10^7 \text{ Дж/кг}$
- Бетонные стены:
 - плотность: $\rho_w = 2\,430 \text{ кг/м}^3$
 - теплопроводность: $\lambda_w = 1,5 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
 - теплоемкость: $c_p, W = 736 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
 - толщина стены: $EW = 0,25 \text{ м}$
- Металлическая шкаф:
 - плотность: $\rho_s = 7\,801 \text{ кг/м}^3$
 - теплопроводность: $\lambda_s = 43 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$
 - теплоемкость: $c_p, c = 473 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$
 - толщина стены: $ES = 0,25 \text{ м}$

Начальные условия задаются следующим образом:

$$V = p = h = z = Y_F = 0 \quad (17)$$

$$k = 10^{-12} \text{ м}^2 / \text{с}^2 \quad (18)$$

$$\varepsilon = 10^{-9} \text{ м}^2 / \text{с}^3 \quad (19)$$

$$T = 290 \text{ К}; \rho = \rho_{\text{air}} \quad (20)$$

Чтобы определить граничные условия, три различные поверхности считаются:

- Огонь: $v = (0, 0, w_F); h = \Delta H_c (1 - \chi_r); z = Y_F = 1; k = 0,1 w_F^2; \varepsilon = C_\mu k^3/2/l_\varepsilon$
 где w_F функцией скорости потери массы топлива; $w_F = m_F/\rho_F$ и $l_\varepsilon = 0,07L$ при L характерным масштабом длины, что эквивалентно радиусе огня.
- Стены: проводимости в стенах учитывается в уравнения баланса энергии. Функция стены входа закон используется для импульса и турбулентность баланса формул.
- Питания на входе и выходное отверстие: назначают скорость вычисляется в соответствии со скоростью потока в каждой ветви; топливо должно оставаться в отсеке.

Численные данные

Различные неравномерной сетке тестируются с 8 500, 68 000 и 240 000 сетки названные впоследствии сетка 1, сетка2 и сетка3. Численные параметры и основные особенности численной схемы собраны в следующей таблице.

Начальное время	0
Конечное время	сетка1: 2 800 с; сетка2: 1 000 с; сетка3: 250 с
Шаг времени	сетка1, сетка 2: $\Delta t = 0,1$ с; сетка 3: $\Delta t = 0,05$ с
Алгоритм решения	полунеявная дробная шаг схема реализована для транспортных формул для k, ε, H, Z , и Y_F переменных; неявной связи между k - ε двух формул и двух транспортных формул для g и Y_F получается алгоритм фиксированной точке
Время дискретизации	схема первого порядка (обратно Эйлера)
Пространственная дискретизация	приближение с наискосок стороны для конвективных членов K - ε и Навье-Стокса

Результаты

Термодинамическое давление и массовый расход

Эволюция термодинамического давления в отсеке пожара в зависимости от времени (см. рисунок) находится в хорошем согласии с данными эксперимента. Во время сгорания стационарной фазы, рассчитанное давление колеблется вокруг -2 гПа и амплитуда колебаний меньше сильным, чем в эксперименте. Сильный избыточное давление при розжиге и слабой депрессии в вымирания наблюдаются в обоих случаях. Эволюция массового расхода на входе питания в зависимости от времени показан на рисунке. Он стабилизирует около 0,7 кг/с после короткого периода, соответствующего стадии возгорания. Массовый расход на выходе, не показанные здесь, практически идентичны. Эти результаты находятся в диапазоне неопределенности экспериментальных данных.

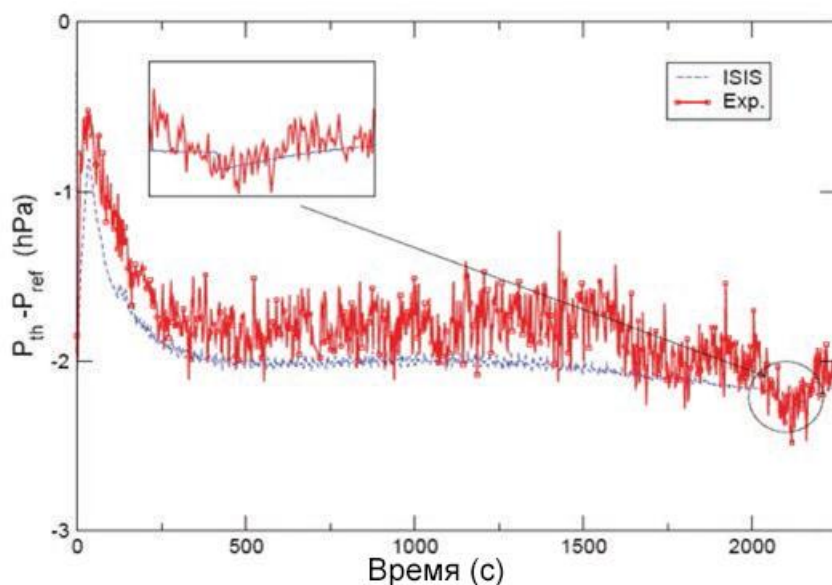


Рис. Термодинамическое давление в зависимости от времени

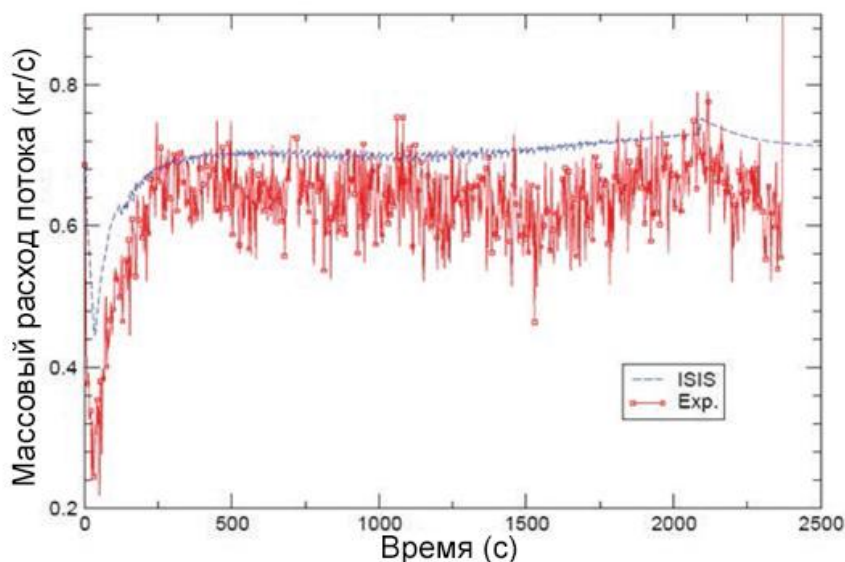


Рис. Массовый расход при поступлении в зависимости от времени

Температура в области струи

Эволюция температуры со временем в факеле области, 3 м над огнем, получены с mesh1 представлена для всей переходного процесса в рисунке. По истечении времени $T = 250$ с, обе расчетные и экспериментальные температуры не колебаться вокруг близкие значения до конца пожара. Предсказанный пик температуры в начале переходного процесса, не наблюдается в экспериментах, может быть связано с отсутствием моделей в коде для имитации горения при переходе от ламинарного к режиму турбулентного потока, как это происходит при прокаливании. Рисунок указывает сильные временные вариации температуры, соответствующей вращению пламени вокруг своей оси. Такое поведение вращения пламя наблюдается также в экспериментах с почти одинаковой частотой.

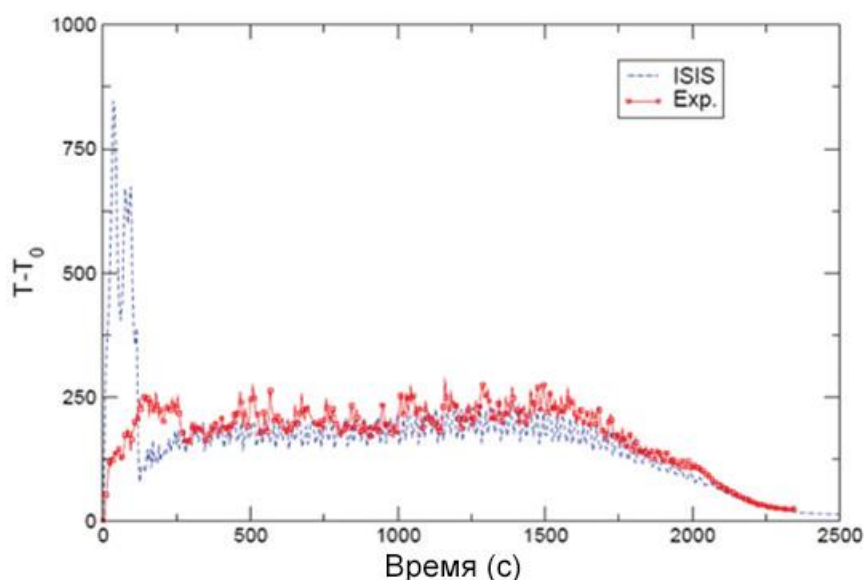


Рис. Температура и время до 3 м над огнем

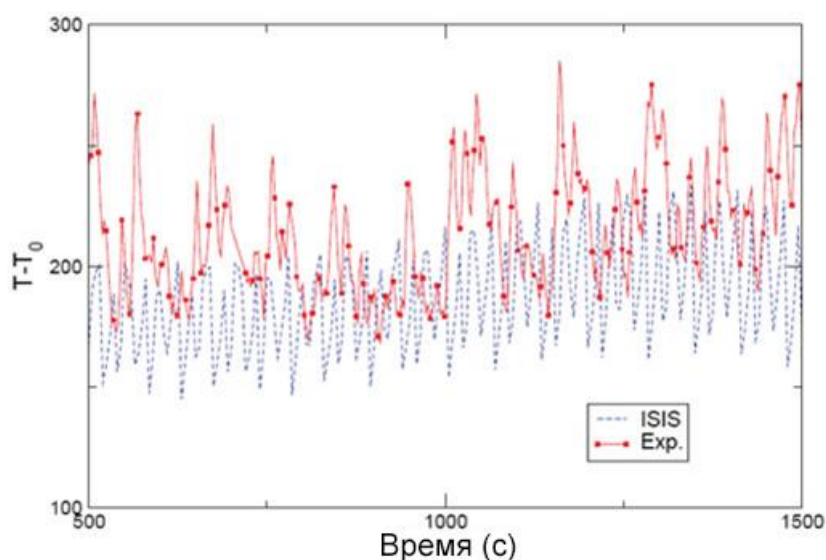


Рис. Температура и время до 3 м над огнем

Руководство пользователя

Основные положения

В приведенном ниже примере берется из задания [57].

Этот учебник представляет случай пожара в комнате с открытой дверью. В этом примере, модуль сгорания не используется, и пламя моделируется объемной скорости выделения тепла на уровне огня.

Полный входной файл находится в директории «учебник/RoomFire» в корневом каталоге ISIS. Он может быть отредактирован с помощью последовательности команд ниже:

```
source < ISIS_DIR > /bin/init.csh or . < ISIS_DIR > /bin/init.sh
cd < ISIS_DIR > /ISIS/tutorial/RoomFire
xisis data.pel
```

Задачи:

- Генерировать сетку для простого 3D домена и определить дверь;
- Определить турбулентный поток;
- Определить объемную источник тепла на уровне огня.

Описание

Пожар в комнате моделируется объемной скорости тепловыделения, генерируемого на уровне огня. Помещение соединено с внешней по открытой двери. Это тест широко цитируется в литературе, см. исследования в работе [66] и [67].

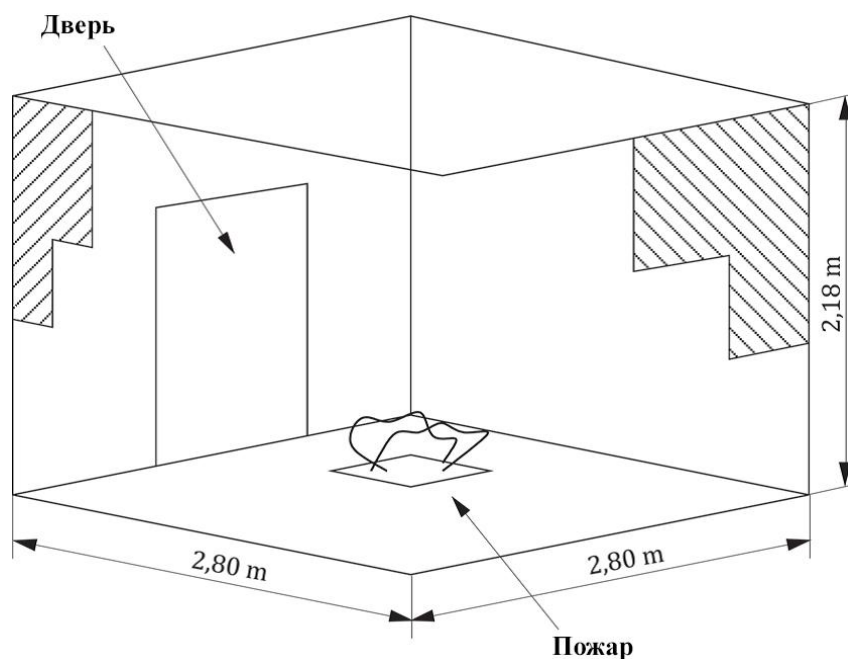


Рис. Конфигурация помещения

Определение сетки

Первый шаг заключается в определении сетки.

Это запускается выборе типа геометрии. Этот пример включает 3D декартово вычислений.

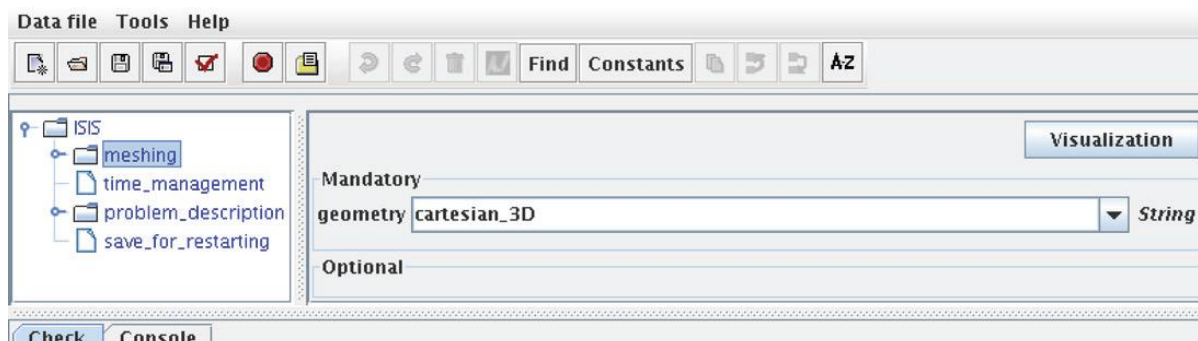


Рис. Геометрия

В PELICANS "GE_BoxWithBoxes" внутренний генератор сетки используется для создания сетки для дома. Описание сетка просто включает определение "vertices_coordinates_0" вход для направлении x, то "vertices_coordinates_1" вход для направлении y, и "vertices_coordinates_2" вход для направлении z.

Огонь представлена объемного источника тепла в центре комнаты с объемом в 0,3 м × 0,3 м × 0,3 м.

В направлении x, сетка для [0; 2,80] должны быть сгенерированы с учетом сетки для огня. Таким образом, четыре ячейки сетки размещаются между стенами и огонь, и одной ячейки в огне:

```
vertices_coordinates_0 = (regular_vector(0.00, 4, 1.25) <<
    regular_vector(1.25, 1, 1.55) <<
    regular_vector(1.55, 4, 2.80))
```

В направлении оси y, сетка для отрезка [0; 2,80], должны быть сгенерированы с учетом сетки для огня и дверь. Три ячейки сетки размещаются между стенами и дверь, один между дверь и огонь, и один в огонь:

```
vertices_coordinates_1 = (regular_vector(0.00, 3, 1.03) <<
    regular_vector(1.03, 1, 1.25) <<
    regular_vector(1.25, 1, 1.55) <<
    regular_vector(1.55, 1, 1.77) <<
    regular_vector(1.77, 3, 2.80))
```

В направлении Z, сетка для отрезка [0; 2,18], должны быть сгенерированы с учетом сетки для огня и двери. Один сетка ячейка помещается в огне, пять между огнем и верхней части двери, и один над дверью:

```
vertices_coordinates_2 = (regular_vector(0.00, 1, 0.30) <<
    regular_vector(0.30, 5, 1.83) <<
    regular_vector(1.83, 1, 2.18))
```

Намеренно грубой сетки с $9 \times 9 \times 7 = 567$ ячейки сетки, каждая ячейка имеет характерный размер около 30 см, получается.

Выбор временного шага

В примере по времени шаг 0,25 с и последний раз из 20 с выбраны.

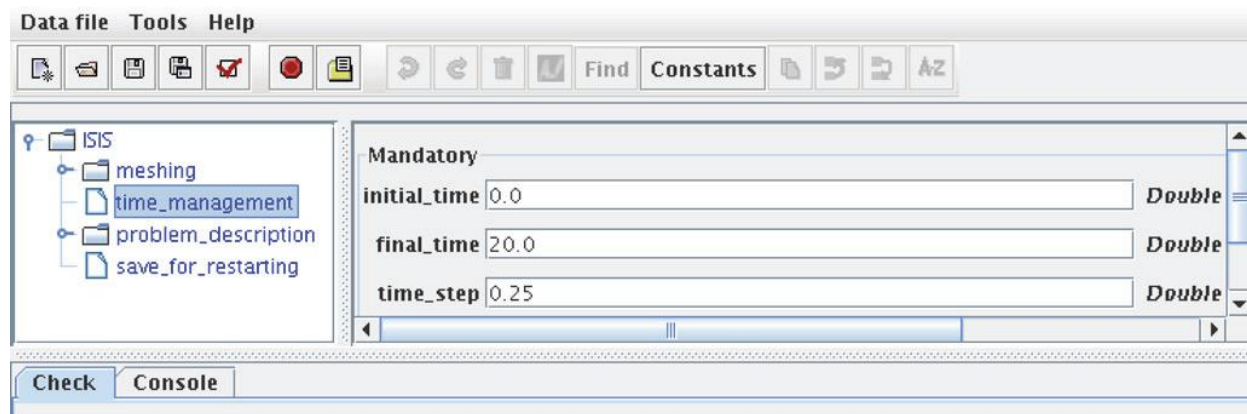


Рис. Меню "time_management"

Определение проблемы интереса

Этот пример включает в себя расчет турбулентности: "low_mach" выбрано для Navier_Stokes, energy_balance активируется, и "k_epsilon" выбран для turbulence_model.

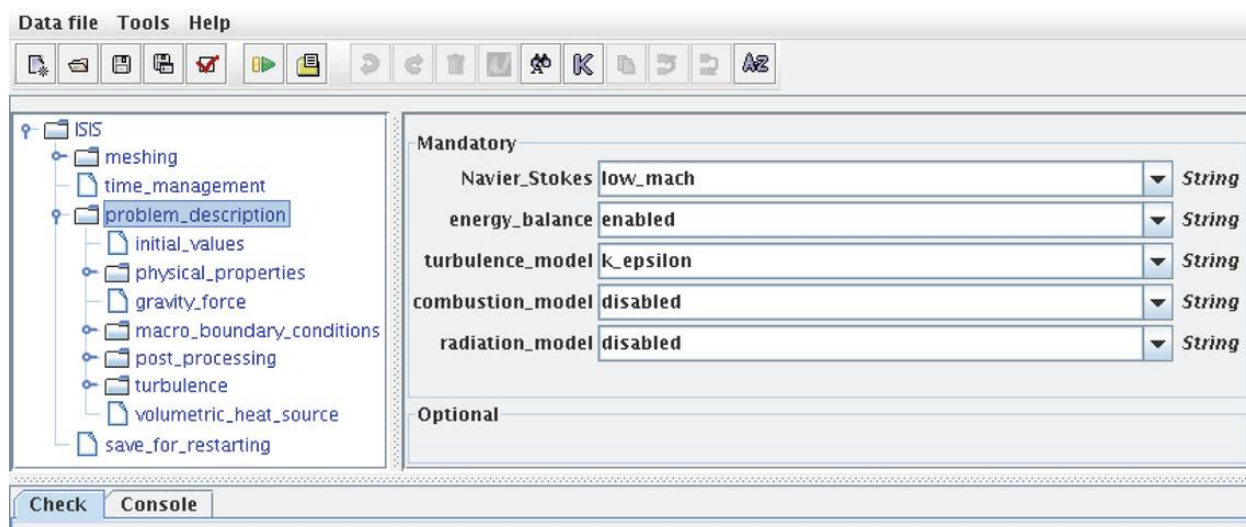


Рис. Определение проблемы исследования

Определение начальных значений неизвестных

На следующем этапе, начальное значение поля определяется. Тип выбранного потока определяет неизвестные для этой проблемы и, таким образом, начальные значения неизвестных, необходимые для установки в следующем.

- Потому что жидкость покоится в начале, а ноль начальное значение налагается за скоростью.
- Для энтальпии, закон $H = c_p (T - T_0)$ выбирается где T_0 начальная температура жидкости; начальная энтальпия, таким образом, установить на 0;
- И, наконец, начальное значение для k и ϵ полей обеспечивается, 0001 в этом случае.

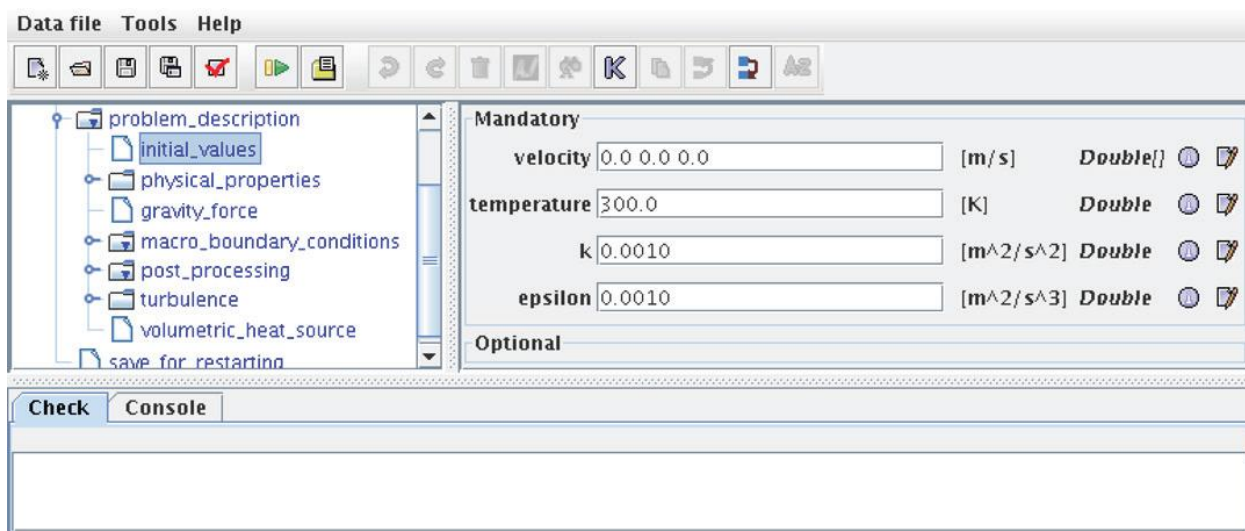


Рис. Начальные значения

Определение свойств жидкости

Тип проблемы также определяет свойства жидкости, которую определит, в этом примере законы для плотности, ламинарного вязкости, проводимости, теплоемкости и энтальпии.

Для плотности, «расширяющийся» закон ни был выбран, для которых $\rho T = \rho_0 T_0$. Ссылка плотность, $\rho_0 = 1$, и температура, $T_0 = 300$, в таком случае будет введен.

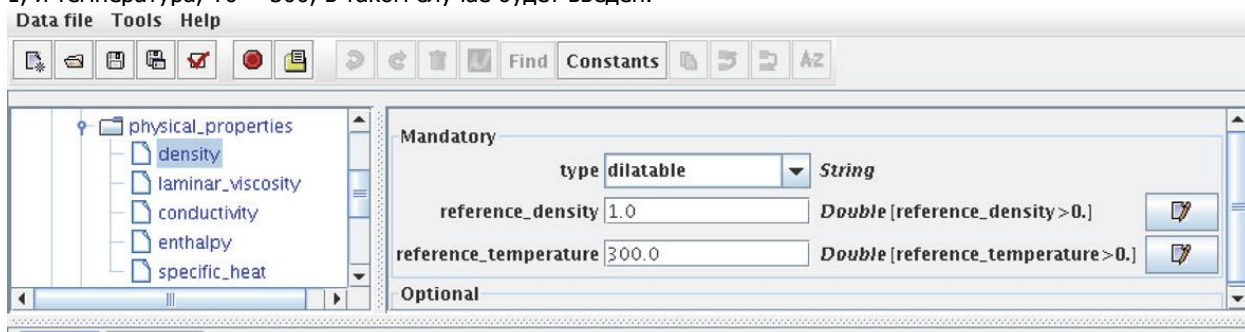


Рис. Плотность: $\rho T = \text{постоянная}$

Другие законы определяются таким же образом:

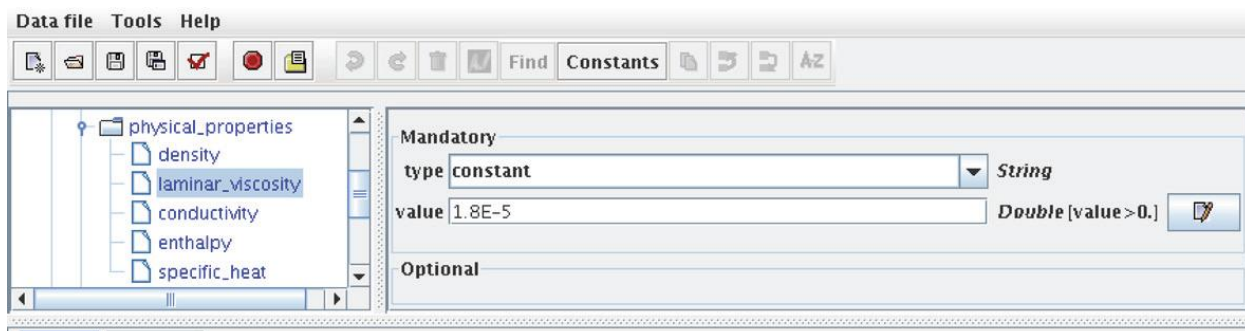


Рис. Постоянная ламинарная вязкость

Определение силы тяжести

Следующим шагом является определение гравитационного поля, и, как гравитация обрабатывается в формулах (стандартный или Буссинеска подход). Термин собраны в формуле сохранения импульса ($\rho - \rho_0$) г, так, ссылка плотность ρ_0 также необходимо быть определены в настоящем Приложении.

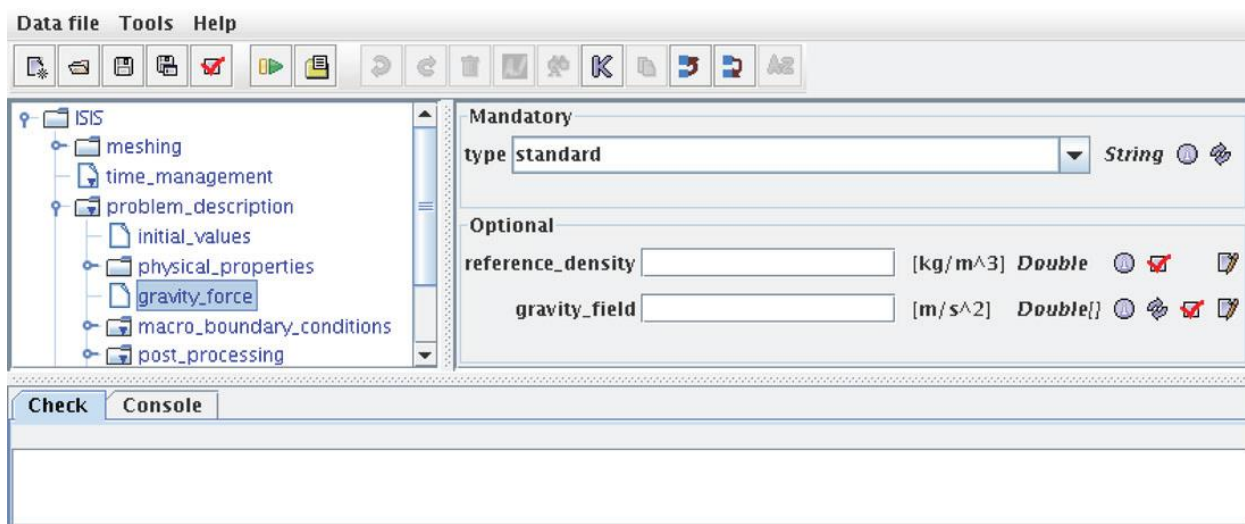


Рис. Сила тяжести $(p - p_0)g$

Определение граничных условий

Чтобы определить граничные условия, регионы в дальних пределах области, где эти условия применяются сначала должны быть определены. Независимо от сетки генератора выбранной на этапе строительства сетки, в нем должны определяться внешние границы по "окраске" их (каждая часть границы получает лейбл "Цвет"). Различные цвета, определенные в ячеех должна быть сгруппированы в "макро-цвета", для которых граничные условия применяются.

В этом случае PELICANS "GE_BoxWithBoxes" внутренний генератор сетки определяет четыре цвета: "сверху", "снизу", "влево", "вправо". Они сгруппированы по макро-цвету "стен". Это делается в "раскатывания/макро-цвета".

Дверь, где конкретные граничные условия применяются, также необходимо, чтобы быть определены. Для этого, модуль "GE_Colorist", которая позволяет колорит часть вершин, граней, или сетки клеток, используется. Дополнительный раздел "GE_Colorist" в "зацепления/GE_Meshing" впервые создается (щелкнув правой кнопкой мыши). Затем часть границы окрашена, добавив дополнительный "лица" раздел и определении нового цвета, "door_colour".

Далее, кнопка в конце линии нажата, чтобы открыть меню Определение константы. Там логическое выражение вводится, в зависимости от вектора "\$ DV_X", состоящей из координат в центре граничных поверхностей, это верно для лица, содержащихся в двери. Выражение `in_box ПЕЛИКАНЫ ($ DV_X, < x0 y0 z0 >, < x1 y1 z1 >)` используется, которая возвращает истину, если

$$x0 < \$DV_X(0) < x1; y0 < \$DV_X(1) < y1; \text{ and } z0 < \$DV_X(2) < z1. \quad (1)$$

С помощью этой функции, формула дверь:

```
(in_box($DV_X,
vector(2.8-1.e-06, 1.03, 0.00),
vector(2.8+1.e-06, 1.77, 1.83)))
```

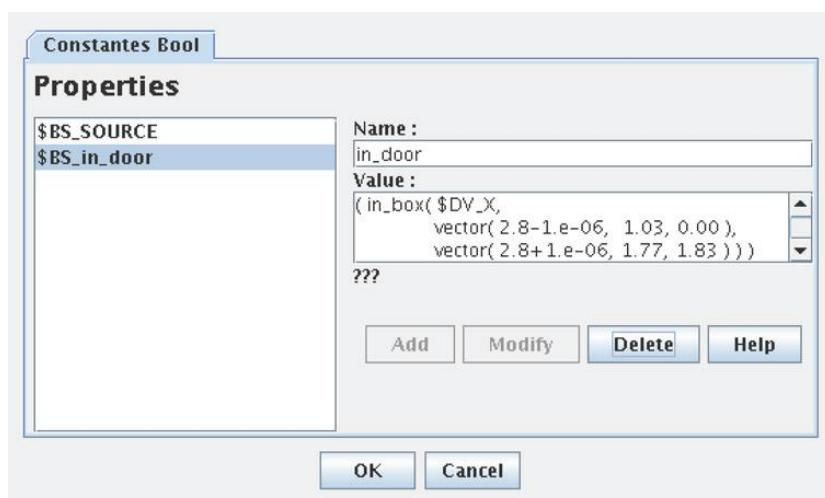


Рис. Определение переменной Булеана "in_door"

ПРИМЕЧАНИЕ вопросительные знаки в предыдущем рисунке указывают, что "in_door" переменная не может быть оценена, так как зависит от переменной "\$ DV_X", которые при выполнении кода, принимает значения координат для всех центров граничных лиц в домен.



Рис. Определение "door_color"

Последним шагом является определение двух соответствующих макро-цветов:

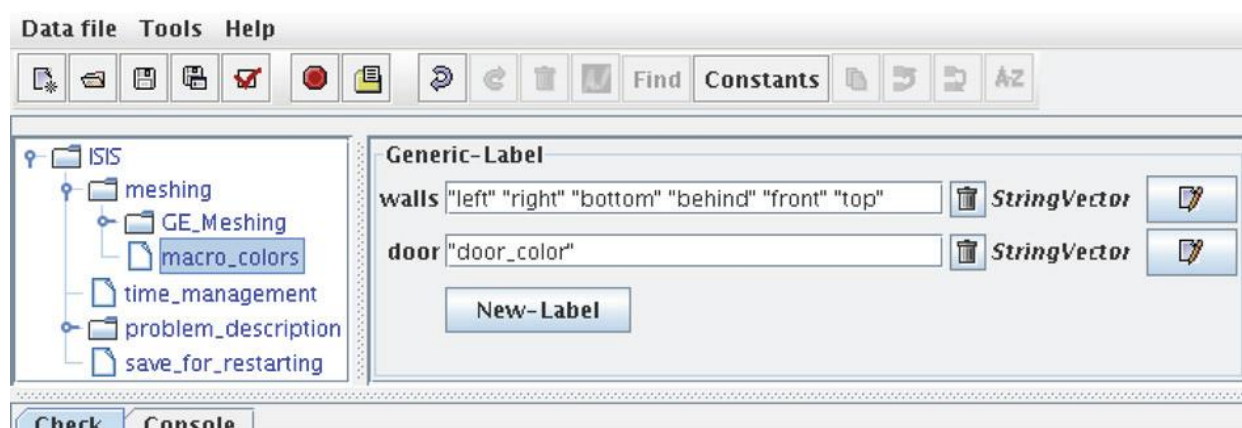


Рис. Определение макро-цветов

Для различных макро-цветов, тип граничного условия, которое применяется (условия макро-границы) должна быть определена и для каждого неизвестно, выбранное граничное условие.

Первый условие макро-границы применяется к "стен" макро-цвет и относится к типу "стена".

- Граничное условие для скорости является одним из условий скольжения задается законов турбулентности стены.
- "Адиабатический" условием энтальпии также выбирается.

Жидкость может войти или выйти в дверь, поэтому "inlet_outlet" условие макро-границы используется. Для каждого поля, потенциал входящего значение должно быть установлено:

- для энтальпии, "inlet_value" 0 (жидкость поступает при T = 300 K);
- для k, входящий значение является доля кинетической энергии турбулентности:

$$k_{in} = 1,5 (\alpha v)^2$$

, с параметром "turbulent_intensity", α , заход в 0,01% в этом примере;

- для ϵ , входящий значение задается длина перемешивания закона:

$$\epsilon_{in} = C_{\mu}^{0,75} k_{in}^{1,5} / l_m$$

, с параметром "mixing_length_scale", лм, заход в 0001 м в этом примере.

Модель турбулентности

В разделе "турбулентности", стандартная модель K- ϵ выбирается (варианты ГСЧ также доступны). Два "численные" параметры необходимы:

- длина характеристика крупнейших масштабов турбулентности, который служит для ограничения турбулентной вязкости (здесь "maximal_mixing_length" установлен на расстоянии 3 м, что составляет характерный размер комнаты);
- расстояние до стены, где законы стены оцениваются: это расстояние должно быть мало по сравнению с сетки размер ячейки (здесь "delta_for_wall_law" установлен в 0,01 м).

Для получения более подробной информации об этих двух параметров, см. [68].

Различные константы модели к-ε имеют значения по умолчанию. Эти значения могут быть изменены, открыв дополнительный раздел «описание_задачи/турбулентность/параметры» (правой кнопкой мыши «описание_задачи/турбулентность»).

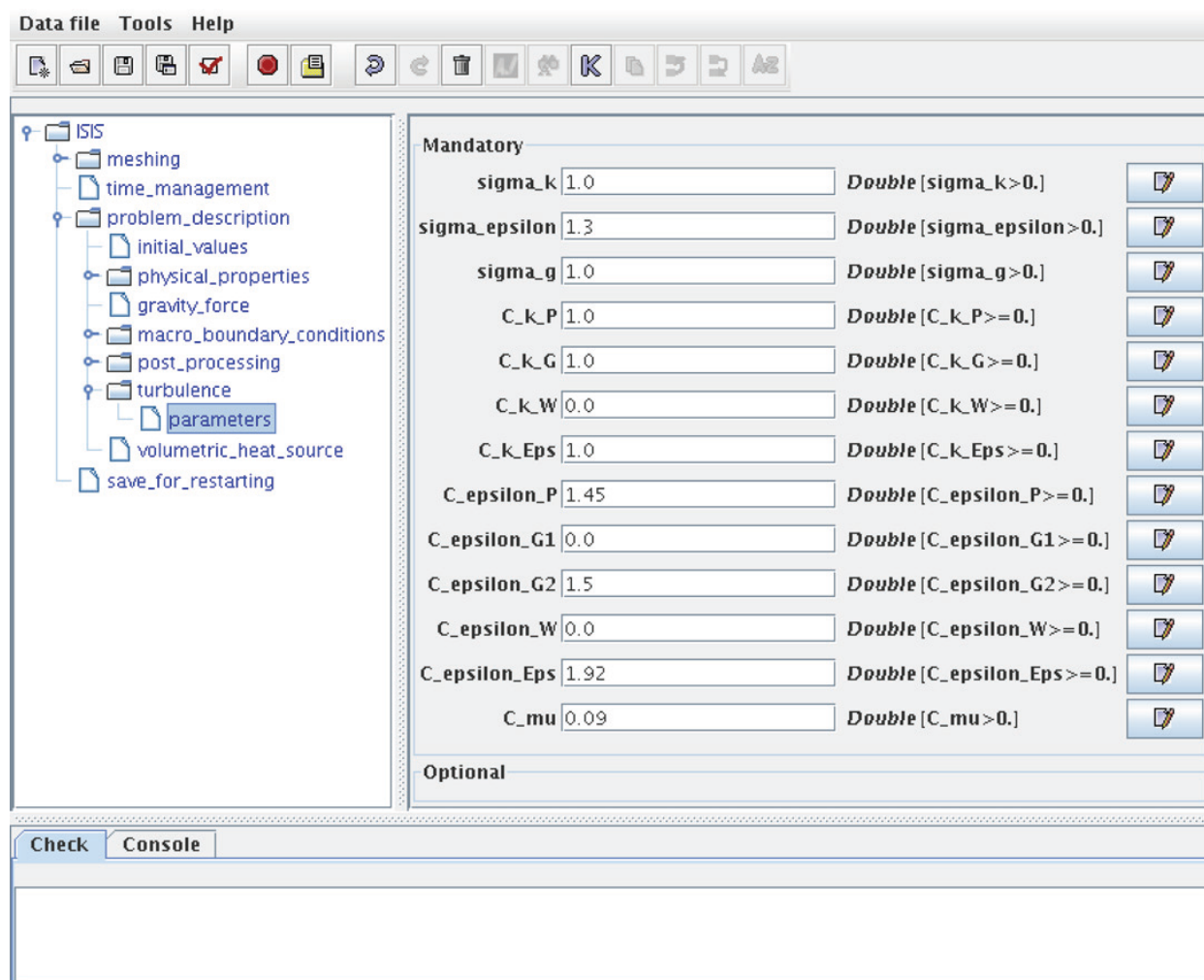


Рис. Постоянные для модели к-ε

Моделирование пожара: объемный источник тепла

Модуль сгорания не активирован в этом примере и огонь моделируется объемного источника тепла на уровне огня.

В меню "constantes", постоянная в зависимости от положения в пространстве, "\$ DV_X", определяется, что "истина" в пожаре и "ложь" за его пределами:

```
(in_box($DV_X,
    vector(1.25, 1.25, 0.00),
    vector(1.55, 1.55, 0.30)))
```

Выражение выше возвращает истину, если все следующие свойства одновременно проверяется:

- компонент 0 из \$ DV_X (x координата) находится между 1,25 и 1,55;
- компонент 1 из \$ DV_X (y координата) находится между 1,25 и 1,55;
- компонент 2 из \$ DV_X (z координата) находится между 0,00 и 0,30.

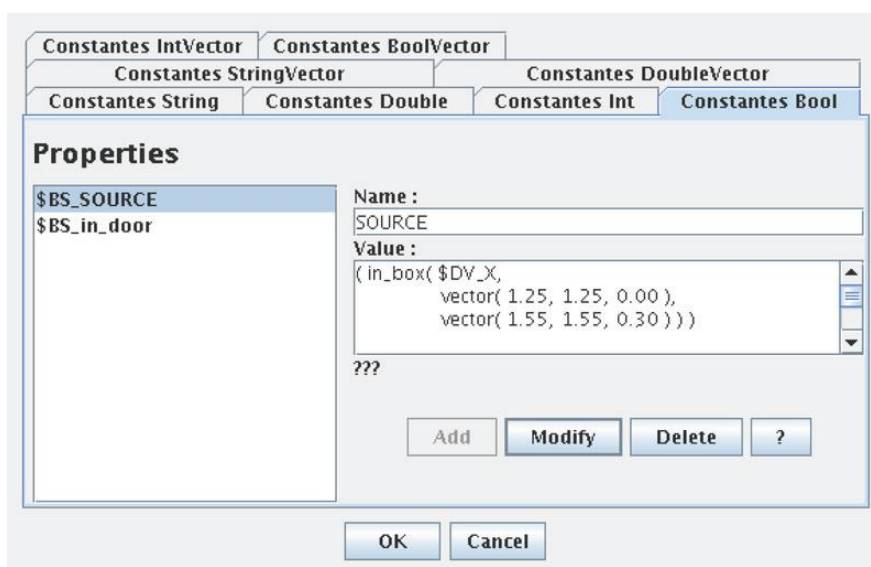


Рис. Определение переменной Булеана «SOURCE»

Используя переменную "источник", термин источник тепла определяется следующим выражением:

`(($BS_SOURCE ? 2.3E6 : 0.))`

Выражение возвращает 2.3E6 если \$ BS_SOURCE (функция \$ DS_X, координаты центра текущей ячейки сетки) верно и 0. в противном случае.

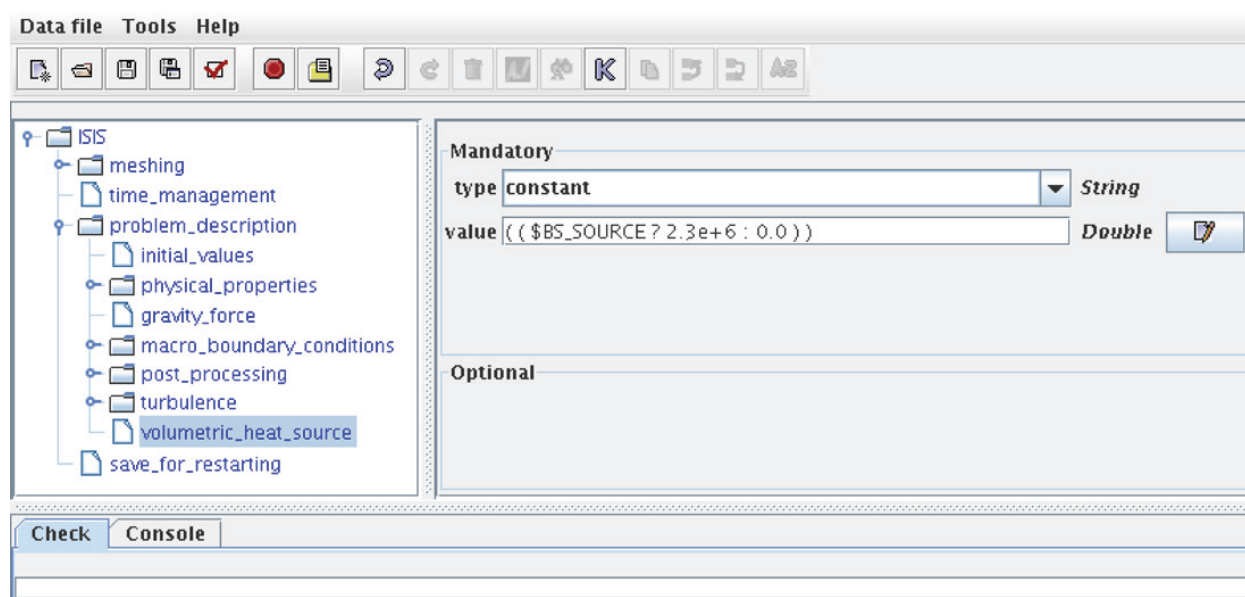


Рис. Определение объемного источника тепла

Запуск расчета

Расчет может быть запущен непосредственно с пользователем системный интерфейс ("Файл данных/выполнения"), а затем отслеживать в окне, которое открывается.

Ниже приводится карта температура в центре комнаты в конце расчета; пламя моделируется объемного источника тепла можно видеть, доступ к свежему воздуху от двери (слева).

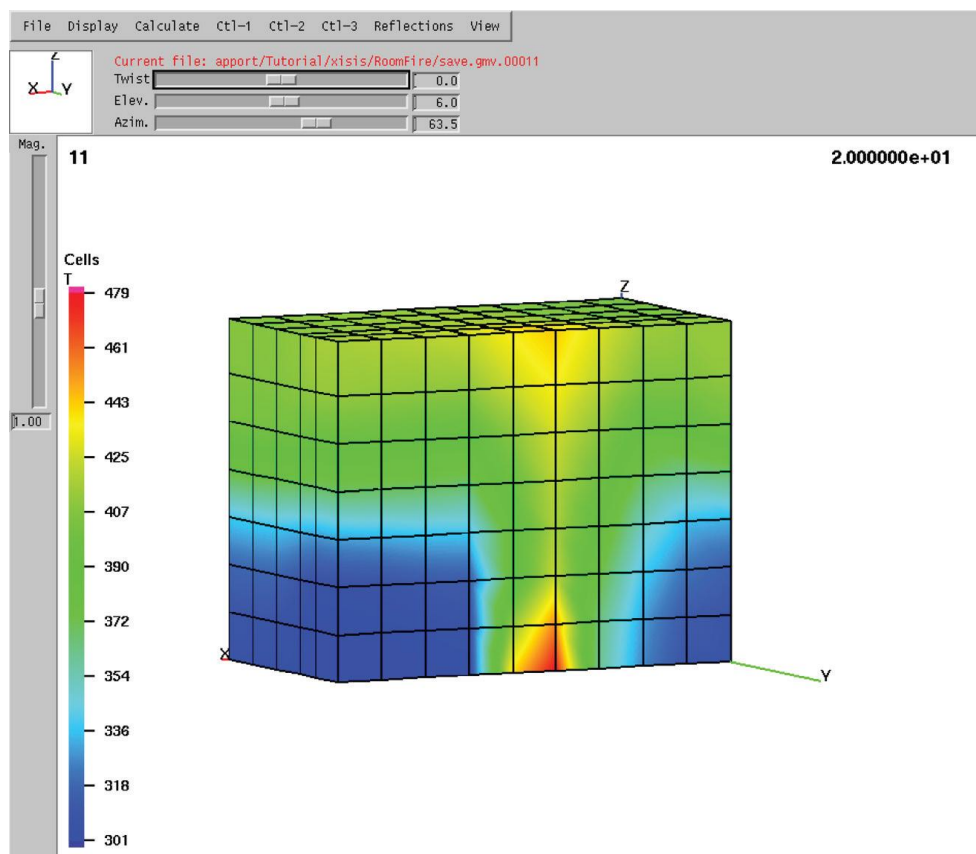


Рис. Профиль температуры, $y = 1,4$.

Сетка выбрана для этого примера намеренно грубая (567 клеток). Ниже той же карте температура для расчета, в котором количество клеток было умноженному на три в каждом направлении (15309 ячеек).

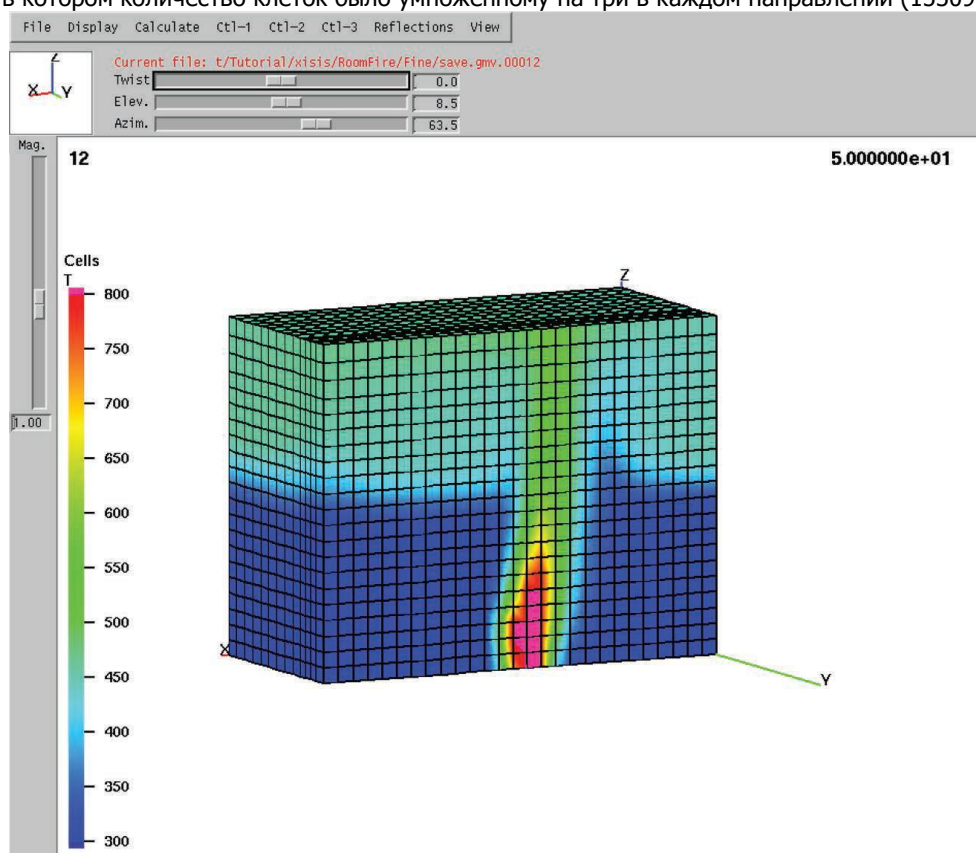


Рис. Профиль температуры, обновленная сетка, $y = 1,4$

ISO/TR 16730-4:2013 Пример валидации модели конструкции

Область применения

Настоящий стандарт 16730 показывает, как ISO 16730-1 применяется к методу расчета для конкретного примера. Он демонстрирует, как техническая и аспекты пользователей метода правильно описано, с тем чтобы оценку метода в целях проверки и подтверждения.

Пример в этой части ISO 16730 описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1 для структурной модели огнестойкости.

Основная цель конкретной модели обработанной здесь является моделирование теплообмена и структурных ответов стены сборок.

Общие сведения о модели конструкции

Аналитическая модель для прогнозирования огнестойкости нагрузка на подшивник, защищены гипс, дерево-шпилька стены сборки представлена. Модельные пары передача тепла к югу от модели и структурным к югу от модели. Передача суб-модели тепла предсказывает профиля температуры внутри дерева-шпилька стене и время, чтобы изоляция провал. Структурная суб-модель, основанная на упругой потери устойчивости нагрузки, использует температурный профиль для расчета величины смещения древесины шпильки и время разрушения конструкции сборки.

Методика, используемая в данном техническом отчете

Для расчетного метода считается, проверяет на основе ISO 16730-1 и, как указано в настоящем стандарте применяются. Это технический отчет перечисляет в Приложениях А и В важные вопросы, которые будут зарегистрированы в левой колонке таблицы из двух столбцов. Вопросы, рассматриваемые затем подробно описано, и показано, как они были рассмотрены в ходе разработки метода расчета в правой колонке на Приложения А и В цитированной выше, где приложение охватывает описание метода расчета и Приложение В охватывает полное описание оценки (проверки и апробации) конкретного метода расчета. Библиография включает работал пример и руководство пользователя.

Описание метода расчета

Цели

Определение решенной задачи или выполненной функции	Разработать аналитическую модель для прогнозирования огнестойкости легких деревянных каркасных стен сборок, подвергшихся воздействию пожаров. Модель оценивает теплопередачу и структурные ответы на основе экспериментальных наблюдений, свойств материала при повышенных температурах и уравнений прочности материалов.
Описание результатов метода расчета	Чтобы смоделировать поведение огнестойкости деревянно-каркасных узлов, важно оценить их тепловые и структурные ответы при воздействии пожаров. Тепловая ответ дает оценки распределения температуры в сборке. Структурная характеристика рассчитывает разрушение конструкции сборки, основанный на этой распределения температуры.
Включение технико-экономических обоснований и обоснование заявления	Традиционно, огнестойкость деревянно-каркасных узлов в целом были оценены: <ul style="list-style-type: none">– подвергая сборку тестирования в соответствии с процедурами, изложенными в стандартах или– используя ссылки на готовых к использованию таблиц или проектных процедур (компонент метод добавки), найденный в строительных норм и правил или– в качестве альтернативы, огнестойкость можно оценить с помощью проверенных численных моделей, которые становятся доступны. Методы испытаний огнестойкости имеют недостатки, в том числе высоких затрат и времени, ограничений геометрии образца и

	погрузки, а также в меньшей степени повторяемости. Методы расчета предложить один из способов преодоления некоторых из этих проблем при попытке оценки степени огнестойкости облегченных каркасов сборок. Методы расчета также помочь в разработке экспериментальную программу, улучшить производство продукции, и помочь промышленности в полной мере воспользоваться возможностями, предоставляемыми кодами, основанных на показателях, так как эти методы будут способствовать более быстрый процесс проектирования.
--	---

Теория

Описание базового концептуальной модели (руководящий явления), если это применимо	<p>Для того, чтобы разработать модель огнестойкости стены сборок, которые воспроизводят результаты испытаний, поведение огнестойкости от экспериментальной программы тщательно соблюдать. Результаты испытаний показали, что поведение древесно-кладка сборок, при воздействии огня, зависит от нескольких ключевых факторов: Слои гипсокартона, разделяющих деревянные балки из пламени, изоляция между балками, материалы свойства древесины перекрытия, и температура, к которой сборка подвергается.</p> <p>Модель состоит из двух суб-модели, тепловой передачи суб-модель и структурная отклика суб-модели. Передача тепла к югу от модели, называется WALL2D, предсказывает тепловую реакцию. Модель теплопереноса определяет распределение температуры в стене, как функцию времени, с учетом тепла, поглощенного при дегидратации гипса и дерева, а также при пиролизе древесины, без учета массопереноса. Модель теплопередачи использует теплофизические свойства древесины, гипсокартона, и изоляции. Модель теплопередачи также предсказывает эффект стекловолокном и изоляции рок - волокна на огнестойкости древесно-каркасных стенах, комбинируя проводимости и радиационной теплопередачи через изоляцию, и представлена в зависимости от температуры эффективной теплопроводности и плотность изоляции. Кроме того, модель теплопередачи рассчитывает поток горячих газов через отверстие в полость шпильки на основе усадки гипсокартона и открытия суставов, а также продвижение полукоса слоя в поперечном сечении шпильки с время.</p> <p>Структурная производительность огонь деревянно-каркасных узлов зависит от скорости обугливания, деградации механических свойств древесины при повышенных температурах, и нагрузки, понесенный сборок. Чтобы определить реакцию конструкции, критическая потеря устойчивости суб-модель выполнена с моделью теплопередачи. Суб-модель использует распределение температуры предсказанный моделью теплопередачи в качестве входных данных, затем вычисляет отклонение и критическое упругую нагрузку изгиба для древесно- шпилька стенки. Выпучивание из древесины шпильки ограничивается сильной оси из-за боковой поддержки со стороны гипсовой плиты. Отклонение шипа оценивается с помощью теории упругости. Отклонение шипа, как предсказано на шарнирной откидной эксцентричного колонке, могут быть рассчитаны с учетом шпильку в виде структуры пучка колонки.</p>
Описание теоретических основ явления и физических законов, на которых Метод расчета основан, если это применимо	<p>Результаты испытаний показали, также, что, подвергая деревянные каркасные стены, чтобы огонь, температура в защите гипсокартона начинает увеличиваться в первую очередь. Через некоторое время, шпильки начинают нагреваться, а затем они обугливаются на уровне температуры в диапазоне от 280 ° C до 300 ° C. Это приводит к тому шпильки, чтобы отвлечь от огня. Прогиб шпильки и гипсокартон постепенно увеличивается, что приводит к открытию соединения плит гипса. Гипсокартон, ассоциируются с шипами, отключает любое поперечное скручивание потери устойчивости стоек, так что дерево шпилька отклоняет вокруг своей сильной оси. Как открытие увеличивается, деревянные шпиль-</p>

	<p>ки становятся более подвержены и скорость увеличивается обугливания. Для несущих деревянных стен, отопления и начало обугливания шпильки создать эксцентричный груз, который может быть либо разрешено перемещать или оставаться на месте в зависимости от стены класса условий (навесных против фиксированных условиях). Как площадь поперечного сечения из шпилек несущих начинает уменьшается (утолщение обугленной области), то стойки стены начинают испытывать чрезмерное отклонение и нагрузка не может нести на шпильки больше (изгиб неудачи); это определяет разрушение конструкции стены. Для не- несущих стен, отказ сборки определяется в основном чрезмерный рост температуры на необогреваемой стороне стены. На рисунке ниже показано поведение и режим выхода из строя монтажа на стене древесины -шпилька. См. рис. ниже.</p>
	<div data-bbox="676 651 986 999" data-label="Image"> </div> <div data-bbox="1075 651 1394 999" data-label="Diagram"> </div> <p>Рис. Поведение и неспособность режима сборки стены деревянной опреле</p>

Применение теории

<p>Основные уравнения</p> <p>Передача тепла через гипсокартона и древесины шпильки, описывается с помощью энтальпии формулировку, регулируется по следующему уравнению:</p> $\rho \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$ <p>где ρ – плотность (кг/м³); H – энтальпия (Дж/кг); t – время (с); k – теплопроводность (Вт/м°С); T – температура (°С), и x и y координаты (м). Формула (1) решается с помощью явного метода конечных разностей.</p> <p>Критическая упругой потери устойчивости нагрузки, предполагая оба конца шпильки возлагаются, определяется по формуле:</p> $P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$ <p>где P_{cr} – является упругой потери устойчивости-нагрузка (Н); E – модуль упругости на сопротивлении пользователя (МПа); I – момент инерции (мм⁴), и L – фактическая длина шпильки (мм). Значения момента инерции и модуль изменения упругости со временем. Для момента инерции, модель теплопередачи обеспечивает оценку оставшегося поперечного сечения стойки. Для модуля упругости, изменение с температурой получается из литературы.</p> <p>Жесткость (продукт модуля упругости и момента инерции), для каждой стойки в стене и на основе сетки</p>	
---	--

<p>шпильку, рассчитывается следующим образом:</p> $EI = \sum_i^m E_i \frac{b_i D_i^3}{12} + \sum_i^m (b_i D_i) (Y - y_i)^2 E_i \quad (3)$ <p>где b_i – ширина элемента (мм); D_i – глубина элемент (мм); Y – является шпилька центр тяжести (мм); y_i – элемент центра тяжести (мм), и E_i – температура зависит модуль упругости элемента (МПа).</p>	
<p>Дифференциальное уравнение дает отклонение можно записать следующим образом:</p> $EI y'''' + Py'' = 0 \quad (4)$ <p>где y – плоскость отклонения (мм); EI – является шпилька жесткость (Н-мм²), и P прилагаемая нагрузка (Н).</p>	
<p>Основные уравнения</p> <p>Прогиб, y, на любой высоте x на шпильке в любое время, как:</p> $y(x) = \frac{M_0 L^2}{8EI} \left[\frac{2 \cos\left(\Psi - \frac{2\Psi}{L} x\right) - \cos(\Psi)}{\Psi^2 \cos(\Psi)} \right] \quad (5)$ $\Psi = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} \text{ and } M_0 = P(e_c - e_p)$ <p>при где L – представляет собой длину шпильки (мм); e_c – эксцентриситет центра тяжести сопротивляющейся пользователя (мм), и e_p – приложенная нагрузка эксцентриситет (мм).</p>	
<p>Основные уравнения</p> <p>В дополнение к отклонению в связи с загрузкой эксцентриситет поверхности древесины влияет на отклонение шипа. В общем, эксцентриситет может быть выражена с синусоидальным уравнением:</p> $y_e = e * \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (6)$ <p>где y_e – величина отклонения из-за эксцентриситета; e максимальный эксцентриситет; x это положение вдоль штифта, и L представляет собой длину стойки.</p>	
<p>Это значение может быть добавлен к эксцентриситета за счет нагрузки, чтобы получить общее отклонение как:</p> $\Delta = y(x) + y_e \quad (7)$	
<p>Математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы используются, со ссылками на них</p>	<p>Суб-модель предполагает, что передача тепла происходит в основном в поперечном сечении сборки стены, и что тепловой поток в вертикальном направлении может быть проигнорировано. Конечных разностей сетка считает симметрию стене, с измельчением сетки в непосредственной близости от дерева шпильки и увеличения расстояния внутри гипсокартона недалеко от дерева шпильки.</p>
<p>Идентификация каждого предположения, встроенные в логику, с учетом ограничений на входных параметров,</p>	<p>Модель основана на одном анализа стад и провал анализируемого шпильки означает провал стене. Модель теплопередачи не включает эффект движения влаги.</p>

которые вызваны в области применимости метода расчета	Структурная модель основана на упругой потере устойчивости анализа. Модель предсказывает огнестойкости стены, подверженную стандартного пожара. Модель не была проверена на реальных пожарных рисков. Модель не способна моделирования фазе спада пожара. Точность свойств материала при повышенных температурах ограничивается той, которая используется в модели.
Обсуждение точности результатов, полученных важных алгоритмов, и, в случае компьютерных моделях, любой зависимости от конкретных возможностей компьютерных	На основании проверки, проведенной, предсказания разрушения конструкции, как правило, с точностью до 10% измерений. Более проверка может быть необходимо, чтобы иметь реальный выбор точностью. В настоящее время модель может обрабатывать размер сетки минимальной 1,6 мм и шаг по времени используется при анализе составляет 1 с.
Описание результатов анализа чувствительности	Для того чтобы определить критические факторы, влияющие на модель огнестойкость, параметрическое исследование было проведено с использованием модели. Для параметрического исследования, все стены сборки состоял из 10 шпилек с поперечным сечением 89 мм на 38 мм шириной, 400 мм друг от друга, удерживается на месте ногтей. Параметры, рассматриваемые в структурном ответ включали модуль упругости, длина шипов и приложенной нагрузки на сборку. Параметры, рассматриваемые в тепловой ответ включены плотность древесины, а также расстояние ногтей. Все эти параметры имели влияние на время к выходу из строя узла.

Входные данные

Описание необходимых входных данных	Входные данные сделано, хотя интерфейс графического пользовательского (см. руководство пользователя для более подробной информации): <ul style="list-style-type: none"> – тип древесных пород; – геометрия шпильки (сечение и длина); – обугливание температуры; – нагрузка, приложенная и количество шипов; – механические свойства при температуре окружающей среды; – число слоев, типа и толщины гипсокартона с обеих сторон сборки стенки; – тип и плотность изоляции; – расстояние между гвоздями.
Информация от источника данных, необходимых	Геометрия и строительные детали ввода пользователями. Свойства материалов при повышенных температурах от испытаний и литературы.
Для компьютерных моделей: любые вспомогательные программы или внешние файлы данных, требуемых	Нет.
Предоставление информации о источнике, содержание и использование библиотек данных для компьютерных моделей	Ничего не нужно из внешних источников.

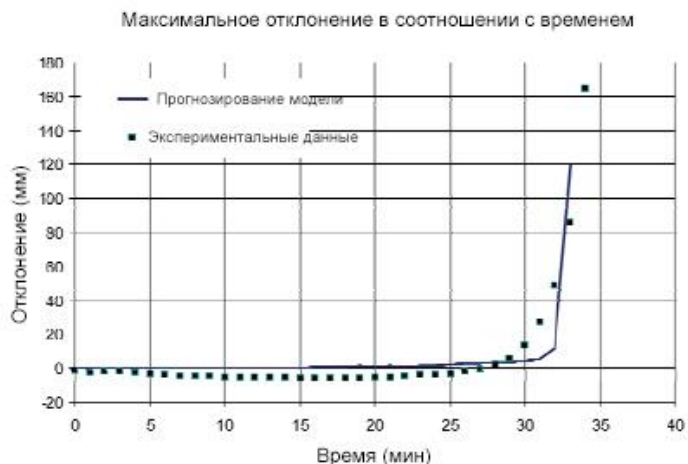
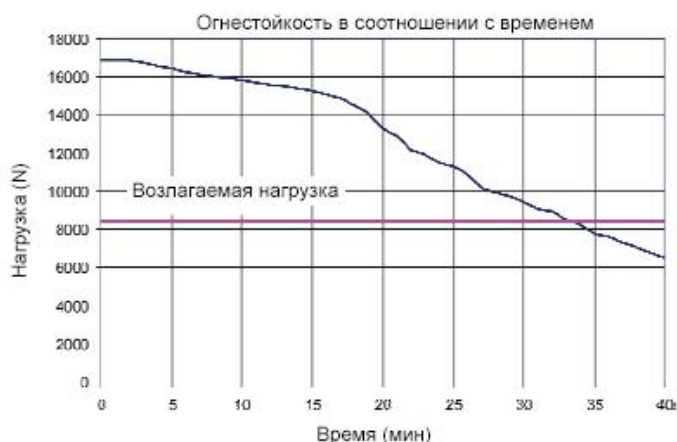
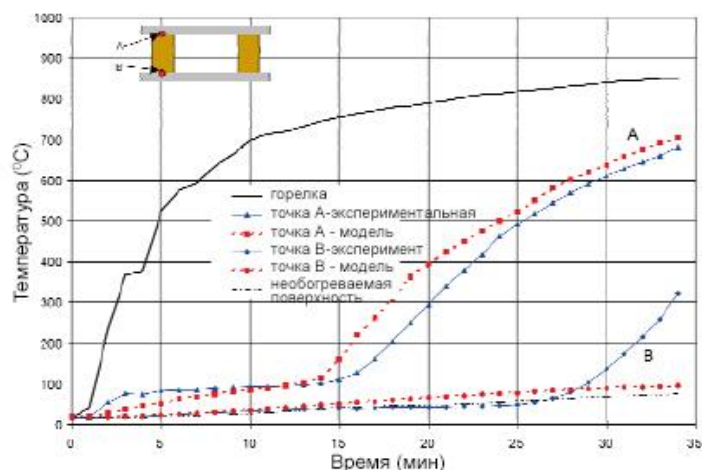
Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

Результаты любых усилий по оценке прогнозных возможностей метода расчета в соответствии с ISO 16730-1

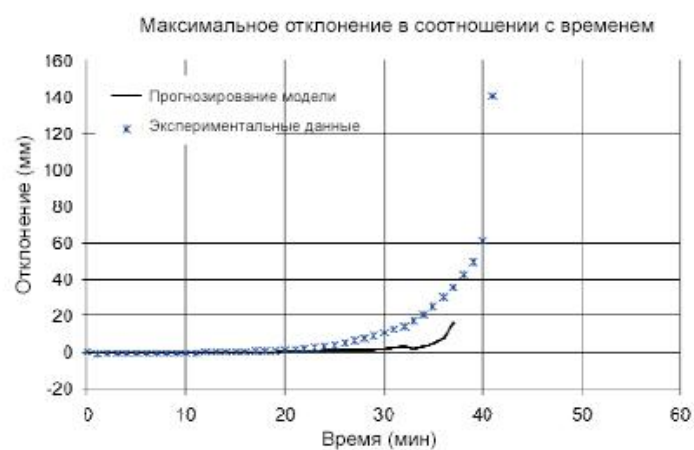
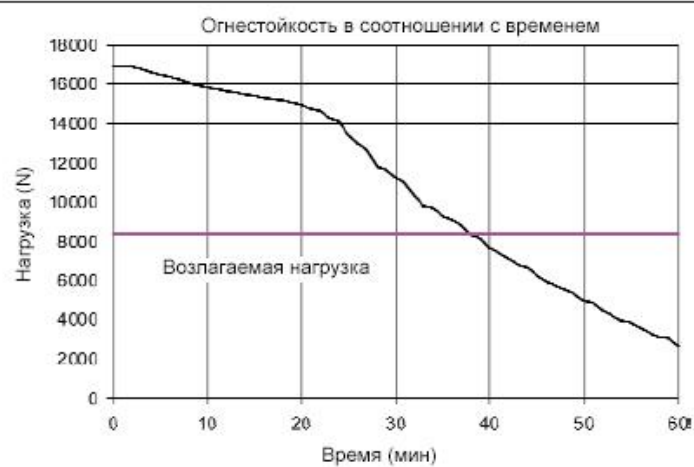
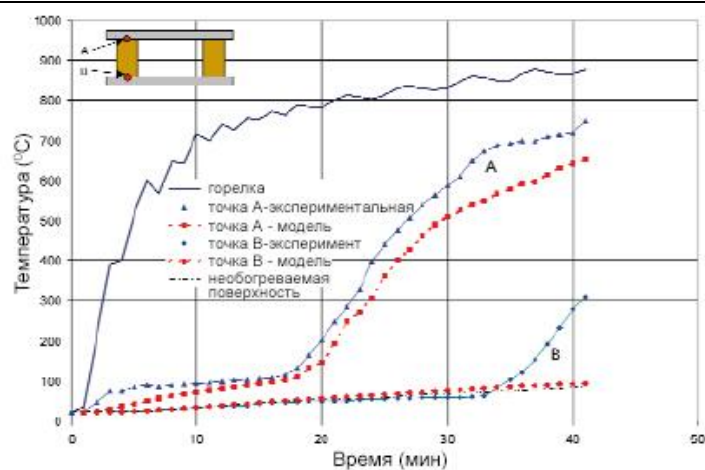
Чтобы быть представлена в количественном выражении

Для того чтобы проверить правильность модели, необходимо сравнить предсказания с экспериментальными данными. Испытания были использованы для оценки предсказания по модели огнестойкости. Сборки содержатся стекловолокно в полости.

Предсказания кривых температурно-временных порожденных теплопередачи были использованы для расчета снижения несущей способности из шпильки и деградации в модуль упругости. Температуры на необлученных сторон не достигла критерия разрушения изоляции, так как две сборки не удалось по структурной неустойчивости на 34 и 41 мин для испытаний а) и б), соответственно (см. графики ниже).



Испытание а)



Испытание b)

Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода уже выполняется	См. [69] и [70].
Если, в случае компьютерных моделей, проверка метода расчета основана на бета-тестирование, документация должна включать профиля тех, кто участвует в тестировании (например, были они вовлечены в какой-либо степени в развитии метода расчета, или они были наивные пользователи, были они дали каких-либо дополнительных инструкцию, которая не будет доступна для предполагаемых пользователей конечного продукта и т.д.)	
Степень, в которой метод расчета соответствует требованиям ISO 16730-1	Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.

ISO/TR 16730-5:2013 Пример валидации модели эвакуации

Область применения

ISO 16730-1 описывает то, что содержимое технической документации и из руководства пользователя должен быть для оценки, если применение метода расчета как технического инструмента для прогнозирования реальных сценариев приводит для проверки результатов. Цель этой части ISO 16730 является показать, как ISO 16730-1 применяется к методу расчета, для конкретного примера. Он демонстрирует, как техническая и аспекты пользователей метода правильно описано, с тем чтобы оценку метода в целях проверки и подтверждения.

Пример в этой части ISO 16730 описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1 для эвакуации модели (EXIT89).

Основная цель конкретной модели обработанной в этой части ISO 16730 является моделирование эвакуации высотного здания с большой численностью населения пассажиров.

Общая информация по эвакуации рассматриваемой модели

Рассматриваемой модели эвакуации дано название "EXIT89" в настоящем документе. EXIT89 – компьютерная модель, разработанная для моделирования эвакуации высотного здания с большой численностью населения. Некоторые из характеристики модели включают следующие:

- наличие жильцов с ограниченными возможностями по всему сооружению,
- случайное время задержки между людьми для моделирования распределения времени начала движения, что будет происходить в больших группах людей,
- выбор использования кратчайших путей или направленных маршрутов эвакуации, таким образом, чтобы пользователь мог продемонстрировать влияние обученного персонала, управляющего эвакуацией, в сравнении с использованием знакомых путей при многочисленном населении неподготовленным персоналом, без помощи эвакуируемым,
- встречные потоки для моделирования влияния деятельности пожарной службы или управления слиянием потоков или наличием препятствий на пути движения,
- выбор вариантов, влияющих на скорость движения, и
- человек перемещается вверх или вниз по лестнице.

Используемая методология

Для расчетного рассматриваемого метода проверки применяются на основе ISO 16730-1 и, как указано в настоящем стандарте 16730. Эта часть ISO 16730 спискам в приложениях А и В важны, которые необходимо проверить в левой колонке таблицы из двух столбцов. Вопросы, рассматриваемые затем подробно описано и показано, как они были рассмотрены в ходе разработки метода расчета в правой колонке на приложениям А и В упомянутое выше, где приложение охватывает описание метода расчета и Приложения в охватывает полное описание оценки (проверки и апробации) конкретного метода расчета. Приложение С описывает работавший пример, и Приложение D добавляет руководство пользователя.

Описание метода расчета

Цель

<p>Определение решаемой задачи или выполняемой функции</p>	<ul style="list-style-type: none"> — обрабатывает большие, сложные здания; — отслеживает большие группы населения, находящиеся в здании течение долгого времени; — В сочетании с моделью задымления, может прогнозировать воздействие распространения пожара на эвакуацию. <p>Модель эвакуации была разработана с целью:</p> <ul style="list-style-type: none"> — иметь возможность обрабатывать большое население, — иметь возможность пересчитать пути выхода после того, как помещения или узлы блокируются дымом, — Отслеживать людей во время движения по зданию путем регистрации местоположения каждого человека в заданные промежутки времени при пожаре, и — Для изменения скорости движения как функции меняющейся толпы-бесконечности пространства во время эвакуации, т.е. воздействий скопления людей. <p>Другие особенности позволяют моделировать движение как вверх, так и вниз по лестнице, а также воздействие встречных потоков.</p>
<p>(Качественное) описание результатов расчетного метода</p>	<ul style="list-style-type: none"> — Выходные данные включают <ul style="list-style-type: none"> — общее время эвакуации, — время освобождения этажей, — время освобождения лестничных клеток, — использование выходов, и — подробную информацию о местоположении каждого человека в течение времени.
<p>Заявления обоснования и технико-экономические исследования</p>	<p>В то время, когда модель эвакуации была впервые написана, модели эвакуации, как правило, рассматривали обитателей здания, как жидкость в трубопроводе, без присущих им особенностей поведения, таких как задержки в реагировании на сигналы тревоги и т.д. Эти модели гидравлического типа были полезны при расчете оптимального времени эвакуации, но будут последовательно вычислять время, которые были короткие и нереалистичны. Единственная модель, рассматривавшая людей индивидуально (EXITT) была основана на семейной группе в домашней обстановке. Было необходимо разработать модель эвакуации, которая бы соответствовала рамкам ОПАСНОСТИ I, но позволяют его применение будет продлен за пределы жилища, в более сложные структуры, как высотных зданий. Эвакуация модель, разработанная здесь способна отслеживать большое население частных лиц, как они следовали выхода маршруты через крупных и сложных структур. Модель эвакуации использует алгоритм поиска кратчайшего маршрута для перемещения людей, вычисляет скорости движения на основе плотности узлов здания (или пространств), и использовал решение и правила выживаемости из EXITT о реакции на задымление. Со временем к модели были добавлены новые функции, оказывающие влияние на время эвакуации, такие как встречные потоки. Время задержки для отдельных людей или групп людей могут быть выбраны из унифицированного или логнормального распределения.</p>

Теория

<ul style="list-style-type: none"> Базовая концептуальная модель (руководящий принцип) 	<ul style="list-style-type: none"> Время выхода основано на расстоянии до выходов и скорости движения. Скорость движения основана на плотности, а также характеристиках людей. Предтеченский и Милинский разработали формулы, основанные на наблюдениях за движением людей в бездымной среде с учетом возраста (взрослый/ребенок), одежды (лето/межсезонье/зима), и препятствия (багаж/рюкзак/пакет/ребенок на руках). В своей книге они напечатали таблицу, показывающую результаты расчетов для людей, движущихся по горизонтальным путям, а также вверх или вниз по лестнице на нормальной скорости и скорости в условиях тревоги. Эта таблица была включена в модель. Наблюдения фактических эвакуаций показали, что время задержки, как правило, следует за логарифмически нормальным распределением. Иногда обстоятельства могут привести к тому, что все люди в пространстве задерживают эвакуацию на аналогичный период времени. Будь то в одиночку или в группе, каждый человек имеет свое собственное время начала движения. Пользователи модели могут указывать свой собственный дистрибутив, установив среднее и стандартное отклонение для логнормального распределения, или минимальный/максимальный для равномерного распределения.
<ul style="list-style-type: none"> Теоретические основы явлений и законов физики, на которых базируется метод расчета 	<ul style="list-style-type: none"> — сетевое изображение здания; — локальная перспектива; — нет явных поведенческих соображений (пока использует время задержки); — скорость движения основана на плотности толпы; — выбор вычисления кратчайшего маршрута или направлений; — входные данные дыма из CFAST могут быть использованы для блокирования узлов во время эвакуации. Модель эвакуации использует формулы для скорости движения, которые основаны на исследовании, проведенном в бездымной среде. Физические законы не применяются.

Реализация теории

Управляющие формулы	<p>Вычисления Скорость перемещения плотность потока людей, D, составляет: $D = Nf/wL$ (m^2/m^2) где N – число людей в потоке; f – площадь горизонтальной проекции человека; W – ширина потока; L – длина потока.</p> <p>Скорость движения по горизонтальной траектории, V, составляет: $V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57$ (м/мин) Для движения вниз по лестнице: $V \downarrow = Vm \downarrow$ (м / мин) где $m \downarrow = 0,775 + 0,44 e^{-0,39D \downarrow} \bullet \sin(5,61D \downarrow - 0,224$</p>
---------------------	---

	<p>Для движения вверх по лестнице: $V \uparrow = Vm \uparrow$ (м / мин) где $m \uparrow = 0,785 + 0,09 e^{3,45D \uparrow} \bullet \sin 15,7 D \uparrow$ при $0 < D \uparrow < 0,6$; $m \uparrow = 0,785 - 0,10 \sin (7,85 D \uparrow + 1,57)$ при $0,6 < D \uparrow < 0,92$. В чрезвычайных ситуациях, страх, заставляющий людей пытаться избежать опасности, повышает скорость движения при той же плотности. $Ve = \mu e \bullet V$ где $\mu e = 1,49 - 0,36D$ для горизонтальных путей и через проемы; $\mu e = 1,21$ для спуска по лестнице; $\mu e = 1,26$ для подъема по лестнице. Максимально возможная расчетная скорость движения в условиях «чрезвычайной ситуации» 1,36 м/с и при "нормальных" условиях 0,91 м/с. Минимальные возможные расчетные скорости ходьбы являются 0,18 м/с и 0,15 м/сек, соответственно.</p>
Используемые математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы со ссылками	<p>Время задержки устанавливается для каждого места пользователем, а затем дополнительные выдержки времени могут быть случайным образом распределены на физических лиц. Время задержки может быть выбрано из однородного или логнормального распределения, определенного пользователем.</p>
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику; ограничения на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	<p>Вычисление скорости движения по Предтеченскому и Милинскому предполагают максимальную плотность 0,92. Они описывают это как "верификация в реальных условиях". Формулы для скорости движения были основаны на наблюдениях в бездымной среде. Вследствие массивов, которые хранят информацию для узлов и лестничных клеток, есть предел до 10 лестничных клеток в здании и 89 узлов на каждом этаже (вне лестничных клеток). В настоящее время модель может обрабатывать до 26 000 человек в 10 000 узлов за более чем 1 400 временных интервалов. Временные интервалы устанавливаются на 5 с. Реализации времени задержки предполагает, что люди не перестанут двигаться, как только они начали эвакуацию. Реализация встречного потока предполагает, что два потока только уменьшить свободное пространство пола (нет других помех в движении). Кратчайший маршрут алгоритм не позволяет пассажирам изменять пути маршрута как только была установлена, пока блокировка не происходит где-то на этаже. Движение по лестнице предполагает, что люди не оставляют по лестнице и не замедлить или отдохнуть. Выбор распределений для времени задержки ограничивается равномерной и логнормального распределений. Соответствующие диапазоны времени задержки можно найти в литературе (например, [71]). Многие из этих времен задержки, как сообщается из наблюдений на учениях, а не фактические чрезвычайные ситуации пожаров.</p>
Обсуждение точности результатов, полученных важными алгоритмами, и, в случае с компьютерными моделями, любой зависимости от конкретных	<p>Расстояния пути рассчитываются путем разделения площади этажа в здании на определенные узлы, а затем определения путей от узла к узлу. Размер уз-</p>

<p>возможностей компьютера.</p>	<p>лов влияет туристические пути. Большие узлы привести к уменьшению, дольше, но менее точными путей поездки. Меньшие узлы позволит выполнять более четкие контуры, но есть ограничение на количество узлов, которые могут быть определены для каждого этажа.</p> <p>Движение от узла к узлу рассчитывается с заданным временных интервалов. Размер временного шага влияет на точность движения. Значение по умолчанию 5 с.</p> <p>Примечание: в модели используется генератор случайных чисел в Visual Fortran v6.5. Из электронной документации:</p> <p>«Генератор RANDOM_NUMBER использует два отдельных конгруэнтные генератора вместе, чтобы произвести в течение примерно 10^{18}, и производит реальные результаты псевдослучайные с равномерным распределением в (0,1). Он принимает два целочисленных семена, первый из которых сводится к диапазон [1, 2147483562]. Второе семян снижается до диапазона [1, 2147483398]. Это означает, что генератор эффективно использует два 31-разрядных семена». [72]</p> <p>Для получения дополнительной информации об алгоритма, см. следующее:</p> <p>— <i>Коммуникаций АСМ часть 31 Число 6 июня 1988, под названием: Эффективные и портативные комбинированные генераторы случайных чисел Пьер Лекуер.</i></p> <p>Модель выбирает время задержки от любого равномерной или логнормальное распределение. Пользователь определяет минимальное/максимальное значение для равномерного распределения или среднего и стандартного отклонения для логнормального распределения. Существует мало данных, доступных для наблюдаемых распределений, так что пользователь должен решить, если введенный распределение согласуется с наблюдениями, описанных в литературе.</p>
<p>Описание результатов анализа чувствительности</p>	<p>Крупнейший вариант размер тела на 50% больше, чем самый маленький, но расчетные время не может меняться так много. Большого размера тела приводит к расчетной плотности для определенного количества пассажиров, который больше, чем будет рассчитываться с таким же количеством пассажиров с небольшим размером тела. Большая плотность приводит к замедлению скорости поездки. Но, если есть несколько человек, по прогнозам, будет в данном пространстве, или, если это пространство является большим, расчетные плотность не может сильно отличаться для различных размеров тела. В результате, расчетные время движения достаточно схоже.</p> <p>Примечание 1: время пути действительно только в бездымной среде.</p> <p>Примечание 2: багаж осуществляется и товары вышли на маршрут может влиять прогностическую правильность вычисленных результатов с учетом их применимости к реальным эвакуации.</p> <p>Проект для оценки возможности прогнозирования компьютерных моделей выходных данных обнаружил, что модель эвакуации при условии достаточно точные предсказания общей выходного времени для офисов и жилых домов от 6 до 15 этажей в высоту,</p>

	может недостаточно точно прогнозировать общее время эвакуации для зданий, если предшествующее знание пассажира нагрузка не предусмотрено, и чувствителен к количеству пассажиров, вариант размера, и расчетной скорости движения.
--	---

Входные данные

Требуемые параметры	<ul style="list-style-type: none"> — Описание сети; — Размер тела (три варианта; выбранный размер применяется ко всем людям) — скорость в чрезвычайных условиях/нормальная; — параметр пути; — данные дыма, если таковые имеются; — встречные потоки, если таковые имеются; — задержка (число подверженных и распределение времени); — наличие людей с ограниченными возможностями. <p>Встречные потоки могут быть смоделированы, но пользователь выбирает пораженные узлы и время они подвергаются воздействию.</p> <p>Кратчайший алгоритм маршрута адаптирован из работы [73], может быть выбором пользователя.</p>
Источник необходимых данных	См. приложение для более подробной информации.
Для компьютерных моделей: любые вспомогательные программы или внешние файлы требуемых данных	Если данные распространения дыма используются в качестве входных данных
Предоставьте информацию об источнике, содержании и использовании библиотек данных для компьютерных моделей	Здесь не требуется

Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

(Количественный) результаты любых усилий по оценке прогностическую возможности метода расчета в соответствии с главой 5 ISO 16730-1	<p>Большая часть испытаний, проведенных во время разработки модели для проверки, что модель выполняет внутренние вычисления правильно не было описано. Ошибки, которые возникают в ходе этого процесса были исправлены. Где необходимо и целесообразно, были сделаны сравнения между прогнозами модели и имеющихся данных. Одним из таких оценка описывается в настоящем приложении.</p> <p>Четыре примера упражнений валидации</p>
Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода уже выполняется. Если, в случае компьютерных моделей, проверка метода расчета основана на бета-тестирование, документация должна включать профиля тех, кто участвует в тестировании (например, были они вовлечены в какой-либо степени в развитии метода расчета, или они были наивные пользователи, были они дали каких-либо дополнительных инструкцию, которая не будет доступна для предполагаемых пользователей конечного продукта и т.д.)	<p>См. [74]</p> <p>См. [75]</p> <p>(избранные публикации)</p> <p>См. [76]</p> <p>См. [77]</p>
Степень, в которой метод расчета соответствует ISO 16730-1	<p>Процесс верификации и валидации для данной конкретной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.</p> <p>Комментарий: ISO 16730-1 дает хорошую основу для изложения особенностей и характеристик модели; однако,</p> <ul style="list-style-type: none"> — процесс проще представить себе в способе на основе формулы и — разработка модели в поле с скудной данных усложняет процесс верификации и валидации.

	А.3 призывает к обсуждению точности результатов, полученных важными алгоритмами. В случае с данной моделью эвакуации, основополагающий труд (Предтеченский и Милинский) не раскрывает точности их анализа, и поскольку модель будет существенно сравниваться с наблюдаемым временем эвакуации в реальных при пожаре, незначительная часть точно известных данных, невозможно вынести на рассмотрение точность модели.
--	---

Практический пример (моделирование встречных потоков при эвакуации зданий)

Обзор

Приложение описывает применение EXIT89, в эвакуации здания модели для сложных структур, в высотном офисном здании эвакуации, иллюстрирующий использование новейших особенностей модели (способность моделировать движение вверх по лестнице и моделировать присутствие противопожарных течет.) В дрель, которая была основой для данной модели осуществления проверки, очень немногие из обитателей здания эвакуированы используя их ближайший выход. Большинство из них, путешествуя внутри здания, направилась прямо к выходу, что сливается для области встречи (вне одного из верхних уровней), даже если это требует от них, чтобы подняться по лестнице, чтобы достичь этого уровня, или игнорировать более тесные выходы, которые потребуют что они подняться на холм или использовать вне лестницы, чтобы достичь точки сборки. Затормозило около того выходе почти сразу. Когда пассажиры, путешествующие по лестнице до этого уровня встретились пассажиров путешествие вниз по лестнице, они слились в общее пространство коридор, ведущий к выходной двери. Новая опция противопожарных потоков и новая опция для моделирования движения вверх по лестнице были использованы для имитации выбора пути выхода из здания жильцов и эффект двух поездов потоков слияния. Здание было эвакуировано в 286 с, с большинством жильцов из здания в 220 с. Модель предсказал время эвакуации 185 с, с очень похожим распределением выхода использования.

Общие положения

Во время эвакуации большого, сложного строения с большим количеством обитателей, не исключено, что некоторые пассажиры должны путешествовать вверх, а не вниз, лестничных пролета, чтобы добраться до выхода, или безопасных зон. Есть также несколько обстоятельств, в том числе операций противопожарной службы персонала в лестничных клетках, которые могут препятствовать прогрессу пассажиров, как они делают свой путь к внешней стороне здания или другой области убежища.

Встречные потоки

Там могут быть случаи во время эвакуации, когда имеющаяся ширина проезда для побега пассажиров уменьшается на, например, другим, едущим в противоположном направлении, пожарных или противопожарного оборудования в лестничных клетках или других препятствий, которые создали по пути. [78], [79], [80]. Опция встречных потоков позволяет пользователю учитывать это.

Когда пожарные прибывают в здании, они могут ввести дверной проем, который используется эвакуируемыми людьми. Пожарные затем вперед, с шлангов, что на лестничных клетках и через коридоры, в обрабатывать снижения путь для эвакуированных. Модель рассчитывает скорости путешествия на основе плотности пассажиров в каждом месте. Противопожарные потоки имеют эффект сужения доступное пространство этажа для пассажиров, тем самым увеличивая плотность толпы в этом пространстве и уменьшением скорости путешествия количество человек там.

Эффект противопожарных потоков обрабатывается способом, аналогичным обращению с указанной пользователем дыма завалы. Пользователь может определить, на основе предсказаний ответ пожарной службы и происшествий деятельность сцены, время в каких местах вдоль путей эвакуации ограничено, а также степень, в которых места ограничены. Например, если операции пожарные, как ожидается, ограничить лестничная клетка на 50% 8 мин после того, как оккупанты первым уведомил об инциденте, пользователь включает эта оценка выбрав пострадавших лестничная клетка узлы и ввода степени ограничения и времени возникновения для этих узлов. Если узлы позже открыть снова, тот же метод используется для возвращения узлы до их первоначального размера.

Этот метод был разработан и включен в модель так, чтобы движения счетчик движения из пожарной службы можно было предсказать. Есть и другие ситуации, когда могут возникнуть такие космические ограничения.

Во-первых, беспорядок может накапливаться на лестницах в то время как оккупанты эвакуации. Согласно эвакуированных в инциденте Всемирного торгового центра, в ответ на вопрос о препятствиях, с которыми сталкиваются во время побега, "Люди разбросаны ничего мусора как армия в отступлении". [81] Опция противопожарных потоков позволяет пользователю указать, в какой степени лестница сжимается путем ввода процент пространство в узле, который остается для эвакуированных.

Другая ситуация является тот, который может возникнуть когда пути пассажиров из одного района структуры сходятся на путях других пассажиров. Например, в здании с оккупированных этажами выше и

ниже выхода уровня класса, пассажиры эвакуируют здание можно встретить на уровне земли, тем самым уменьшая каждый доступ к другим, чтобы ясный путь движения. Иллюстрация такого события покрыта в настоящем приложении.

Эта функция не затрагивает тип противопоказаний потоков, которые происходят, когда некоторые эвакуированные (в отличие пожарных) выступить против общего потока движения. Хотя это упрощающее предположение приводит к несколько более эффективной эвакуации, чем может произойти в реальной жизни, сложности эвакуации модели значительно возрастает, если делается попытка разрешить любые или все пассажиры, чтобы изменить направление неоднократно в течение эвакуации. Кроме того, данные отсутствуют в настоящее время на количество поездок пространство ограничено противопоказаний потоков, так что пример представлены далее в этом приложении используется значение среднего класса 50%. Поскольку пользователь непосредственно управляет значение, используемое, диапазон процентных сочтено целесообразным пользователем может быть проверена. Эта функция нуждается в оценке на каком-то этапе, но способность остается важным вклад в способность модели для имитации реалистичных препятствия, которые могут развиваться в течение эвакуация.

Подъем по лестничным клеткам

Первоначальная версия модели предполагала, что люди покидали верхние этажи высотного здания, выходя на уровне земли. В действительности, многие здания имеют значительные нагрузки людей ниже уровня земли. Кроме того, при поэтапной эвакуации, только обитатели этажа возникновения пожарной и двух вышележащих этажей и ниже этой этаже должны быть эвакуированы. Люди над этажом пожарной происхождения могут быть направлены для перемещения на более высокий этаж, так что они не должны пройти пожарную этаж. Эта модель была пересмотрена, чтобы движение вверх по лестнице. Хотя было отмечено, что при реальных пожарах, которые пассажиры двигаются вверх, когда они должны двигаться вниз, это не поведение, что это дополнительная функция нацелена на решение.

Были сделаны следующие упрощающие предположения:

а) либо все жители будут путешествовать на горизонтальных путей или вниз по лестнице, или они будут все туристические на горизонтальных путей или вверх по лестнице;

б) для зданий с уровнем выше и ниже класса, модель будет работать дважды (один раз для тех, кто выше класс и путешествия вниз и один раз для тех, кто ниже класса и путешествия. Оккупанты на этапе обучения должны быть включены в обеих трасс, так как их путешествия повлияет, и будут затронуты, в присутствии тех, кто использует по лестнице);

с) если результаты показывают, что пассажиры, путешествующие вниз будет мешать тем, кто едет, когда все они достигают уровня земли, то есть, если расчеты показывают, что две группы достижения общих узлов в то же время, другой ход должны быть сделаны с помощью функция потока противопоказаны обратились выше, ограничивая путь путешествиях каждой группы в соответствующих точках во времени.

Описание здания сети обрабатывается по существу тем же способом, будь то направление движения вверх или вниз. Если структура были полностью ниже уровня, этаж 1 будет самый высокий уровень, с других этажей пронумерованы последовательно идущих вниз. Затем пользователь указывают на входе для моделирования, что направление движения по лестнице является вверх. Скорость передвижения были рассчитаны по формулам скорости от Предтеченский и Милинский, которые предоставляют формулы для поездок как вверх, так и вниз по лестнице, а также при нормальных и аварийных условиях [82]. В этом примере скорости для перемещения вверх были доступны модели. Когда верхние этажи моделируемого, с поездками вниз лестничные клетки, этаж 1 является самым низким этаж. Верхние этажи затем последовательно пронумерованы. Когда пользователь указывает, что лестница путешествия вниз, скорости для движения и вниз доступны с помощью модели.

Кроме того, этой особенностью модели позволяет его применение к более полному моделирования сложной структурой. Это включает в себя структуры, которые построены полностью под землей, а также те, которые заняли этажи выше и ниже ступени. Это также позволяет моделирование пассажиров движения в здании, где в постановке эвакуации планируется, где люди, расположенные на этажах непосредственно над огнем перемещаются выше в здании, в то время как непосредственно под огнем двигаться вниз.

Пример валидации

Последний этап в разработке модели заключается в проверке ее пригодности путем сравнения ее прогнозов на реальном опыте. Чтобы проверить эти новые функции, предсказания модели сравнивались результатам полной эвакуации офисного здания семизэтажного, где некоторые люди поднимались по лестничным клеткам, чтобы добраться до выходов.

1. Проект испытания

Данная учебная эвакуация была проведена в семизэтажном офисном здании в Ньюкасл-на-Тайне пожарной бригадой Тайн и Уир при сотрудничестве управления зданием [83]. Она предоставляет возможность валидации использования перемещения вверх и возможности встречных потоков в модели.

Данное здание было построено в склоне холма, с выходами на внешней стороне на нижних пяти уровнях. Автостоянка (парковка) за пределами пятого уровня выше класс был определен в качестве места встречи в случае эвакуации, и этот факт был подчеркнут работникам в недели, приводя к тренировкам. Оккупанты приказали оставить, когда пожарная сигнализация звучала и собрать на автостоянке. Они не

были обучены важности использования ближайший выход, и управление не направить их на ближайших выходов.

Во время учебной эвакуации, персонал пожарной бригады подсчитывал и фиксировал время выхода людей с использованием различных выходов и отслеживал людей после, чтобы выяснить, где они начали эвакуацию, какой выход они выбрали и как долго продолжалась их с задержка до начала эвакуации. Пожарная команда также смоделировала ситуацию при пожаре, заблокировав доступ людей к одной из лестниц в здании.

Эвакуация была проведена в рамках регулярного расписания эвакуационных испытаний управления зданием. Пожарная команда была приглашена для наблюдения, и воспользовалась возможностью собрать данные в качестве вклада в постоянное изучение эвакуации в чрезвычайной ситуации.

2. Результаты учебной эвакуации

Согласно отчету по учебной эвакуации [83], в результате была получена интересная и неожиданная закономерность движения. Во время эвакуации очень немного людей покинули здание, воспользовавшись ближайшим выходом. Большинство из них, двигаясь внутри здания, направлялись прямо к выходу, что сливается для области встречи, даже если это означает, что они должны были подняться по лестнице, чтобы достичь этого уровня или игнорировать более тесные выходы, которые бы требуют, чтобы они затем поднялись на холм или использовать вне лестницы, чтобы достичь точки сборки. Это означает, что все пассажиры на этом пятом уровне использовал тот же выход, как и многие из пассажиров с ниже уровня, после прогулки вверх по лестнице, чтобы достичь этого уровня. Около пяти пассажиров на следующем уровне ниже, которые также поднимались вверх по лестнице, чтобы достичь точки встречи, идя через здания. Скопление людей образовалось вблизи этого выхода практически немедленно.

Данные из этого эвакуации упражнений дало возможность проверки двух новейшие черты модель: путешествовать по лестнице и возможность противоречие потока. Использование первого варианта является достаточно очевидна. Люди, которые спускаются вниз по лестнице к выходам, были смоделированы с помощью скорости проездные по умолчанию для движения вниз лестницы. Люди, которые поднимаются на более высокие уровни к выходам были смоделированы с помощью новой функции. Там может быть ситуации, когда человек, путешествующих вниз по лестнице в здании никогда не может столкнуться с людей, путешествующих вверх на том же уровне, чтобы достичь снаружи. В этом эвакуации упражнения, однако, был период времени когда оба водителя и пассажиров потоки двигались в том же пространстве одновременно. Для обработки эффект этих два путешествия потоков слияния, новая опция противопоказаны поток был использован.

Из 381 участников учебной эвакуации, 242 ответили на вопросы после проведения учений. В анкете исследования участников просили указать, сколько времени занимала их задержка до начала эвакуации. Этот вопрос с несколькими вариантами ответов предлагал три варианта: от 0 с до 5 с, от 5 с до 30 с и более 30 с. В планах этажей, предоставленных автору вместе с отчетом об учебной эвакуации, были указаны местоположение респондентов, выходы, которые они использовали, и время задержки, которое они указали [84]

3. Попытка моделирования

Узлы и этажи сети здания были пронумерованы от 1 (нижний уровень) до 7. Выходы на улицу находились на уровне 1 (один выход), 2 (четыре выхода), 3 (один выход), 4 (два выхода), и 5 (выход наиболее близкий к месту встречи). Узлы были присвоены занимаемым пространствам и вдоль путей движения по коридорам. (Коридоры были разделены на меньшие пространства.) Узел макета выборки для 5-го уровня можно найти на рис. Отчет пожарной команды по эвакуации показал местоположение опроса респондентов и при условии оценки количества жильцов на каждом уровне [84]. Эта информация, вместе с деталями использования лестницы и шаблонов путешествовать по уровням, был использован для распространения смоделированный пассажиры на каждом уровне.

Модель рассчитывает скорости движения, основанные на плотности оккупированных пространств. Для того чтобы вычислить плотность, есть варианты для «размера тела», которые предоставляют пользователю некотором выборе в скоростях. Пользователь также выбирает, будет ли рассчитываться «чрезвычайная ситуация» или «нормальные», идущие скорости. (Эти формулы приходят с работы Предтеченский и Милинский указанного выше). Потому что этот инцидент был дрель, для которых оккупанты были подготовлены, крупнейший вариант размер тела и «Нормальный» вариант скорость были выбраны. Это сочетание приводит к самым медленному времени эвакуации в переполненных пространств, должно привести к самым скромным результатом в плане времени эвакуации, и можно было бы ожидать, чтобы хорошо сочетаются с неторопливой поведения пассажиров, участвующих в предполагаемой пожарном учении.

В ходе опроса, проведенного после завершения учений, участников эвакуации спросили, насколько долго продолжалась задержка, прежде чем они начали двигаться к выходу. Им было предложено три варианта: от 0 с до 5 с, от 5 с до 30 с или более 30 с. Местоположения респондентов, задержка которых составляла более 30 с были указаны в отчете. Большинство людей указали задержку не более 30 с. Для моделирования, оккупанты в местах, где респонденты задерживается более чем на 30 с были назначены 30 с задержку. Дополнительные случайно выбранные задержки от 0 с до 30 с были назначены моделью всем 381 участникам моделирования.

Для иллюстрации воздействия различных вариантов на модель были проведены следующие два сценария эвакуации:

- Кратчайший вариант маршрута, где модель вычисляет ближайший выход для каждого занятого местоположения, и

- Полное моделирование с использованием подъемов по лестнице и встречных потоков, где пути движения были определены из отчета по учебной эвакуации.

Первый вариант обеспечивает основу для времени эвакуации что можно было бы ожидать, если пассажиры использует ближайший выход, хотя это часто не целесообразно предположить, что будет происходить, что поведение [85]. Сеть была определена как показано на плане этажа в образец был выбран рис. и кратчайший вариант маршрута.

Второй сценарий, моделирование с использованием путешествовать по лестнице и встречные потоки, должны были быть смоделированы в три этапа, с каждой фазы в том числе два раза. Первый этап был бежать, чтобы найти те времена, когда жители, путешествующие вниз лестничные клетки столкнулись бы пассажиров путешествие до лестничные клетки. Второй этап приходится на возникновения противопоказаний потоков на тот момент, и был запущен, чтобы найти время, когда оккупанты путешествия вверх и вниз уже не разделяя те же места. Третий этап объединил эти результаты, с контр опции в игре в течение всего срока времени, что два потока были в тех же пространствах.

В первой серии первого этапа, здание сеть включала всех обитателей, которые переехали вниз и/или горизонтально к выходу. Во второй серии этого этапа, были включены только жители 5-го уровня и тех, кто на уровнях 3 и 4, которые путешествовали до 5-го уровня. Оккупанты из 5-го уровня, поэтому, были включены в обеих трасс, потому что они бы внесли свой вклад в тесноту жильцов, путешествующих вверх или вниз по лестнице. (Ни в коем случае эвакуации учений был он сообщил, что пассажиры были одновременно путешествия вверх и вниз по лестнице между двух уровней). Выходные файлы из этих двух опытов затем проверяется, чтобы найти время, когда пассажиры, путешествующие вверх достигнутые места, занятые пассажиров, путешествующих вниз или горизонтально.

На втором этапе, что пара множеств данных снова бежать, на этот раз с выбором противопоказаны поток вступления в силу во времена предсказывали, когда тех, кто едет до лестницы достигнет пробелы в использования тех, кто едет вниз, и предполагая, что пространство, доступное конкурирующие потоки была снижена до 50%. Без данных, чтобы указать, что степень снижения бы целесообразно, 50% была выбрана в качестве варианта среднего класса. Пользователь может выбрать любой номер от 0 % до 100%. Выходы этих двух опытов по сравнению, на этот раз, чтобы найти время, когда потоки перестали конкурировать.

Процесс получения этих времен можно лучше понять, просмотрев подробные данные в таблице.

Два моделирования проводились в третий раз с опцией противопоказаний потока, осуществляемого на пострадавшие районы для промежутка времени, предсказанного на первых двух этапах. Результаты представлены в таблице, который показывает наблюдений, изложенных для фактического эвакуации.

4. Результаты моделирования

В таблице показаны наблюдения из учения эвакуации в первых двух колонках. Как упоминалось ранее, большинство людей использовали ближайший выход к месту встречи (выход 10), в результате чего образовывались скопления людей на выходах и увеличивалось время эвакуации, чем на любом другом выходе.

В следующих двух столбцах показано время эвакуации прогнозированное с кратчайшим выбранным вариантом маршрута. Этот режим моделирует тип результата, которого можно ожидать, если люди прошли подготовку, а затем были направлены к ближайшему выходу. Результаты показывают резкое перераспределение использования выхода, сократить потребление выход 10 и значительно увеличивая использование выходов вблизи низких уровнях уличных. Этот результат возникает из-за использования лестничных клеток в здании, что бы принесли людей вниз к выходам на более низких уровнях (Выход 3 и 4). Это были выходы, которые были значительно малоиспользуемых во время эвакуации упражнений, потому что эвакуированные бы тогда должны были подняться в гору, чтобы достичь точки встречи. Кратчайшие результаты маршрут отражают влияние, что управление и обучение может оказать на исход эвакуации, заставляя движения пассажиров на ближайших выходов. Как показано на заторов, которые произошли возле выхода № 10, где большинство жильцов во главе без какого-либо вмешательства со стороны персонала, инвестиции в обучение и персонала может быть, стоит в повышении безопасности жизни.

Таблица. Этапы моделирования эвакуации высотного офисного здания со встречными потоками

Для этого примера, три набора пробегов требовалось моделировать воздействие пассажиров путешествия вверх и вниз по лестнице, чтобы достичь общую точку выхода. Первый этап заключалась в определении, в какой момент (с) во времени люди, поднимающиеся вверх будет отвечать пассажиров путешествовали вниз. Затем, во второй серии запусков, те времена использовались как начало противопоказаний потоков, которые бы повлиять легкость передвижения через этих общих узлов. Изучение выходных данных этого набора пробегов определялась, когда совместное использование этих общих путей путешествия прекратились. В третьем набор пробегов, время для начала и прекращения общей путешествия использовались в скобки эффект совместного пораженные общие узлы.

Основываясь на определении проездных путей, установленных на входе, был один узел, который будет использоваться в общем на 4-м уровне и шесть, которые будут использоваться совместно на 5-м уровне.

Этап 1: Люди, поднимающиеся вверх и спускающиеся вниз были смоделированы по отдельности.

Полученные в результате выходные данные показали местоположение каждого человека на протяжении всего моделирования. Наблюдение за выходом показало, что первый человек с 3-го уровня достиг одного из общих узлов 4-го уровня на 30,1 с. Другие общие узлы были достигнуты обитателями 3-го уровня на 34,6 с, 71,2 с, 48,6 с, 37,5 с, 55,7 с и 86,7 с, соответственно. Все эти узлы уже были достигнуты людьми, спус-

кавшимися с верхних этажей, так что эти значения времени, округленные до секунды, а затем до 5 с, использовались в следующем наборе запусков когда начались препятствующие воздействия.

Этап 2: Люди, поднимающиеся вверх и спускающиеся вниз были смоделированы по отдельности еще раз, но раз с эффектом противопоказаний потоками, происходящих на этих общих узлах на 30 с, 35 с, 70 с, 45 с, 35 с, 55 с, и 85 с, соответственно.

Полученные в результате выходные данные были изучены для определения времени, когда люди поднимающиеся с нижних этажей больше не находятся в тех же узлах, что спускающиеся вниз по лестнице. Согласно наблюдениям, эти значения времени составляли быть 62,5 сек, 102,7 с, 142,5 с, 108,3 с, 94,3 с, 127,3 с, а 151,4 с, соответственно. Все эти узлы все еще использовались людьми, спускающимися с верхних этажей, так что эти раз, округляется до ближайшего секунду, то до ближайших 5 с, использовались в окончательный набор трасс как время противодействия воздействию, закончившийся, и узел площадь доступны для выхода вернулся в первоначально определенного размера.

Этап 3: Люди, поднимающиеся вверх и спускающиеся вниз были также смоделированы по отдельности, однако время для воздействия встречного потока было установлено на начало, как на Этапе 2 и до конца на общих узлах в 65 с, 105 с, 145 с, 110 с, 95 сек, 130 сек, и 155 с, соответственно.

Результаты этой пары запусков обеспечили окончательные прогнозирование моделирования для этого примера.

Таблица. Наблюдения и расчеты использования выходов

	Наблюдения		Прогнозирование с использованием рассчитанных кратчайших маршрутов		Прогнозирование с использованием встречных потоков и подъема по лестнице	
	Количество людей	Время последнего использования выхода (с)	Количество людей	Время последнего использования выхода (с)	Количество людей	Время последнего использования выхода (с)
Выход 1	2	45,0	2	36,0	2	36,0
Выход 2	6	48,0	6	39,0	6	39,0
Выход 3	6	90,0	107	174,0	6	65,0
Выход 4	40	105,0	124	164,0	36	116,0
Выход 5	0		7	86,0	0	
Выход 6	23	115,0	27	137,0	21	101,0
Выход 7	0					—
Выход 8	48	190,0	6	75,0	38	146,0
Выход 9	8	90,0	11	79,0	11	73,0
Выход 10	248	220,0	91	129,0	261	185,0
		Неск. последних на 286				
Всего вышло	381	286,0	381	174,0	381	185,0

В последних двух столбцах показаны результаты запусков с использованием указанных пользователем маршрутов, подъема вверх по лестнице и встречные потоки, которые отвечают за время, когда эвакуируемые поднимающиеся по лестнице сталкиваются с теми, кто спускался вниз по лестнице. В этом моделировании использовались данные, собранные в ходе учений и сделана попытка переместить людей к выходам они, как сообщается, использовали в таком случае. По этой причине распределение использования выходов ближе к наблюдаемому использованию, чем пример использования кратчайшего маршрута, который только что обсуждался.

Результаты этого моделирования хорошо сопоставляются с фактической учебной эвакуацией, хотя общее время эвакуации недооценено спрогнозировано как 35 сек. (Последние несколько эвакуированных при учебной эвакуации покинули здание через 66 с после большинства людей). Изменение количества людей, использующих каждый маршрут связано с изменчивостью поведения, которое демонстрируют реальные люди (например,двигающиеся во встречном направлении от выходов, меняющие направление во время эвакуации), что эта модель не работает. Однако результаты очень точны и продемонстрируют эффективность модели при моделировании сложной парадигмы эвакуации в высотном здании.

Выводы

Набор входных данных разработанный для данного примера валидации был предназначен чтобы воссоздать условия, присутствующие в задании по мере возможности, и были получены очень точные результаты. Если вопрос об оценке конструкции здания, пользователь модели придется генерировать предска-

ния модели для широкого спектра сценариев эвакуации. Например, не зная распределение начальных позиций людей, их мобильности или времени задержки, пользователь будет запускать модель много раз, варьируя эти характеристики людей в здании в различных комбинациях. Изменения в наличии выхода, емкости и использования также должны быть смоделированы. Результаты моделирования может затем быть нанесены. Фактическая эвакуация здания должна опускаться где-то по полученной кривой.

Время до начала движения сообщается или полученные в этой и других эвакуационных учений были использованы в качестве основы для времени задержки в примерах проверки. Для этого примера, задержки до 30 с были рандомизированы для водителя и пассажиров, некоторые из которых были расположены в узлах, где задержки 30 с были установлены на основе результатов обследования. В результате, некоторые пассажиры в симуляции, совокупные времени задержки до тех пор, как 53 с. Если пользователь хочет, чтобы имитировать потенциальную эффективность хорошо подготовленных пассажиров населения, время задержки может быть сокращен до максимум 30 с. Это сокращение может сократить общее время эвакуации, хотя в некоторых случаях, возможно, что более задержки может произойти раньше, если, начиная раз не в шахматном порядке. Запуск моделирования с этой модификации в исходных данных предоставляет прогноз в отношении фактического воздействия этого изменения времени задержки на общее время эвакуации.

Дальнейшие прогнозы изменения в результатах эвакуации, что можно было бы ожидать с лучше подготовленным и руководил пассажиров населения представлены в таблице, где результаты моделирования с использованием кратчайший вариант маршрута можно сравнить с наблюдениями для того же высокого высотное здание.

Эвакуации универмага [86], смоделированная в другой статье [87] показала воздействие использования этих пассажирских аварийных выходов в направлении сотрудников. Если дизайнер не смогли предположить, такие действия сотрудников, он или она должны были бы проверить влияние на времена эвакуации, если население здание используется только выходы, с которыми они были бы знакомы. Это эвакуации моделирования бы проявить большую перегрузке в этих знакомых выходов, с результатом увеличения общего времени эвакуации.

Данное исследование изменений в входном файле, который был бы необходим при оценке проекта зданий, предназначен для иллюстрации влияния изменений в предположениях для широкого спектра сценариев эвакуации. Поскольку целый ряд представительных сценариев эвакуации не проводилось для каждого случая здания изучения, это не возможно, чтобы показать возможности прогнозирования модели здесь для этих сценариев.

В данном приложении представлено лишь одно из эвакуационных упражнений, используемых для демонстрации возможностей модели [87]. Эти исследования были выбраны потому, что они были особенно хорошо документированы и их моделирование продемонстрировало бы основные черты модели. Моделирование осуществлялось против фактических данных в попытке воссоздать результаты, наблюдаемые в физических упражнениях. При использовании модели в контексте оценки дизайна, пользователю необходимо запустить дополнительные сценарии. Например, моделирование описано в настоящем приложении был основан на эвакуации упражнений, где была сделана одна из лестниц недоступен для водителя и пассажиров. Если оценивалась конструкция этого здания, было бы уместно удалить каждый лестничную клетку подряд, с тем чтобы изучить, какое влияние это будет иметь. Такого рода оценки не было сделано в этой части 16730, а не фактические наблюдения не были доступны для сравнения.

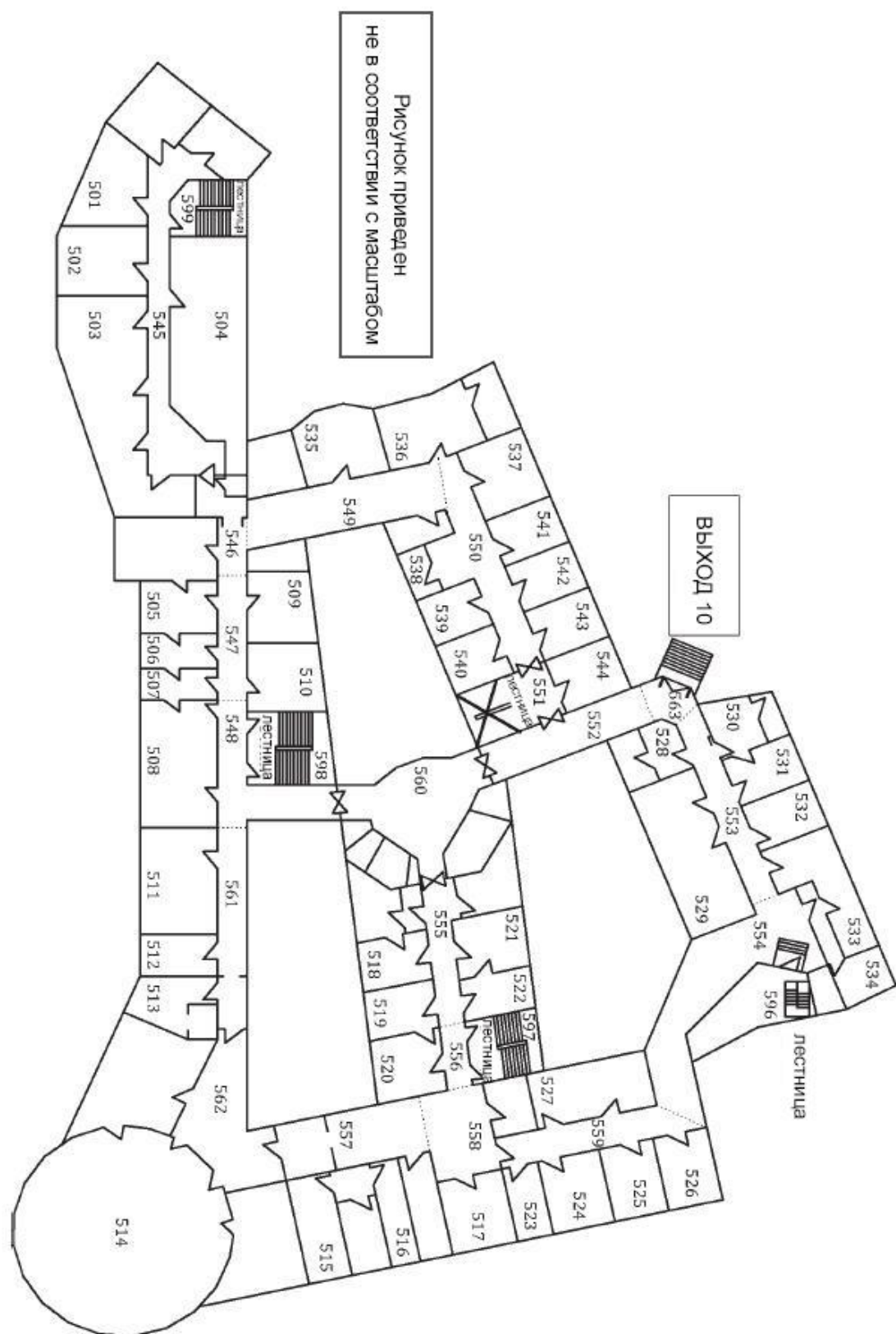


Рис. План этажа с сетевыми узлами, для Уровня 5 высотного офисного здания при подъеме вверх и наличии встречных потоков

Руководство пользователя

Описание программы

Эта модель требует в качестве входных данных сети описание здания, геометрические данные для каждой комнаты или определенного пространства и для отверстий между этими помещениями или простран-

вах, а также данные дыма, если ожидаемый эффект дыма завалов должен быть рассмотрен. Она либо вычисляет кратчайший путь из каждого места строительства на месте безопасности (обычно снаружи) или читает в пользовательских маршрутов через здание. Она движется людей по рассчитанных или определенным маршрутам, пока расположение не блокируется дыма. Пострадавшие выхода маршруты пересчитываются и движение людей продолжается, пока следующая блокировка не происходит или пока все, кто может избежать не достигнет снаружи.

Вакуумирование может начаться одновременно для всех пассажиров или может быть отложена, с задержками, установленных для каждого узла. Дополнительные задержки могут быть рандомизированы на пассажиров с использованием либо форму или логарифмическое нормальное распределение, определенное пользователем. Данные дыма может быть использована для прогнозирования, когда активация пожарная сигнализация будет происходить и эвакуация начнется тогда, ни после некоторого определенного пользователем задержки за это время. Инвалиды могут быть включены в число жителей в здания. Если противопоказаний средств или других препятствий путь развивать во время эвакуации, которые также могут быть смоделированы. Программа была написана первоначально на языке Фортран для работы на ЭВМ IBM. PC-версия была разработана Даниэлем Алвордом в Национальном институте стандартов и технологии строительства и научно-исследовательской лаборатории от огня. PC-версия имеет возможность читать в CFAST генерируемые данных дыма.

Техническое исследование

Характеристики и допущения модели

Данная модель была разработана в качестве модели эвакуации в HAZARD I для приложений, связанных с крупными и густонаселенными зданиями, такими как высотные здания. Она была разработана для следующих целей:

- 1) чтобы иметь возможность обрабатывать большое количество населения,
- 2) чтобы иметь возможность пересчитать пути выхода после, того как помещения или узлы становятся заблокированными задымлением,
- 3) для отслеживания отдельных людей при движении через здание, регистрируя местоположение каждого человека в заданные промежутки времени во время пожара, и
- 4) для изменения скорости движения в зависимости от изменяющейся тесноты пространств во время эвакуации, то есть воздействий скопления людей. Другие особенности были добавлены позже, чтобы позволить моделирование поездок как вверх, так и вниз по лестнице, а также эффект противопоказаний потоков.

Размер здания и его населения, которые могут быть обработаны ограничена размером массивов хранения. Размеры массивов хранения в настоящее время допускают до 26 000 пассажиров в общей сложности 10 000 узлов или строительных пространств на до 100 этажей, более 1 400 временных интервалов. Они могут быть изменены пользователем для обработки больших проблем. В связи с соглашением об именах для узлов, на которые опирается программа, на каждом этаже может иметь до 89 узлов, и здание может иметь до 10 лестниц.

Модель имеет местную перспективу, а не глобальную, это означает, что люди не имеют знаний о происходящем на других этажах. Если и когда происходят дыма засоры, пути эвакуации меняются только на пораженные этажи.

Другое предположение, что как только люди ввести лестничную клетку, они останутся в этом подъезде, пока они не достигнут точки сброса от лестничной клетки, если это не становится заблокирован прогресса огня в, в этом случае они будут двигаться из лестнице и на ближайшей этаже. В реальных ситуациях, люди могут направиться в крыше или оставить по лестнице, чтобы пойти на нижних этажах без всякой видимой причины.

Эвакуация может быть смоделирована с верхних этажей вниз, или с нижних этажей вверх. Например, если моделирования эвакуацию структуры с этажей выше и ниже класса, эвакуация верхних этажах могут быть смоделированы с пассажиров, путешествующих в нижних этажах и снаружи. В ниже класса полы будут смоделированы отдельно, с пассажиров, путешествующих на пол разряда и наружу.

Модель не явно включает поведенческие соображения, которые включены в некоторых других моделей эвакуации. Такие действия включают в себя расследование пожара, спасение маленьких детей, предупреждая или бодрствования другие способные взрослых, а также помощь других пассажиров, которые могут потребовать помощи. Так как модель была разработана для обработки высотных зданий или небольших зданий с большой численностью населения, автор решил пользователь назначить время задержки на каждом занятого пространства для того, чтобы отражать широкий спектр мероприятий, которые могут быть, происходящих в здании в стадии рассмотрения и отклонения в готовности или способности пассажиров, чтобы принимать решения по эвакуации. Дополнительные задержки могут быть случайным образом распределены на физических лиц. Пользователь определяет процент жителей, чтобы иметь эти дополнительные задержки и можете выбрать раз следуют ли равномерное или логнормальное распределение. 2.3 описывает процесс, чтобы следовать, чтобы использовать эту опцию.

Скорость ходьбы в модели рассчитывается как функция плотности. Как это обрабатывается обсуждается в 2.4. Пассажиры с ограниченными физическими возможностями моделируются, установив их скорость ходьбы, как указанный пользователем процентах от модели-рассчитывается "нормальной" Скорость ходьбы.

Входные данные модели включают в себя описание сети здания. Узлы могут быть номера или разделы комнат или коридоров, в зависимости от того приводят к наиболее реалистичных путей поездки. Узлы определенные, хотя, должен соответствовать номерам или подмножества из комнат, описанных в CFAST, если выход CFAST используется в качестве ввода данных дыма для модели.

Определение каждого узла включает в себя его полезная площадь, высоту потолка, емкость узла, свой первоначальный пассажиров нагрузку, количество жильцов-инвалидов в этом узле, количество секунд пассажиров этой комнате будет задерживать до начала эвакуации, и оккупанты узел будет двигаться в случае, если пользователь выбирает вариант иметь жители двигаться по определенным маршрутам. Определение каждой дуги включает в себя расстояние между узлами и ширине отверстия между узлами. Дуги двунаправленный так соединение между двумя узлами имеет только быть описан один раз.

Для моделирования воздействий дыма модель можно использовать двумя различными способами. Пользователь может ввести имена узлов, которые перекрыть дыма и времени эти завалы происходят. Или, пользователь может принимать данные, выводимые дыма от CFAST в качестве вклада в модели. CFAST вычисляет и записывает в файл на диске оптической плотности горячей верхнего слоя в каждом узле в каждом временном интервале и высоте от пола более прохладного нижнего слоя. В первом случае, эвакуация начинается во всем здании во время 0, плюс любое время задержки указанного в узлах пользователем или случайным образом распределены в модели. Во втором случае, эвакуация начинается по всему зданию, когда уровень дым достигает, что определены для активации пожарная сигнализация, плюс любое время указанная задержка в узлах пользователем или рандомизированы в модели. Не определяя никаких завалов, пользователь может моделировать эвакуацию здания без огня не происходит.

Программа может распечатать движение каждого пассажира от узла к узлу. Он также регистрирует местоположение каждого человека в каждый временной промежуток времени, так что выход может быть использован в качестве входных данных модели токсичности, таких как TENAB. TENAB вычисляет опасности, в которой каждый житель, которому подвергались помощью CFAST выход для продуктов сгорания и определяет, когда происходит потеря трудоспособности или смерть. Пользователь может подавить этот вывод и есть модель только распечатать резюме показывая время освобождения этажа, время освобождения лестницы и в последний раз был использован каждый выход и сколько люди использовали каждый выход.

Расчеты кратчайших маршрутов

Пользователь имеет возможность указать маршруты, по которым будут двигаться люди или использовать кратчайшие маршруты, рассчитанные с помощью модели. Самый короткий вариант маршрута будет подходящим способом моделирования эвакуации с хорошо обученным населением или с хорошо обученным ассистирующим персоналом, поскольку это переместит людей к ближайшему выходу.

Кратчайшие маршруты рассчитаны на каждом этаже, на каждом узле для лестниц или наружу. Алгоритм поиска кратчайшего маршрута, который использовался в том, что описано в работе [73], как самый короткий и простой из тех, кого они отзывы. Алгоритм начинается с определения происхождения сети, а затем болельщиков из начала координат, определения кратчайших маршрутов для всех других узлов, пока назначения не будет достигнута.

Адаптированный вариант алгоритма, используемого в модели описана ниже. Модель рассчитывает кратчайшие пути на каждом этаже в лестницах или снаружи или в других местах безопасности. Места безопасности может включать в себя горизонтальные выходы или которые находятся на другой стороне противопожарных дверей. Для того, чтобы модели, чтобы признать эти места безопасности, пользователь определяет их как часть входных данных Описание здания. Эти узлы называются промежуточными выходов (IES) в последующем обсуждении. Массив создается, который состоит из подключенного узла, который оккупанты в данном узле будет двигаться в эвакуации из здания. Например, если путь от узла 102 к внешней стороне проходит через узлы 104 и 107, то подключенный узел для 102 104, подключенный узел для 104 107, и подключенный узел для 107 является снаружи. Маршрут вниз каждой лестнице затем устанавливается путем определения подключенного узел для каждого лестницы узла, как тот, под ним.

Кратчайший путь подпрограмма начинается с определения всех значений IE на этаже здания. Эти узлы расположены в списке *решенных узлов*.

Этап 1 Определите все нерешенные узлы, подключенные к решенных узлов.

Этап 2 Для каждого из нерешенных узлов, определенных в шаге 1, вычислить расстояние между нерешенной узла и его подключенного решены узла(ов) и добавить, что расстояние от расстояния от решаемой узла к своим ближайшим IE.

Этап 3 нерешенной узел с кратчайшим расстоянием до IE добавляется в список решенных узлов, его подключенный узел является то, что решена узел и его расстояние до IE хранится.

Вернуться к этапу 1, пока все узлы не будут решены.

Это повторяется для каждого этажа.

Одно из преимуществ подхода, использованного в модели является то, что блокирование узла дымом требует только пересчет маршрутов на этом этаже, а не все маршруты по всему зданию. Если лестница узел блокируется огнем, маршруты на том этаже и этажом выше будут пересчитаны. Это вызывает оккупанты в лестнице на верхних этажах, чтобы выйти из лестнице, когда они достигают над заблокированного дымом узла.

Еще одно преимущество такого подхода заключается в том, что его более приближен местную перспективу пассажира в здании. Другие кратчайшие процедуры маршрут "видеть" все возможные маршруты к наружу, и поэтому они принимают решения на основе информации, не доступной с реальным человеком.

Пользователь также имеет возможность именования узла, с которым пассажиры будут двигаться от каждого узла в сети. Это часто наблюдается в реальных эвакуации, что люди следуют маршруту они лучше всего знакомы и эта опция позволяет пользователю моделировать это поведение. Это также позволяет пользователю моделировать ход наблюдается в эвакуации. Если этот вариант используется и узел блокируется дымом, маршруты на пораженной этаж(и) будут пересчитаны по кратчайшему маршруту подпрограмму.

Добавление дополнительного времени задержки

Дополнительные задержки могут быть назначены для отдельных лиц, по случайному распределению, выбранного пользователем. Эти задержки могут быть отнесены к любой пропорции и пассажиров в здании. Для равномерного распределения, пользователь устанавливает диапазон (минимальное и максимальное значения) для распределения. Для логнормального распределения, пользователь устанавливает среднее значение и стандартное отклонение распределения. Примеры с логнормальным распределения показаны ниже.

Расчет скорости движения

Выбор метода для модели использует скорость ходьбы, рассчитанные в зависимости от плотности на основе формул из работы [88]. Размер тела входит в своих расчетах плотности. Использование размеры людей (взрослых, молодежи и детей) в различных типах платье, как с пустыми руками и обременена пакетами, рюкзаками, багажом или детьми, они вычислили площадь горизонтальной проекции человека. Данное значение является площадью эллипса, оси которого соответствуют ширине человека на уровне плеч и ширины грудной клетки. Таблицы средних значений для разных возрастных групп и видов одежды даны в тексте. Их формула для плотности потока людей, D , представляют собой:

$$D = N / wL \text{ (м}^2/\text{м}^2\text{)} \quad (1)$$

где

N – количество людей в потоке;

f – площадь горизонтальной проекции человека;

w – ширина потока;

L – длина потока.

В их модели установлена максимальная плотность 0,92. Хотя в реальных ситуациях можно наблюдать более высокую плотность, 0,92 является максимальным значением, которое они использовали в эмпирических уравнениях для скорости движения. На основании своих наблюдений, зарегистрированных в тысячах ситуаций, они разработали следующие формулы для нормальных условий. Для средних значений скорости в зависимости от плотности для горизонтальных путей:

$$V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57 \text{ (м/мин)} \quad (2)$$

при $0 < D \leq 0,92$

При спуске по лестничной клетке:

$$V_l = Vm_l \text{ (м/мин)} \quad (3)$$

где

$$m_l = 0,775 + 0,44e^{-0,39D_l} \cdot \sin(5,61D_l - 0,224)$$

При подъеме по лестничной клетке:

$$V_l = Vm_l \text{ (м/мин)}$$

(D.4)

где

$$m_l = 0,785 + 0,09e^{3,45D_l} \cdot \sin 15,7D_l \text{ for } 0 < D_l < 0,6;$$

$$m_l = 0,785 - 0,10 \sin(7,85D_l + 1,57) \text{ for } 0,6 \leq D_l \leq 0,92.$$

В чрезвычайных ситуациях, таких как землетрясение или пожар, страх заставляет людей пытаются избежать опасности и повышает скорость движения при тех же значениях плотности. Предтеченский и Минский установили следующую связь между этими двумя значениями скорости:

$$V_e = \mu_e \cdot V \quad (5)$$

где

$$\mu_e = 1,49 - 0,36D \quad \text{при движении по горизонтальным путям и через проемы;}$$

$$\mu_e = 1,21 \quad \text{при спуске по лестничной клетке;}$$

$\mu_e = 1,26$

при подъеме по лестничной клетке.

Неоднократно вычисления скоростей с помощью этих формул для каждого пассажира в течение пожарного моделирования будет очень много времени. К счастью, таблицы скоростей по плотности были даны для нормальной, чрезвычайного и комфортного передвижения по горизонтальным путям, через отверстия и на лестнице. Модель позволяет пользователю выбрать между нормальных и аварийных скоростей.

Площадь горизонтальной проекции человека оценивается по советским данным являются $1,217 \text{ 3 фут}^2$ ($0,113 \text{ 0 м}^2$), средние размеры взрослого в середине сезона уличного платье. Пользователь может выбрать другие значения из измерений австрийских и американских подданных. Скорости рассчитаны для обоих сегментов дуги между двумя узлами, на основе различных плотностей и напольных зон для двух узлов. Если значение D больше, чем $0,92$ вычисляется, D устанавливается равным $0,92$. Значение рассчитывается для D используется для поиска скорости из таблиц. В таблице занимает скорости вдоль горизонтальных путей и вверх и вниз по лестнице.

Модель не моделирует движение людей сквозь дым ползком за счет снижения их скорости движения. Это может быть сделано путем опциона противоречие потока, описанный ниже, начиная с того момента, когда такие условия дыма происходит.

Данные размера тела

В труде Предтеченского и Милинского использованы размеры тела, рассчитанные на основе измерений советских подданных. Последующая работа, [89], с помощью австрийских подданных обнаружили значительные различия в результатах. Значение $0,113 \text{ 0 м}^2$, описанных выше сравнивает с австрийской результате для субъектов в возрасте от 10 лет и 15 лет без пальто. Значение для австрийских подданных в возрасте от 15 лет и 30 лет, одетых в пальто был $0,186 \text{ 2 м}^2$ и без пальто было $0,145 \text{ 8 м}^2$. Значение для взрослых старше 30 лет без пальто было $0,174 \text{ 0 м}^2$.

Таблица средней Внешние размеры представителя США трудящихся мужчин и женщин в возрасте от 18 лет и 45 лет была получена из *Профессиональной безопасности и здоровья в бизнесе и промышленности*. Из этой таблицы, были получены средние значения Ширина плеч ($0,455 \text{ м}$ для мужчин, $0,417 \text{ м}$ для женщин) и глубины грудной клетки ($0,231 \text{ м}$ для мужчин, $0,234 \text{ м}$ для женщин). Для того, чтобы добавить дополнительную часть одежды, таблица советским данным были проверены. Эта таблица включены значения для летнего платья, в середине сезона уличного платье, и зимой на улице платье. Значения увеличился на $0,02 \text{ м}$ между каждой категории одежды. Исходя из этого, то, что американские ценности для плеча широте и глубине груди были увеличены на $0,02 \text{ м}$. Для получения одного "американский" значение для горизонтальной проекции человека, средние значения для мужчин и женщин были усреднены. Полученное значение было $0,090 \text{ 6 м}^2$, намного меньше, чем рассчитанная для советских или австрийских подданных. Выбор между тремя наборами данных является вариантом вход установлен пользователем. Оценка результатов моделирования показали, что самые длинные, самые консервативные раз эвакуации под стесненных условиях может привести использование опции австрийской значение. Все три должны быть использованы для того, чтобы получить диапазон результатов для заданного набора данных.

Уровни дыма

Как упоминалось выше, существуют два способа обработки дыма. В первом, пользователь определяет, на каком узле и, когда произойдет закупорка вследствие дыма. Во втором, плотности дыма и глубины дыма слоев считываются из файла, созданного CFAST. Используя тот же метод, как EXITT [90] расчета психологическое воздействие дыма, S , формула (6) используется:

$$S = 2 \times OD \times D/H \quad (6)$$

где

OD – оптическая плотность дыма в верхнем слое;

D – глубина верхнего слоя;

H – высота потолка.

EXITT использует $S > 0,5$ остановить пассажира и $S > 0,4$ в качестве порога для предотвращения попадания в помещение, в обоих случаях, если нет достаточно чистый воздух в нижнем слое ползать. Так как эта модель пока не обрабатывать ползать, значение $S > 0,5$ используется для блокировки узла, который задерживает каждый данный момент на этом узле.

Сигналы тревоги дыма работает, когда $S \geq 0,015$ и глубина верхнего слоя больше, чем $0,5 \text{ фута}$ ($0,15 \text{ м}$). Модель в настоящее время предполагается, что уведомление о всех пассажиров происходит, когда уровни, необходимые для активации пожарная сигнализация достигаются в любом узле, и эвакуация начинается после любых заданных пользователем задержек. Уточнения программы, чтобы определить диапазон пожарной сигнализация и другие модификаторы правила, определяющие уведомления жильцов до сих пор не сделано.

Встречные потоки

При моделировании пожара ситуацию, часто слишком упрощенным предположить, что эвакуированные будут течь беспрепятственно вниз лестничных клетках. Персонал пожарной службы использует лестницу, чтобы получить доступ на верхние этажи и часто необходимо протянуть пожарные шланги вверх по лестничным клеткам, в то время как пассажиры покидают здание. В этих случаях важно, чтобы модель учитывала подобные встречные потоки.

При возникновении встречных потоков, пользователь должен определить в каких местах они будут происходить, и в какое время. Степень, в которой площадь узла сжимается также должна быть оценена пользователем. В простейших случаях, опция противопоказаны поток осуществляется в лестничных узлах порой оценивается для движения пожарной службы до лестничной клетки. И было бы разумно, чтобы уменьшить площадь лестничных клеток пространства, доступного для эвакуированных до не более чем 50 %.

Эта опция также может быть использован для моделирования других ситуаций, когда поток пассажиров через узел или серии узлов будет затруднен. Такие ситуации могут возникнуть, когда мусор разбросаны по возможности избежать Оккупанты беспорядок путь, замедляя пассажиров, или когда условия дыма может заставить пассажиров ползать. Эти ситуации будут рассматриваться так же, как противопоказания потоки (пользователь вводит во входном файле узлы, на которые влияет, времена, что эффект происходит, а также изменения в доступной области в этих узлах).

Перемещение людей

Когда пользователь выбирает кратчайший вариант маршрута, начальные коротких маршрутов по всему зданию рассчитываются до того, как данные дыма читаются дюйма. Где пользователь вводит место и время блокирования дымом, уведомление о начале эвакуации происходит в момент времени 0. Если пользователь использует данные CFAST, модель читает в данных дыма и определяет, где и когда завалы будет происходить и когда активация пожарная сигнализация будет происходить и эвакуация начнется.

Модель начинается с расчета, основанный на начальном распределении пассажиров, как долго это возьмет, чтобы путешествовать из каждой оккупированной узла его подключенного узла. Тогда для каждого пассажира, это выглядит, как долго, что пассажир был в этом узле и сколько времени это займет, чтобы пройти дугу. Если пассажир ждали достаточно долго, чтобы пройти через дугу, пассажир перемещается к следующему узлу, и время ожидания в этом узле установлен в 0. Время ожидания на самом деле части времени дуга обхода. Если есть еще пассажиры в здании, модель пересчитывает время, чтобы пересечь дуги на основе обновленных плотности в узлах.

Последовательность повторяется до тех пор пока не будет достигнуто время, когда узел блокируется дыма. В тот момент, пострадавших узел удаляется из сети, любые пассажиры на этом узле, учитываются как в ловушке, и кратчайшие маршруты пересчитываются для пострадавшего этажа (или этажах, если узел находится в лестнице). Люди движение не то возобновил до следующего блокировки или до все либо из или в ловушке.

Очередь обрабатывается уменьшенных скоростях пешеходных которые возникают в результате увеличения плотности, поскольку все больше пассажиров двигаться в комнату или лестницы. Программа не позволяет пассажирам выбрать менее переполненные маршруты. Они просто присоединиться к очереди в узлах по кратчайшему пути.

Разработка входных данных

Процесс преобразования информации о здании и его жильцах в входного файла программа может читать описан в данном подпункте. Входной формат файла описан в D.5. Список переменных программы можно найти в D.6. Выход дым от CFAST, если он используется, записывается в файл, который читается в рамках модели.

Первая строка в файле ввода является 72-символьный заголовок строки, которые пользователь может использовать для описания модели, которое выполняется. Следующие несколько строк позволяют пользователю выбрать из нескольких вариантов. Во-первых, пользователь указывает, измерения в входе, являются ли метрика или стандартный. Затем пользователь выбирает измерение размера тела, которые будут использоваться в расчетах плотности. Следующий вариант позволяет пользователю указать, следует ли пассажиры будут путешествовать в чрезвычайной ситуации или нормальных (медленнее) скоростей. Затем пользователь указывает, должна ли программа расчета кратчайших путей между узлами или же пользователь будет указав узел, на который жители будут двигаться от каждого узла. Затем пользователь указывает, будет ли данные CFAST (вариант 1) или будет ли пользовательские блокировки или нет завалы вообще (вариант 2). Следующий вариант позволяет пользователю указать, будет ли использоваться опция противопоказаны поток. Затем пользователь выбирает полную мощность, которая печатает каждый раз, когда кто-то переходит из одного пространства в другое, или краткий вывод. На следующей строке ввода, пользователь вводит номер лестниц существуют на плане этажа. И, наконец, в этом разделе, последний вариант означает, что пользователь является моделирование ли эвакуация вниз лестница или эвакуации моделирования снизу класса вверх по лестнице.

На следующих трех линий, пользователь указывает, является ли дополнительные время задержки следует случайным образом распределены среди пассажиров. Если да, то пользователь затем определяет для какой процент пассажиров появятся дополнительные задержки и были ли раз будет следовать униформу или логарифмическое нормальное распределение. Пользователь указывает диапазон времени (в секундах) эти задержки должны быть выбраны для равномерного распределения или среднего и стандартного отклонения для логнормального распределения.

Сеть здания

В следующем разделе входного потока имеет сетевой описание компоновки здания. Строительство здания сеть является самым сложным и трудоемким частью создания потока данных. Сеть представляет собой набор узлов, соединенных звеньев или дуг. Узлы представляют места в здании и ссылки представляют собой туристические дорожки вдоль сети. План здания требуется при построении сети.

Первый шаг должен решить, где узлы должны быть размещены. Не все места в здании должны быть включены, но области не включены, не считаются в эвакуации. Незанятые таких областях, как складские помещения, или пространств, через которые эвакуированные не пройдет, не нужно быть описано.

Как правило, каждый отсек представлен узел, хотя большие пространства должны быть представлены более чем одним узлом, когда Это позволит более реалистичное представление туристических путей без чрезмерного увеличения размера сети. Например, в гостинице, длинный коридор с несколькими номерами, открывающимися на него было бы больше, чем один узел, описывающий разделы коридоре. Здравый смысл является важным критерием в определении местоположения узла, но это также можно проверить целесообразность размещения с помощью данных из пожарных учений. Слишком много узлов излишне загромождать сеть и увеличить время выполнения программы. Слишком мало узлы может привести к нереалистичным проездных путей и потери детализации на выходе.

Обычно узлы расположены в центре места они описывают, однако в сложном план этажа, это может быть целесообразным разместить узел не в центре. Например, где коридоры пересекаются, хотя можно создать узел строго на перекрестке и имеют смежные секции коридор быть отдельные узлы, это также может иметь смысл создать коридор узел, который включает в себя пересечение и поместите "центр" в пересечение. Пока все туристические пути через этот узел будет проходить через этот «центр», путевые пути, рассчитанные будет реалистичным. (Это часто необходимо, если пользователь ограничивается максимальными 89 узлов, которые могут быть определены для пола). Узел также могут быть размещены в точке в пространстве дальше от следующему знаку, а если это будет обеспечить более консервативную оценку времени прохождения в пространстве.

Для лестниц, центр узла принимается в качестве посадки лестницы на уровне пола. Границы лестницы узла являются посадок на полпути к выше и на полпути вниз на этаж ниже этаже.

После того, как узлы были размещены в пространствах, которые они описывают, входной блок сеть могут быть разработаны. Имена узлов являются трех- или четырехзначные целые где первые одна или две цифры являются количество пол и две последние цифры однозначно пронумеровать пространства на том этаже. Числа от 90 до 99 зарезервированы для лестниц. Там может быть до 89 жилья пространства на каждом этаже. Места безопасности, в том числе за пределами здания, названы "000". (Когда пользователь моделирования путешествие вверх по лестнице, и самый короткий вариант маршрута выбран, самый высокий уровень пола обрабатывают при 1 этаж и другие этажи нумеруются последовательно движется вниз. При моделировании путешествие вверх по лестнице и, используя опцию направленный маршрут, модель не чувствителен к нумерации этаж).

Каждая дуга в сети описывается двумя соединенными узлами, расстояние от первого узла на открытие двух мест (так называемые XLNGS1), ширина открытия (так называемый RESWTH), и расстояние от проема до второй узел (так называемый XLNGS2).

Процедура вычисления этих расстояний состоит в следующем.

а) Узлы расположены в пространствах, которые они представляют.

б) Открытие является разделительной линией между двумя соединительными пространств. Между двумя отсеками, ширина раскрытия будет ширина дверного проема. В течение двух узлов вдоль коридора, ширина раскрытия будет ширина коридора. Если большой номер разделен на две или более пространств, ширина раскрытия является ширину комнаты вдоль невидимой линии, разделяющей эти пространства.

с) Для горизонтальных путей, длины двух отрезков дуг измеряются в прямых от узла к центру отверстия.

Следующий метод Предтеченского и Милинского должны быть использованы для вычисления пути на лестницах.

Для вычисления длины наклонной траектории, L ,

$$L = L' / \cos \alpha$$

где

L' – горизонтальная проекция длины наклонной траектории;

α – угол наклона к горизонту.

Поскольку большинство склонов составляют между 1:1,75 и 1:2, с углом между 30 ° и 32 °, значение $\cos \alpha$ составляет приблизительно 0,85.

При двухпролетных лестничных клетках:

$$L = 2L' / \cos \alpha + 4b$$

где

b – длина лестничной площадки (ширина пути).

При трех-пролетных лестницах,

$$L = L'(3 / \cos \alpha + 1) + 4b$$

Если наклон составляет менее 1:08, его можно считать горизонтальным.

При построении сети, решение должно быть принято относительно того, что ситуация должна быть смоделирована будет использовать только юридические или разрешено средства выхода, или если любые средства используются или могут быть использованы включен.

Описание ссылок могут быть добавлены к входной секции. Сайт может быть введен в любом порядке. Будь путешествия вдоль пути будет двунаправленным или односторонним, каждое звено следует вводить только один раз.

Описание ссылки вводится следующим образом:

INODE – узел исходящего направления;

XLNGS1 – расстояние от первого узла до центра отверстия;

RESWTH – ширина отверстия;

XLNGS2 – расстояние от центра отверстия во второй узел;

JNODE – узел входящего направления.

Конец этого отрезка входного файла указывается записью, показывая узла исходящего направления под названием 99999 со всеми связанными записями закодированными как нули.

Описание узлов

Вторая часть сетевого вход состоит из описаний узлов. Каждое описание включает имя узла, его полезная площадь, высоту потолка, количество людей, что пространство может вместить (пока не используется так любое значение может быть введено), число людей, на этом узле, когда начинается эвакуация, число людей в этом узле, которые являются инвалидами, флаг, который указывает, является ли узел является IE, количество времени пассажиров на этом узле будет задерживать эвакуацию (в секундах), а узел обитатели этой комнате поедет в если направленные маршруты используются вместо расчетных кратчайших маршрутов. Любой узел подключен к месту безопасности, любой узел не на первом этаже, который является частью лестницы, и первого этажа узлов, которые подключаются к внешней указаны, установив флаг IE, равный единице. В противном случае, флаг должен быть равен нулю.

Когда пользователь указывает, что один или более людей в нем находящихся в узле отключены, значение вводится, что указывает, по меньшей какой процент от расчетной скорости для трудоспособного лица инвалидом пассажиров будет путешествовать. Другой процент может быть введен для каждого человека. Описания узлов должны быть введены в порядке возрастания следующим образом:

N – узел описывается;

NAREA – полезная площадь в этом узле;

H – высота потолка в этом узле;

NCAP – способность узла;

NOCC – количество людей, там изначально;

HD – число людей с ограниченными возможностями;

IE – флаг;

EVACTM – время, которое жители этого узла приведет к задержке перед началом эвакуации;

ITO – узел вдоль направленного пути, что пассажиры будут двигаться к (опционально).

Должна быть одна запись для каждого узла, указанному в списке сетевых связей.

Если какие-либо обитатели узла описаны как инвалиды, линейный вход будут сопровождать описание узла дает процент "трудоспособного" скорость, что каждый инвалидов пассажиров поедет. До 15 пассажиров с ограниченными возможностями в этом узле может быть описана в каждой строке.

Введение блокирований узлов пользователем

Если распространение дыма файл из CFAST недоступен, пользователь может ввести дыма завалов. В этом случае в конце входных данных, пользователь вводит название заблокированного узла и время от начала эвакуации что произошло блокирование (в секундах). Больше чем один узел может быть заблокирован на время. Чтобы указать конец этой части ввода, пользователь должен ввести окончательный рекорд с 99999 для каждой записи.

Для моделирования эвакуации с не огонь, пользователь просто вводит эту последнюю запись.

Использование данных задымления из CFAST

CFAST ограничивается использованием гораздо меньший, чем сеть этой модели. Из-за этого, пользователь должен проявлять определенную осторожность в создании пробеги, так что выход из CFAST совместим с входного файла. Во-первых, шаг по времени используется в CFAST составляет 5 с, как эта модель не может в настоящее время интерполяции между его основным шагом по времени 5 с и другой, которая используется в CFAST. Пользователь также должен указать отображение, которое соответствует каждый CFAST

отсек к соответствующим строительным узлом этой модели. Так как эта модель требует только высоту потолка и полезной площади для определения физической структуры узла, а более подробная информация используется для определения CFAST отсека, это не должно быть проблемой.

Эта модель читает выходной CFAST файл, проверяя для каждой CFAST узла плотности дыма в верхнем слое и уровне верхнего слоя на каждом временном шаге для расчета с целью определения, для соответствующих узлов, время активации пожарной сигнализация и узел блокировки.

Введение воздействий встречных потоков

Этот вход раздел требуется, только если пользователь установил флаг в начале входного файла, чтобы указать, что произойдет противопоказания потоки. Противопоказания потоки имеют эффект снижения доступное пространство на полу для пассажиров, поэтому увеличения плотности и уменьшения скорости в поездке. Это обрабатывается способом, аналогичным к обработке вводится пользователем дыма засоров. Пользователь может определить, на основе предсказаний реагирования пожарной и происшествия сцены деятельности, раз(а) в каких местах вдоль путей эвакуации будет ограничено, а также степень, в которой места ограничены. Если маршруты открываются позже, когда встречный поток прекращается, узлы можно установить обратно в оригинальных местах.

Если пользователь имитирует противоречие поток, который ограничивает область узла на 50%, введенное значение для эффекта ограничения является 0,50. Если после некоторого периода времени препятствие исчезает, когда пользователь вводит значение 2,0 в то время, чтобы вызвать области узла для повышения обратно к исходному размеру.

Логический поток модели

В этом подразделе кратко описываются логика модели. Программа начинается с печати некоторые идентифицирующей информации, отображая параметры, выбранные пользователем и данными вероятностных, если таковые имеются, которые будут использоваться для расчета случайных времени задержки для пассажиров.

Список сетевых соединений читается в следующем. После каждое звено считывается в массив, где они хранятся, обратное направление вдоль линии хранится в массиве. Только ссылки на внешней, не восстанавливаются. Эти массивы затем сортируются в порядке узлов исходящего направления.

Описания узлов затем считываются. Массив местонахождений людей по временной интервал создается с помощью количество пассажиров на каждом узле. Массив раз, чтобы задержать эвакуацию также создается в это время. Если пользователь указал, что некоторые пассажиры в узле отключены, программа считывает в процентах от "трудоспособного" скорость, с которой каждый такой пассажир путешествует. Эти проценты этажный в массиве с именем SFR. Значение, сохраненное для трудоспособных жителей инициализируется при 1,0. Программа выводит личность и начальное расположение каждого нетрудоспособного пассажиром и стоимости SFR этого человека.

Если пользователь выбрал опцию случайного назначения дополнительных задержек в процентах от оккупантов, это будет сделано в следующем разделе. Затем программа выводит общее время задержки для каждого пассажира.

Если пользователь выбрал вариант иметь модель расчета кратчайшие маршруты, программа вычисляет кратчайшие пути на каждом этаже, чтобы лестницы или на улице, на основе описания сети, которое было зачитано джома Пути на лестницах затем установить. Поскольку все узлы в лестнице конец с теми же двумя цифрами, это подпрограмма просто ссылки, например, узел 398 к узлу 298 и узел 298 к узлу 198 для перемещения пассажиров вверх или вниз по лестнице.

Если пользователь вручную ввести местоположение и время дыма завалов, эти данные считываются и массив, который хранит условия в каждом узле в течение долгого времени обновляется для записи блокировку. Если данные считываются из CFAST, психологическое воздействие дыма рассчитывается для определения того, блокировка произошла. Когда это происходит, массив условий в каждом узле обновляется. Время, курить будет происходить восстановление сигнализации, также хранится в этом массиве. Если пользователь ввел задержку эвакуации для пассажиров этого узла, что вход будет изменена таким образом, что она представляет собой задержку после активации пожарной сигнализация.

Если пользователь определил, что будет происходить противопоказания потоки, следующий входной раздел содержит список пострадавших узлов, время, в которое они страдают, и изменение доступной области в этих узлов в те времена.

Заключительная часть обработки во входном сечении модели это подпрограмма, которая проверяет проездные пути как для пользовательского выхода и кратчайшие пути, чтобы убедиться, что все узлы достигают снаружи. Эта процедура определяет петли, которые предотвратили бы пассажиров от всегда достигать снаружи.

Эвакуация затем начинает. Программа проверяет массив уровней опасности во всем здании, пока не найдет место, где уровни дыма заблокировать узел. Затем программа не перемещает пассажиров, как описано в D.2.6 вдоль определенных расчетных или кратчайших до времени, когда узел будет заблокирован.

Затем программа удаляет из сети все узлы заблокированные в то время и пересчитывает кратчайшие маршруты на пораженные этажах. Затем программа проверяет наличие следующего временного интервала, когда узел блокируется, повторяя цикл, пока все пассажиры не сбежал или оказались в ловушке.

Если возникают встречные потоки в любое время во время моделирования, область пораженного(ых) узла(ов) будет изменяться в тот момент, основанный на ограничении эффекта, введенной пользователем.

Формат файла вводных данных

В данном подразделе описывается формат входного потока данных, в краткой форме. Он содержит FORTRAN форматы для используемого входа в версии мэйнфреймов, и информации о порядке, в котором должен быть введен входной. Процесс построения входной файл покрыта более подробно в теле этой части ISO 16730.

Описание вводных данных

Название запуска - карта 1 (A72)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	TITLE	Название запуска может появиться в любом месте в этих 72 символах.

Опции пользователя - карты со 2 по 10 (7(29X,I1,/),29X,I2,/29X,I1)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	IUNITS	Выбор используемых единиц измерения 1 – метрическая система 2 – стандартная система
2	ISIZE	Выбор данных размера тела 1 – австрийский (0,1458 м ²) 2 – советский (0,1130 м ²) 3 – Американский (0,0906 м ²)
3	ISPEED	Выбор скорости 1 – в чрезвычайной ситуации 2 – обычная
4	IOPT	Опция поиска маршрута выхода 1 – рассчитанные кратчайшие маршруты 2 – пути с заданным направлением, введенные пользователем
5	ISMK	Данные источника дыма 1 – исходящие данные CFAST 2 – установленные пользователем блокирования или отсутствие дыма
6	ICNTRA	Встречные потоки 1 – да 0 – нет
7	IFULL	Опция выходных данных 1 - полные выходные данные, показывающие каждое движение 2 – обобщенные выходные данные
8	HCTP	Количество лестниц в плане этажа (Указывается целым числом от 0 до 10)
9	IUPDN	Направление движения по лестнице 1 - вниз 2 - вверх

Дополнительные случайные задержки - карты с 10 по 13 (24X,I1,8X,I3,/43X,I1,/20X,F4.0, 18X,F4.0)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	IDLY	Опция 1 – да, назначить дополнительные задержки случайно 2 – нет назначать случайных задержек
2	IPROB	Вероятность задержки (то есть процент людей, которым будет назначено время дополнительной задержки)
3	IDIST	Указывает распределение в выборку из 1 – равномерного распределения 2 – логнормального распределения
4	PARA1	Минимальное значение для равномерного распределения или стандартного отклонения для логнормального распределения (в секундах)
5	PARA2	Максимальное значение для равномерного распределения или среднее значение для логнормального распределения (в секундах)

Характеристики сетевой ссылки - одна карта для каждой дуги (I5, 3F6.1, I5)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	INODE	Узел исходящего направления (использовать 9999999999 для обозначения конца списка)
2	XLNGS1	Расстояние от центра первого узла центра ограничения или открытие между узлами
3	RESWTH	Ширина ограничения или проема между узлами
4	XLNGS2	Расстояние от центра ограничения или проема между узлами до центра из второго узла
5	JNODE	Узел приходящего направления

Характеристики узлов – по одной карте на каждый узел (I5,F5.0,F6.1,4I5,F6.1,I5)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	N	Дается характеристика узла
2	AREA	Площадь узла
3	H	Высота потолка в узле
4	NCAP	Емкость узла (пока не используется, введите ничего)
5	NOCC	Количество людей в этом узле
6	ND	Количество людей с ограниченными возможностями в этом узле
7	IE	Показывает, что узел является промежуточным выходом (т.е. месте, например в качестве лестницы или узел перед выходом, что люди будут отправиться в выходе из здания) 1 – IE 0 – не IE
8	EVACTM	Продолжительность времени ожидания после уведомления, прежде чем люди в этом узле начнут эвакуацию
9	ITO	узел, к которому люди будут двигаться, если была выбрана опция с указанием маршрута

Описание людей с ограниченными возможностями – сразу следует любое описание узла, где ND ≠ 0. До 15 пассажиры с ограниченными возможностями в узле может быть введен в каждой строке. (15F5.2)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1-ND	FACTR	Процент скорости "здоровых людей", с которой каждый с ограниченными возможностями будет двигаться

Картирование узла - если ISMK = 1 - одна карта для каждого узла CFAST (2I5)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	CFASTND	Узел CFAST (ввести 9999 для обозначения конца этого раздела входных данных)
2	EXIT89ND	Соответствующий узел EXIT89

Блокирование дымом - если ISMK = 2 - одна карта для каждого блокирования (I5, F5.0)

<u>Поле</u>	<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
1	N	Узел, на котором блокирование происходит (ввести 9999 для обозначения конца этого раздела входных данных)
2	TIME	Время, при котором происходит блокирование

Встречные потоки - если ICNTRA = 1 - одна карта для каждого затронутой узла (I5, F5.0)

Поле	Переменная	Описание
1	N	Узел, на котором происходит встречные потоки (ввести 9999 для обозначения конца этого раздела входных данных)
2	TIME	Время, при котором происходит воздействие
3	EFFCT	Изменение размера области узла из-за наступления или прекращения противопоказаний потока (например, для уменьшения доступную площадь в два раза, ввести 0.50; вернуться доступную площадь обратно к исходному размеру, ввести 2.0)

Характеристика переменных программы

В данном подразделе приведены переменные для данной программы

Переменная	Описание
AREA (NBL)	Входная переменная. Общая площадь описываемого узла.
CFASTND	Узел CFAST для отображения в узле EXIT89.
CONTRA (NBL, NINC)	Этот массив содержит изменения в размер области узла для любого пораженного узла на каждом интервале времени.
DENSTY	Размер тела используются в расчетах плотности для скорости движения.
EFFCT	Изменение размера области узла из-за наступления или прекращения противопоказаний потока.
ENDDAT	Логическая переменная, указывающий, что конец файла данных была достигнута.
ETIME (NUMOCC)	1. В разделе приема, данный массив содержит время, что каждый пассажир будет отложить эвакуация после получения сообщения о пожаре. 2. Во время фазы движения людей программы, этот массив имеет продолжительность времени, что каждый пассажир был движущегося по пути от одного узла к другому.
EVACTM	Входная переменная. Время обитатели узла приведет к задержке перед началом эвакуации.
EXIT89ND	Узел EXIT89 сопоставлен с узлом CFAST.
FACTOR (I5)	Входная переменная. Когда пользователь указал, что некоторые пассажиры узла являются инвалидов, этот массив имеет проценты "трудоспособного" скорость, с которой каждый инвалидов пассажиров поедет. До 15 человек могут быть описаны в каждой строке.
FACTR	Эти данные хранятся в массиве с именем SFR(). Процент " трудоспособного " скорость, с которой каждый инвалидов пассажиров поедет.
FULL	Логическая переменная указывает, что пользователь выбрал полное печатной продукции.
H (NBL)	Входная переменная. Высота потолка в каждом узле.
ICNTRA	Входная переменная. Указывает, будут смоделированы встречные потоки (1) или нет (0).
ICONN (NBL)	Для каждого узла, узел подключен к нему по маршруту выхода. Либо рассчитывается по кратчайшему рутины маршрута или ввода пользователем.
IDIR (NBL+1)	Справочник для узлов в списке ссылок сети, JNODE().
IDIST	Тип распределения, согласно которому будет выбрано время задержки.
IDLY	Входная переменная. Указывает, будет ли или нет дополнительные задержки быть случайным назначен пассажиров.
IE (NBL)	Входная переменная. Для каждого узла, это флаг, который показывает, является ли, что узел является местом для пассажиров на том этаже. Его значение равно 1, если это, в противном случае он установлен равным 0.
IEND	Индекс для последнего узла на полу (используемой в кратчайший маршрут подпрограммы).
IFDIR (NFLR+1)	Каталог для размещения узлов для каждого этажа в пределах массива INDEX().
IFLAG (NFLR)	Этот массив показывает, является ли пол пуст (1 - пусто; 0 - занят).
IFLR	Этаж рассматривается кратчайшим путем подпрограммы.

IFLSTR (NSTR)	Этот массив показывает, является ли лестница пуст (1 - пусто; 0 - занято).
IFULL	Входная переменная. Указывает, хочет ли пользователь полную мощность (1) или сводную выход (2).
INC	Держатель для приращения, при которой событие произошло.
IND (NBL)	Этот массив указывает, является ли узел блокируется. 1 - заблокирован 0 – открыт
INEXT	Для расчета кратчайших маршрутов, эта переменная указывает, какой узел является первый узел на следующем этаже.
INODE (NLINK)	1. В входной секции, то от - узлы в сети. 2. После входной секции, первые NBL элементы имена узлов.
IOPT	Входная переменная. Указывает, желает ли пользователь программа для расчета кратчайшие пути (1) или входной воля узлы, к которым пассажиры будут путешествовать (2).
IPROB	Входная переменная. Указывает на процент пассажиров, для которых случайных задержек будет назначен.
ISIZE	Входная переменная. Показывает, какой источник данных размера тела пользователь хочет использовать (1 - австрийский, 2 - советский, 3 - американский).
ISMK	Входная переменная. Указывает, что либо данные дыма будет предоставляться с помощью CFAST не выходной файл (1) или, что пользователь будет входные дыма блокировки или не будет никакого дым (2).
ISPEED	Входная переменная. Указывает, следует ли скорости путешествия быть аварийный (1) или нормальный (2).
ISTRT	Индекс для первого узла на полу (используемой в кратчайший маршрут подпрограммы).
ITEMP	Фиктивная переменная используется для чтения через входной секции, когда слишком много сеть ссылки вводятся.
IUNITS	Входная переменная. Указывает измерения, являются ли метрика шкала (1) или нет (2).
IUPDN	Входная переменная. Указывает, является ли путешествие на лестнице будет вниз (1) или вверх (2).
J (NBL)	Используется в кратчайшем маршруте подпрограммы для обозначения, является ли узел "решенным".
JNODE (NLINK)	1. В входной секции, к- узлы в сети. 2. После ввода разделе, он держит список ссылок, индексированный по IDIR.
LENGTH (NBL)	Используется в кратчайший маршрут подпрограммы провести длину пути от каждого решена узел в ближайшей IE.

Переменная

Описание

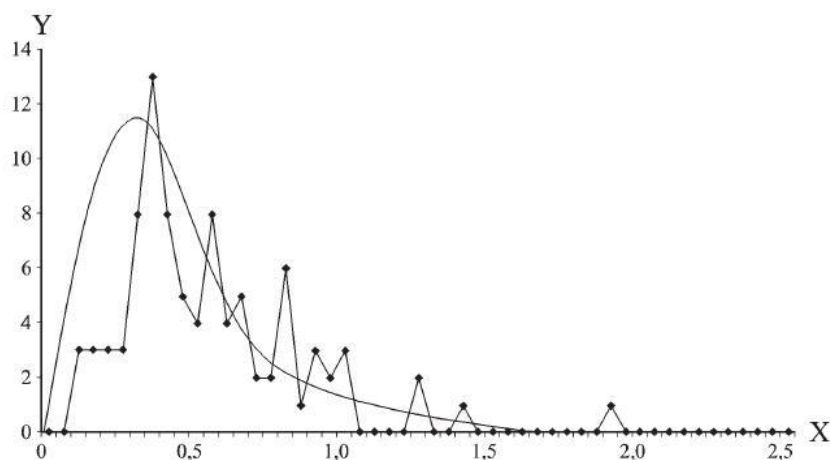
LEVHAZ (NBL, NINC)	Этот массив имеет степень опасности на каждом узле в каждом временном интервале. Он служит в качестве держателя для тех времен, когда условия дыма достичь уровня, что будет блокировать доступ к комнате (LEVHAZ = 4), или когда условия дыма достигнет уровня, что активирует пожарная сигнализация (LEVHAZ = 1).
MAXLNK	Максимальное количество ссылок в сети по заданным размерам массивы. Установите на начало программы.
MAXNBL	Максимальное количество узлов, доступных учитывая размеры массивов. Набор в начале программы.
MAXOCC	Максимальное количество пассажиров учитывая размеры массивов. Установите на начало программы.
METRIC	Логическая переменная используется для указания того, были ли метрических измерения используются во входных данных.
N	Счетчик используется в качестве индекса при чтении в список ссылок.
NAREA (NBL)	Входная переменная. Полезная площадь узла.
NBL	Число узлов или местх потенциала в сети. Рассчитано программы на основе входных данных.
NBL1	NBL + 1
NCAP (NBL)	Входная переменная. Емкость узла. (Еще не используется.)
NDISAB	Общее количество жильцов-инвалидов. Расчетное время входной секции.
NFLR	Количество этажей в здании. Рассчитано, когда каталог напольных узлов, IFDIR(), возводится.
NINC	Количество приращений времени, над которыми будет запустить симу-

NLINK	<p>ляцию. Установите на начало программы.</p> <p>Количество ссылок в сети. (Это будет меньше или равно удвоенному числу дуг, описанных в разделе ввода и будет рассчитываться по Программе.)</p>
NOCC (NBL)	Количество человек в узле.
NSTR	Входная переменная. Количество лестниц.
NTRAPT	Количество людей, запертых в здании дымом.
NUMOCC	Общее количество людей в здании, рассчитанное программой на основе входных данных.
OCCLOC (NUMOCC,NINC)	Местоположение каждого человека на каждом временном интервале.
PARA1	В разделе входных данных для назначения дополнительных время задержки, используется для минимального значения равномерного распределения или стандартного отклонения логнормального распределения (в секундах).
PARA2	В разделе входных данных для назначения дополнительных время задержки, используется для максимального значения равномерного распределения или среднем значении логнормального распределения (в секундах).
RESWTH (NLINK)	Входная переменная. Ширина зазора между узлами.
SFR (NUMOCC)	Этот массив содержит "фактор скорости" для каждого пассажира. Значение для каждого здорового человека инициализируется при 1,0. Значение для пассажиров с ограниченными физическими возможностями это входная переменная.
SMOKEDET	Время дыма, включите (определяется с выхода CFAST).
TABLE (92,3,2)	Таблица скоростей, рассчитанных методом Предтеченского и Милинского. Первый индекс рассчитывается плотность (от 1 до 92), второй показывает уровень пути перемещения (1 - горизонтальный, 2 - вниз по лестнице; 3 - вверх по лестнице), а третий указывает указанный пользователем скорость движения (1 - аварийный, 2 - нормально).
<u>Переменная</u>	<u>Описание</u>
TEXIT (2,NBL)	Этот массив хранит в первой колонке число людей, которые использовали каждый выход в первый и во второй колонке время, в которое последний человек прошли через этот выход. (Записи записываются только в массиве для узлов, которые имеют доступ местоположения безопасности.)
TFLR (NFLR)	Время, в которое каждый этаж был очищен.
TIME	1) В входной секции, время, за которое связан узел будет заблокирован дыма. Этот вход раздел используется, когда пользователь указав завалов, а не читать их из файла CFAST. 2) В входной секции, время, в которое связан узел будут затронуты в связи с началом или прекращением противопоказаний потоков.
TIMINT	Инкременты время, в которое прогресс пожара и/или эвакуации записываются. Установите на начало программы.
TIMRM (NBL)	Этот массив содержит, для каждого узла, времени это займет обитателей этой узел поездки в подключенном узла, учитывая плотность тока двумя узлами.
TITLE (18)	Входные величины. Название перспективе.
TRUN	Время работы эвакуации здания.
TSTR (10)	Время, в которое каждый лестница была очищена.
XLNGS1 (NLINK)	Входная переменная. Расстояние от центра первого узла по дуге с центром открытия между узлами.
XLNGS2 (NLINK)	Входная переменная. Расстояние от отверстия между двумя узлами на дуге к центр второго узла.
XMAX	Максимальное значение (в секундах) для равномерного распределения, из которого случайные задержки будет выбран раз для водителя и пассажиров.
XMIN	Минимальное значение (в секундах) для равномерного распределения, из которого случайные задержки будет выбран раз для водителя и пассажиров.

Пример логнормальных распределений

В данном подпункте приведены некоторые примеры логнормального распределения с тем чтобы помочь пользователю в определении распределения с соответствующим среднего и стандартного отклонения. Эти примеры являются только для иллюстрации и не предназначены в качестве рекомендуемых распределений.

На рис. ниже приведены экспериментальные результаты эвакуации розничном магазине с продуктовым отделе [91]. Наблюдаемые результаты были получены следовать логарифмическое нормальное распределение. Экспериментальные результаты и теоретическая кривая показаны на графике.

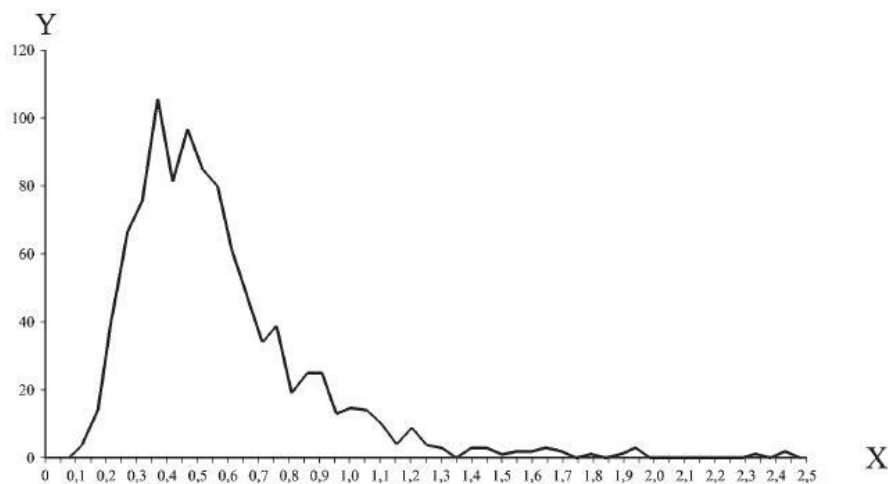


Ключевые обозначения:

X – время (мин), Y – частота

Рис. Экспериментальные и теоретические времена до движение в универмаге эвакуации

Использование логнормальное алгоритма включен в EXIT89, был сгенерирован распределение 1 000 случайных чисел со средним значением 0,54 и стандартным отклонением 0,31. Построенные Результаты показаны на рис ниже.

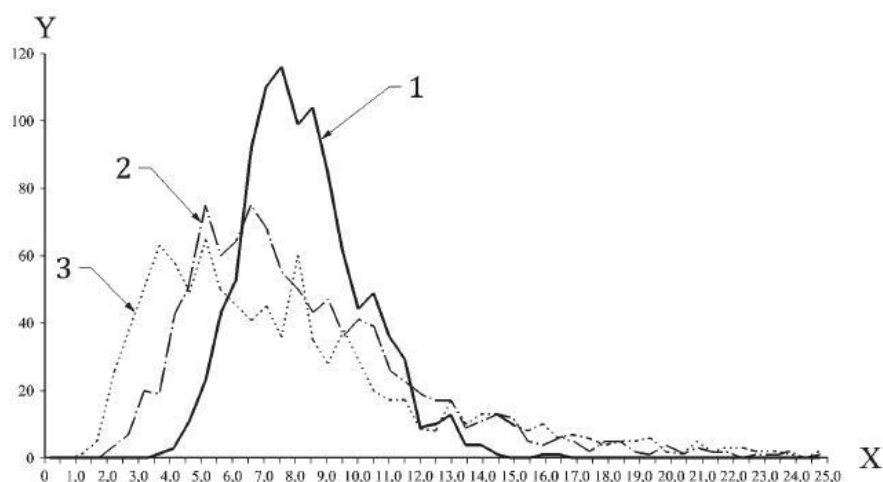


Ключевые обозначения:

Y – частота

Рис. Логнормальное распределение со средним значением 0,54 и стандартное отклонение 0,31

На рис ниже показаны три распределения со средним значением 8,0 и стандартными отклонениями 2,0, 4,0 и 6,0.



Ключевые обозначения:

Y – частота

1 стандартное отклонение = 2

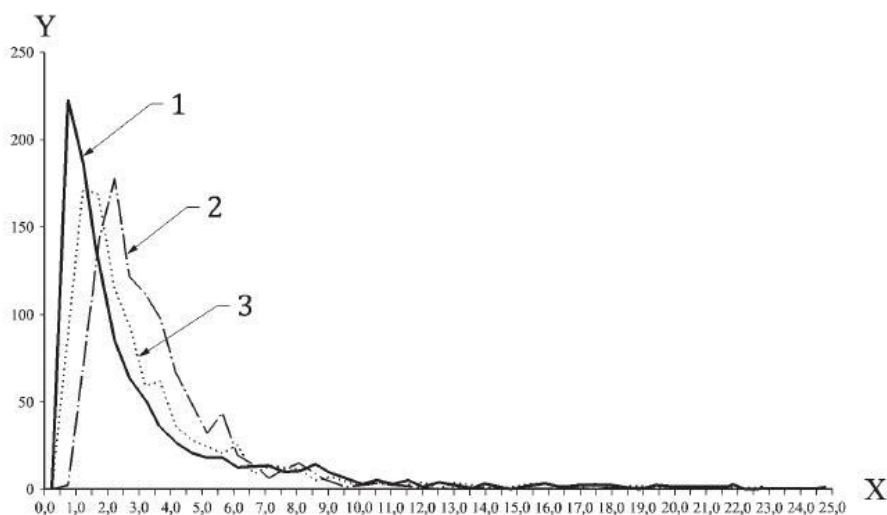
2 стандартное отклонение = 4

3 стандартное отклонение = 6

Рис. Пример среднего значения логнормального распределения = 8,0

Выбор стандартного отклонения оказывает заметное влияние на форму распределения. График не ясно показывают длину хвостов распределения. Распределение со стандартным отклонением в 2 варьировались от 3,43 до 16,33. Распределения стандартных отклонений 4 и 6 были диапазоны 1,58 до 37,34 и 0,76 до 52,23, соответственно.

На рис ниже показаны три распределения со средним значением 3,0 и стандартных отклонений 2,0, 4,0 и 6,0. Случайные числа, сгенерированные для распределения со стандартным отклонением 2,0 колебалась от 0,39 до 19,98. Для двух других распределений, диапазоны были 0,13 до 56,30 и 0,03 к 100,09, соответственно.



Ключевые обозначения:

Y – частота

1 стандартное отклонение = 6

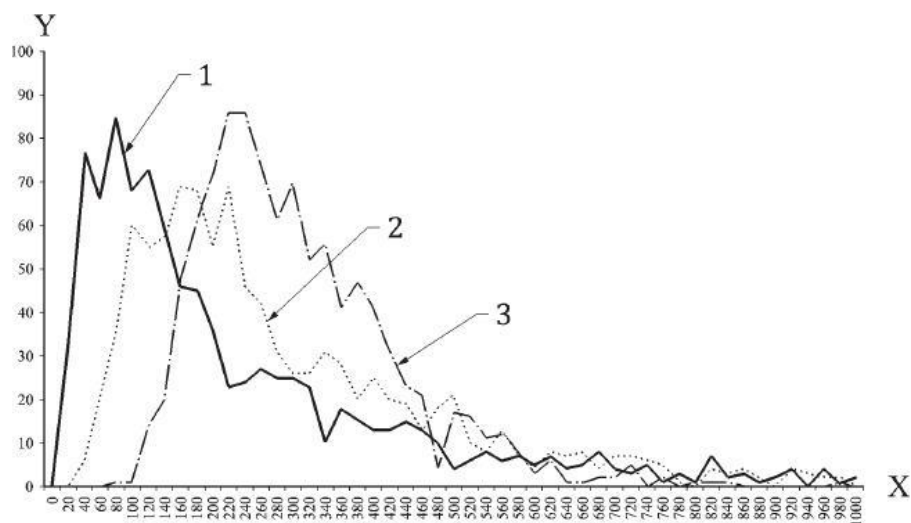
2 стандартное отклонение = 2

3 стандартное отклонение = 4

Рис. Пример среднего значения логнормального распределения = 3,0

Так как эта модель требует времени задержки, которые будут определены в секундах, рис. показать некоторые примеры распределения со средним значением времени 5 мин и 8 мин, показанных в секундах. Как и в предыдущих графиках, три стандартных отклонения отображаются для каждого среднего, чтобы показать влияние на распределение 1 000 случайно сгенерированных чисел. Для график, показывающий сред-

нее 5 мин, диапазоны для распределений с стандартных отклонений 2 мин, 4 мин, и 8 мин были 70 с до 16 мин, 24 сек до 37 мин и 6 с до 82 мин, соответственно. Тем не менее, хвосты на этих распределений могут быть довольно длинными. Значения на 95-й процентиль, например, были 9 мин, 12 мин и 17 мин, соответственно.



Ключевые обозначения:

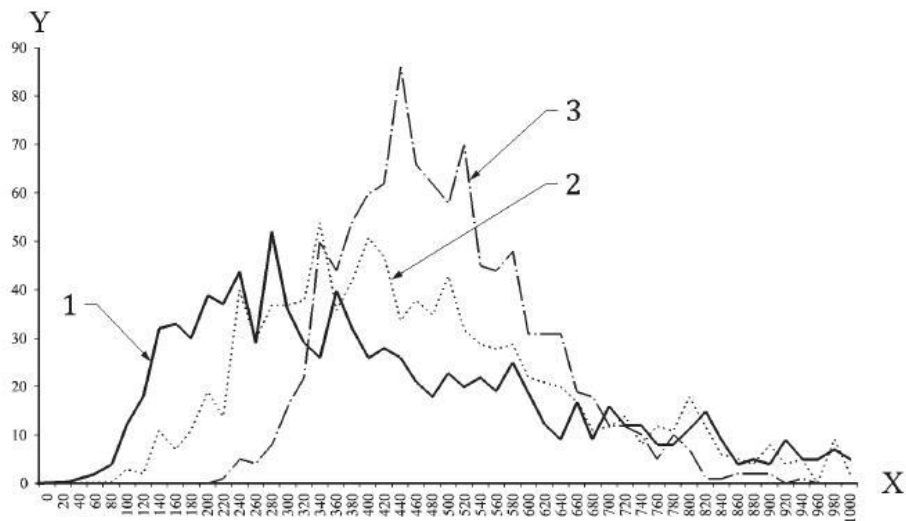
Y – частота

1 стандартное отклонение = 480

2 стандартное отклонение = 240

3 стандартное отклонение = 120

Рис. Пример среднего значения логнормального распределения = 300,0



Ключевые обозначения:

Y – частота

1 стандартное отклонение = 360

2 стандартное отклонение = 240

3 стандартное отклонение = 120

Рис. Пример среднего значения логнормального распределения = 480,0

Для рис., показывая среднее на 8 мин представлены диапазоны изменения для распределений с стандартными отклонениями 2 мин, 4 мин, и 6 мин были 3,6 с до 15,6 мин, 1,4 с до 41,4 мин, и 38 с до 65,8 мин, соответственно. Значения на 95-м перцентиле были 11,8 мин, 15,1 мин, и 19,1 мин, соответственно.

NIST 1822 Процесс верификации и валидации моделей эвакуации зданий при пожаре

Введение

Процесс верификации и валидации является ключевым фактором при оценке достоверности результатов, полученных путем создания моделей и определения соответствующих им областей применения. Модели эвакуации не являются исключением. Приводится следующее определение верификации: «это процесс определения того, что реализация метода расчета точно представляет концептуальное описание разработчика метода расчета и решение для метода расчета [Международная организация по стандартизации, 2008]. Данное определение является общепринятым в контексте пожарной безопасности инженерного сообщества и вспомогательных областях моделирования эвакуации [Международная организация по стандартизации, 2008].

Определение валидации в контексте моделирования несколько неоднозначно [Рикель, 1996]. Проверка определяется как «процесс определения степени, в которой метод расчета дает точное представление о реальном мире с точки зрения целей применения метода расчета» [Международной организацией по стандартизации, 2008]. Несколько вопросов может быть вызвано этого определения:

- Как мы можем судить, что инструмент достаточно точен (т.е. определение критериев приемлемости)?
- Сколько и какие испытания должны быть выполнены, чтобы оценить точность предсказаний модели?
- Кто должен выполнять эти испытания, т.е. разработчики модели, пользователи модели или третья сторона?

Эти вопросы не имеют простых ответов и оценка «действительность» моделей эвакуации является трудной задачей. Она требует, даже за очень небольшую область применения, надежных экспериментальных наборов данных, общий метод анализа прогнозирования в модели, и определения критериев приемлемости.

В то время как процесс проверки может быть сделано, используя набор гипотетических испытаний [Международной морской организации, 2007], проверочные испытания обычно зависят от наличия экспериментальных данных и последующих неопределенностей, связанных с ними. Две основные аспекты необходимо обсудить о проверке, то есть, область применения (например, сценарии эвакуации) и продолжительность действия. Лорд и др., [2005] провели работу, направленную на решение неопределенности и изменчивости в исходящих данных и моделирования. Они изучили источники и типы неопределенности в наборе моделей эвакуации, и они проверили свои возможности прогнозирования для различных сценариев. Тем не менее, они подчеркнули необходимость проведения дальнейших исследований по темам, заявив, что «проверка для одного приложения или сценария не означает проверку для различных сценариев» [Лорд и др., 2005]. Необходимость самоотверженные усилия проверки в отношении различных сценариев и эволюционирующие характеристики моделей также обсуждался Галея [1997], которые подчеркивает необходимость текущих усилий проверки для исходящих моделей как моделей и наше понимание человеческого поведения во время эвакуации достижений.

Имеющиеся данные для проверки моделей эвакуации ограничены [Аверилл и др., 2008]. Кроме того, есть не является общим стандартная процедура для выполнения верификации и валидации, специально предназначенные для построения моделей эвакуации. На сегодняшний день Международная организация по стандартизации представила документ [Международная организация по стандартизации, 2008] только с общей информацией по оценке и верификации и валидации расчетных методов в контексте пожарной техники безопасности.

Основной руководящие указания, что описал верификация и валидация моделей эвакуации в настоящее время обеспечивается Международной морской организации (ИМО), а именно MSC/Circ.1238 (Руководящие принципы для анализа эвакуации для новых и существующих пассажирских судов) [Международная морская организация, 2007]. Эти руководящие принципы описывают верификацию и валидацию морских инструментов эвакуации моделирования, но они часто используются для эвакуации тестирование моделей для других областей применения (например, здания, другие транспортные средства, и т.д.).

MSC/Circ.1238 перечисляет четыре основные формы испытаний, которые должны быть выполнены для моделей эвакуации, а именно: 1) тестирования компонентов, 2) функциональной проверки, 3) качественной проверки и 4) количественного контроля. В данной работе, иной срок, на основе определения включены в ISO 16730, используется, т.е. количественное подтверждение [Международная организация по стандартизации, 2008]. Проверка компонентов представляет собой процесс проверки, что компоненты модельной работы, как предполагалось. Функциональная проверка включает в себя анализ возможностей модели с точки зрения его способности выполнять намеченные моделирования. Качественный и количественный проверка (количественный проверка здесь) касается характера прогнозируемого поведения человека с информированных ожиданий. В то время как руководящие принципы обеспечивают информацию о методах, чтобы оценить первые три формы испытаний, они не предоставляют информацию о количественной проверке (т.е. сопоставления модельных предсказаний против надежных экспериментальных данных). В частности, они не исследуют неопределенность в модельных результатов, полученных, который связан с возможной изменчивости человеческого поведения в огне (часто в адрес и задается в виде стохастический подход).

Основной вопрос в том, что данные испытания предназначены специально для применений в морской сфере, по-прежнему требуется развитие верификации и валидации проверяет характерные для эвакуации зданий. Первоначальные попытки были сделаны, чтобы улучшить MSC/Circ.1238 и расширить их применение.

ние в различных контекстах, т. е. не только морской сфере. Во-первых, проект RIMEA [Майер-Кениг и др., 2007] рассмотрел MSC/Circ.1238 и предложил внести изменения в предстоящие испытания. Однако, изменения, предложенные в рамках проекта RIMEA, не включают проверочные испытания. Кроме того, пересмотренные испытания не включают в себя новые испытания по многим функциям, которые обычно доступны в моделях эвакуации зданий. Во-вторых, проект SAFEGUARD [Галея и др., 2012a, Галея и др., 2012b] был проведен в целях рассмотрения MSC/Circ.1238 и внесения предложений о возможных улучшениях. Однако улучшения по-прежнему сосредоточены на морской сфере и критерии приемлемости не могут быть пригодны для каждой модели или модели сценария.

Следствием этого является то, что, учитывая отсутствие международных стандартов на испытаниях и методов по оценке верификации и валидации моделей эвакуации зданий, разработчики моделей в настоящее время принимают несовместимые процедуры. Таким образом, предпринимаются усилия для разработки стандартной процедуры верификации и валидации моделей эвакуации, используемых для эвакуации зданий. Верификация и валидации моделей документации на основе стандартной процедуры будет помогать пользователям моделей при выборе модели. В настоящей работе, предложения предоставляются относительно методов и испытаний, которые могут быть использованы для оценки возможностей моделей. Определение стандартных испытаний и процедур верификации и валидации требует широкого обсуждения с участием всех сторон, состоящих в обществе по эвакуации (например, моделирующих эвакуацию, проводящих испытания, владельцев зданий, органы, обладающие юрисдикцией, и т.д.). Следовательно, настоящий документ скорее стремится открыть обсуждение, чем предоставить четкое руководство по данной теме.

Цели

Настоящий документ предлагает стандартную процедуру по верификации и валидации моделей эвакуации зданий. Общая область применения не предоставляет четкого руководства по проведению верификации и валидации для моделей эвакуации зданий. Настоящая работа вместо этого предназначена для того, чтобы открыть обсуждение по вопросам, связанным с верификацией и валидацией для моделей эвакуации зданий. В действительности существует необходимость разработать протокол валидации и критерии приемки, которые были бы приемлемы для всех заинтересованных сторон, а именно пользователей моделей, разработчиков моделей, регулирующих органов, и т.д. В этом контексте, настоящий документ был также подготовлен с целью внести свой вклад в продолжающиеся усилия, предпринятые Рабочей группой 7 ISO/TC92/SC4 в дальнейшей разработке документа ISO 16730 «Проектирование пожарной безопасности - оценка, верификация и валидация методов расчета» [Международная организация по стандартизации, 2008].

Первая цель настоящего документа заключается в рассмотрении основных процедур, испытаний и доступных методов в литературе для оценки верификации и валидации моделей эвакуации зданий (например, испытаний, представленных в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007]).

Второй целью является представить новый набор испытаний для проверки моделей эвакуации зданий и привести примеры наборов данных и методов для исследований по валидации. Некоторые из проверочных испытаний основаны на испытаниях, предусмотренных в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007]. Исследование возможностей моделей эвакуации зданий проводится путем анализа их пяти ключевых компонентов [Гвинн и др., 2012a], а именно: 1) время до начала эвакуации, 2) скорость движения, 3) использование выходов, 4) наличие маршрутов движения и 5) условия/ограничения потока.

Третья цель состоит в определении метода для исследования типа неопределенности, характерного для моделирования эвакуации (связанного с использованием распределений или случайных величин для моделирования поведения человека), здесь называемого поведенческой неопределенностью. Термин поведенческая неопределенность используется для выделения неопределенности, связанной с отсутствием в настоящее время знаний в области исследований эвакуации о некоторых из факторов, влияющих на поведение отдельных людей и групп населения [Рончи и другие, 2013c]. На сегодняшний день экспериментальные исследования эвакуации фактически не дают во всех случаях полного прогноза дисперсии, связанной с человеческим поведением. Термин неопределенность (вместо поведенческой дисперсии или поведенческой изменчивости) был выбран потому, что настоящий документ относится к эвакуации моделирования, предназначенного как инструмента получения характеристики поведения при эвакуации с учетом того, что некоторые аспекты системы точно не известны. Метод исследования поведенческой неопределенности в результатах модели эвакуации необходим для определения протокола валидации.

Ограничения

Определение стандартной процедуры для верификации и валидации моделей эвакуации здания сталкивается с рядом проблем. Первый вопрос, что эвакуация моделирование является относительно новой областью науки и возможностей моделей эвакуации быстро развиваются [Кулиговски и др., 2010]. Это нашло свое отражение в непрерывном развитии модельных особенностей. Существует, таким образом, трудность в разработке всеобъемлющей список испытаний, которые способны оценить их растущих возможностей.

Хотя определение исчерпывающего перечня проверочных испытаний для моделей эвакуации здания теоретически возможно (испытания могут быть определены для каждой модели эвакуации для того, чтобы оценить каждый внедренный суб-алгоритм), целый ряд различных вопросов снизить вероятность этом в практика. На сегодняшний день, поведенческие экспериментальные наборы данных не хватает, то есть, данные о поведении человека в строительных пожаров ограничены по количеству и качеству [Аверилл и

др., 2008]. Это способствует отсутствию в настоящее время в «надежной, всеобъемлющей и проверенной концептуальной модели поведения жильцов во время строительства пожаров» [Кулиговски, 2013]. Эта проблема влияет на возможности моделей эвакуации, которые могут быть на основе определяемых пользователем предположений, а не обеспечение предсказания человеческого поведения в огне.

Другой вопрос связан с определением критериев приемлемости в зависимости от контекста использования. На самом деле, отличается эвакуации модель использования могут потребоваться различные критерии приемки. Например, модели эвакуации могут быть использованы для судебно-медицинских анализов (реконструкция фактической эвакуации пожарной) или Расчет необходимой безопасной эвакуации времени (RSET), то есть, время, необходимое на обитателей зданий, чтобы достичь безопасного места [Гвинн и др., 2012].

Настоящий документ не следует рассматривать как четких указаний по поводу процедуры для выполнения верификации и валидации моделей эвакуации здания. Ее целью является вместо того, чтобы обсудить вопросы, связанные с определением протокола верификации и валидации для построения моделей эвакуации и обеспечить первоначальную помощь для моделирования разработчиков, пользователей и регуляторов на методах и испытаниях, которые могут быть использованы с учетом нынешнего состояния дел в современной пожарной эвакуации исследований.

Обзор

Настоящее техническое руководство состоит из пяти разделов. Уже представлены в разделе Введение было введение в проблему исследования, выявления потребности в стандартной процедуры для верификации и валидации строительства модели эвакуации, и проблем, связанных с этим процессом.

В разделе Справочная информация и предыдущая исследовательского, обсуждается соответствующая литература. Это включает в себя обзор испытаний, предусмотренных в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007], который часто считается ориентиром для верификации и валидации моделей эвакуации. Современные методы, принятые для анализа результатов эвакуации модели также отзывы.

Раздел Предлагаемые верификации и валидации испытания представляет новый набор рекомендуемых испытаний проверки и обсуждаются возможные примеры оценочных испытаний. Испытания были представлены в отношении пяти основных ключевых элементов, доступных в моделях эвакуации, а именно 1) время предварительного эвакуации, 2) движения и навигации, 3) использования выхода, 4) наличие маршрута и 5) условия потока/ограничений.

В разделе Неопределенности в эвакуации моделирования, вопросы, связанные с неопределенностью экспериментальных данных и результатов моделирования в контексте эвакуации исследований анализируются. В частности, неопределенность происходит от имитации человеческого поведения (поведенческая неопределенность) обсуждается и метод для изучения поведенческих неопределенности в эвакуации моделирования представлена .

Раздел Обсуждение протокола верификации и валидации обзор текущей литературы о протоколах верификации и валидации, занятых в эвакуации моделирования. В этом разделе также содержится анализ вопросов, связанных с определением критериев приемлемости.

Подготовка и предыдущие исследования

В этом разделе представлен обзор текущих испытаний, принятых для анализа прогнозируемых возможностей моделей эвакуации. В частности, здесь рассматриваются испытания, предусмотренные в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007], которые в настоящее время считаются испытаниями доступными для оценки возможностей моделей эвакуации.

В настоящей работе, анализ основных элементов и использования моделей эвакуации здания [Кулиговски и др., 2010, Рончи и Кинси, 2011] была использована для выявления испытаний, требуемых. Испытания делятся на две основные группы: 1) испытания по верификации и 2) испытания по валидации.

Для того, чтобы выполнить систематический обзор испытаний в настоящее время принятыми для верификации и валидации моделей эвакуации зданий, должны быть определены основные эксплуатационные поведенческие элементы, которые являются частью выходного анализа. Гвинн и др. [2012a] выявили пять основных элементов, а именно, 1) время предварительного эвакуации, 2) скорость движения, 3) использование выхода, 4) наличие и выбор маршрута, и 5) условия потока/препятствий. Эти элементы были выбраны в качестве тем для рассмотрения на верификации и валидации в этой статье, чтобы представить аспекты, которые могут быть решены в большинстве исходящих моделей (от гидравлических расчетов [Гвинн и Розенбаум, 2008] для инструментов моделирования [Кулиговски и др., 2010]). Подробная оценка здания пожарных возможностей эвакуации модели необходимо учитывать скорости движения в различных условиях (например, разный уровень заторов, дыма и т.д.). По этой причине, вторая скорость элемент Путешествия была переименована здесь как более общий движения и навигации.

Существует пять основных поведенческих элементов мер может сравниваться с идеальных случаях или экспериментальных данных при выполнении верификации и валидации. Идеальные (то есть, гипотетические) случаев определяются здесь как простых сценариев эвакуации, для которых ожидаемый результат могут быть получены с помощью простых математических формул или фактических данных, полученных от актуальным знаниям о человеческом поведении в огонь. Если предположить, что основной элемент проверяется проста, они могут быть использованы для оценки возможности модели. Например, идеальный случай

может быть использован на время одного агента, чтобы идти коридор с определенной скоростью минутах. Идеальном случае также могут быть использованы для выполнения изучения возникающих поведения, т.е. оценки суб- алгоритма, встроенного в модели. Например, идеальным испытанием может быть использован для качественно проанализировать влияние групповых поведения. Использование идеальных испытаний для изучения возникающих поведения внутри моделей здания пожарной эвакуации может быть вызвано отсутствием в настоящее время экспериментальной данных¹ (1 В настоящем документе термин экспериментальные данные (включая отработку мер эвакуации) используется так как реальные данные эвакуации не хватает, а они редко используются для целей проверки. Термин «реальные данные эвакуации» используется, когда речь идет фактических сценариев эвакуации (данные из тренировок эвакуации не включены в эту категорию).) подходящей для сравнения с модельными прогнозами. В тех случаях, идеальные случаи могут быть использованы для выполнения качественную оценку прогнозных возможностей моделей.

В идеале, количественный проверка из основных поведенческих компонентов всегда следует проводить с использованием экспериментальных данных (или реальные эвакуации). Эвакуационные экспериментальные данные включают наборы данных, полученных из нескольких типов данных, таких как лабораторных экспериментов (то есть, экспериментов, выполненных в контролируемой лаборатории), полевых экспериментов (то есть, экспериментов, выполненных в реальных условиях), или реальных данных эвакуации [Нилссон, 2009]. Степень контроля по экспериментов вместе с методами сбора данных может оказать существенное влияние неопределенность в результатах. Пригодность экспериментальных данных для выполнения аттестационных испытаний зависит от неопределенности данных (например, на основе фоновых условий, методы сбора данных, принятые и т.д.), в документации, поставляемой с экспериментальными наборов данных и их доступности для общественности. Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных следует, поэтому, рассматривать ограничения, связанные с экспериментами.

Другой аспект влияния на изучение результатов моделирования являются факторы, связанные с поведением человека. Современные методы (например, MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007]) не в полной мере исследовать воздействие использования распределения/случайных величин, используемых моделей эвакуации представлять поведение человека [Аверил, 2011]. В самом деле, один эксперимент или модель выполнения не может быть представителем полный спектр пассажира поведения. Таким образом, существует необходимость в разработке метода для выполнения сравнения между результатами моделирования и экспериментальными данными, который берет это во внимание.

В верификации и валидации, соображения также должны быть сделаны на методах моделирования, используемых моделей эвакуации для получения результатов эвакуации. Например, дополнительные требования/испытания могут быть необходимы в связи с типом сетки/структуры, используемой модели эвакуации. Модели эвакуации могут быть классифицированы в соответствии с тремя основными типами сетевых/структур [Кулиговский и др., 2010.]: Грубых, тонких и непрерывных сеток. Грубые сетки использовать абстрактный сеть узлов и дуг, чтобы представлять пространство. Изобразительные сетки представляют собой пространство в виде сетки ячеек. Непрерывные сети используют систему координат для представления пространства. Недавние исследования [Чураман, 2011] также внедрили новый тип сетки/структуры, а именно 4) гибридные модели, то есть два или более из предыдущих решетки/структур занятых одновременно в одной модели эвакуации.

Предполагается, сетка/структура модели может существенно влиять на результаты для некоторых конкретных ключевых элементов (например, особенно представлении 2) движения и навигации и 5) условия потока/ограничения [Лорд и др., 2005]). По этой причине, конкретные рекомендации по методам, чтобы выполнить испытания верификации и валидации должны быть сделаны для учета собственных различий между моделями.

Современное состояние верификации и валидации, испытания IMO

Случаи испытаний, представленные в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007] рассматриваются и обсуждаются в этом разделе с целью оценки их пригодности и предлагая улучшения для валидации и верификации моделей эвакуации здания (то есть, за пределами морского контексте). MSC/Circ.1238 включает в себя семь испытаний (IMO Испытания 1-7) по тестированию компонентов и четырех испытаний на качественной проверки (IMO Испытания 8-11). Также предоставляются рекомендации по методам, чтобы обеспечить функциональную проверку. В противоположность этому, MSC/Circ.1238 утверждает, что есть «недостаточно надежными экспериментальными данными, чтобы позволить полное количественное проверку исходящих моделей». Проект SAFEGUARD [Галеа и др., 2012a, Галеа и др., 2012b] недавно были проведены рекомендовать набор экспериментальных данных, которые будут добавлены в MSC/Circ.1238 и решать количественную проверку. Тем не менее, эти наборы данных относятся только к морской контексте, таким образом, не может обратиться в контексте строительства.

Изначально этот документ Отзывы IMO проверяет и предлагает возможные улучшения для их применения в зданиях. Значения, приведенные в каждом испытании также оценивали в отношении диапазона возможных экспериментальных значений, имеющихся в литературе эвакуации для каждой соответствующей переменной.

Испытаний IMO 1 верификация предназначена для тестирования беспрепятственные скорости ходьбы: «Один человек в коридоре шириной 2 м и 40 м в длину с пешеходной скоростью 1 м/с должна быть продемонстрирована, чтобы покрыть это расстояние за 40 с.»

Это испытание полезно для проверки, если модель способна представлять агента поддержанием заданные скорость с течением времени, так как это является важнейшим аспектом во время Расчет необходимой

безопасной эвакуации времени здания [Гвинн и др., 2012b]. Испытание представляет собой значение скорости ходьбы, которые могут быть представителем скорости ходьбы взрослого (1 м/с) и длиной коридора достаточной, чтобы проверить, если назначенный скорость агент хранится в течение долгого времени. Это испытание предназначено для анализа результатов детерминированного ввода (т.е. одного запуска модели). Использование распределений, идущих скоростях, возможно, потребуются анализ результатов нескольких серий в случае стохастических моделей.

Эффективность этого испытания может быть улучшена путем установки дополнительных предписаний по отношению к способу моделирования работают. Например - в случае крупных и мелких сетевых моделей результатов может зависеть от конфигурации сети, принятого, например, относительное вращение коридора по отношению к сетке в использовании [Ронки и др., 2013b]. Таким образом, испытание назначенного скорости должно быть завершено в сочетании с представлением геометрии. Испытание должен быть, следовательно, выполнена с использованием различных относительных вращений геометрии, если это возможно. Соображения также должен быть сделан на необходимости (или нет) выполнения этого испытания а с различными конфигурациями сетевых (например, размер ячейки по умолчанию и снижение/увеличение размера клеток), чтобы проверить чувствительность результатов к размеру ячейки. Господь и др. [2005] показали, что результаты тонкой модели сети может зависеть от типа сетки, используемой.

ИМО испытание 2 и ИМО Испытание 3 являются проверочные испытания, которые исследуют способность модели представлять движение ризлтор на лестнице:

«Один человек на лестницу шириной 2 м и длиной 10 м. измеряется по наклонной с прогулки скоростью 1 м/с должна быть продемонстрирована, чтобы покрыть это расстояние за 10 с.»

Эти проверочные испытания полезны для проверки, указанные скорости движения для людей, двигающихся вверх и вниз по лестнице. Значение скорости ходьбы представлены в испытании находится в верхней границе возможных экспериментальных скоростях ходить на лестнице [Павлин и др., 2012]. Эти испытания могут быть расширены путем добавления требования, чтобы проверить нетрадиционные проекты лестниц, которые могут быть доступны в зданиях (например, винтовые лестницы, изогнутые лестницы и т.д.). Кроме того, в этом случае, основная сетка используется необходимо учитывать, т.е. есть ли необходимость оценки влияния различных сеток на результаты, полученные в том числе представительства и вращения геометрии, типа сетки, размер ячейки и т.д. Испытание ИМО 4 является проверка Испытание направлен на анализ единую ставку выход потока:

«100 человек (р) в помещении размером 8 м на 5 м с выходом 1 м, расположенного по центру 5 м стены. Скорость потока в течение всего периода не должна превышать 1,33 P/S».

Испытание ИМО 4 является Испытание ом для проверки простую задачу потока двери. Признанся максимальный расход в Испытание е находится в соответствии с текущей эвакуация литературы [Гвинн и Розенбаума, 2008]. Расход моделируются в моделях эвакуации по-разному (как правило, либо на основе ограниченных максимальных расходов или быть порожденных предположений моделирования занятых). По этой причине, этот Испытание должен рассматриваться как часть тестирования компонентов, только если метод для представления расхода, используемые рассматриваемой модели основана на ограниченных потоков. Если потоки возникающих, предоставление максимальной скоростью потока могут быть предназначены как установление внешнего консервативной требования (т.е. в случае выходящего потоков без ограничений). Этот Испытание также может зависеть от типа используемого нижележащей сетки. Существует необходимость оценить, если существуют альтернативные испытания, которые могут быть пригодны для анализа задачи потока. Например, другой Испытание о расходе предложено в проекте RIMEA [Мейер Кoenig и др., 2007] на основе анализа сравнения результатов моделирования любого типа модели с основными схемами [Видман, 1993].

Испытание ИМО 5 представляет собой Испытание проверка для анализа времен предварительно эвакуации:

«Десять человек в помещении размером 8 м на 5 м с 1 м выхода, расположенного по центру 5 м стены. Накладывают время отклика следующим образом равномерно распределены в пределах от 10 с до 100 с. Убедитесь, что каждый пассажир начинает двигаться в надлежащее время».

Это полезный Испытание, чтобы проверить способность моделей эвакуации воспроизводить наложенные раз предварительно эвакуации. Выбор временного диапазона предварительно эвакуации является разумным, поскольку объем этого испытания является проверка задание распределения. Возможное улучшение испытания включает в себя рассмотрение распределений. Экспериментальные данные [Персер, 2001] показывают, в том, что оккупант раз предварительно эвакуации в здании в целом можно представить с помощью логнормального или нормально распределения. Это нашло свое отражение в моделях эвакуации, которые часто принимают эти типы распределений.

Испытание ИМО 6 является испытанием для проверки пассажиров успешно перемещаться по углу, то есть проверка границ моделируемой ситуации:

«Двадцать человек приближении к левом углу будет успешно ориентироваться углом, не проникая границы.» Данный Испытание предназначен для проверки, является ли модель способна правильно моделировать границы сценария, т. е., что эвакуированные не искусственно пересекают границы при повороте, особенно в переполненной среды. Нынешняя форма испытания не появилось ни одного требования о предполагаемой структуры агентов, то есть использования области углу по отношению к количеству агентов в сценарии. В дополнение к соответствующему моделирования ограничений, предусмотренных границе при перемещении агента, экспериментальные исследования показали, что пассажиры могут занимать только часть пространства, доступного в углу по отношению к различным условиям, например, использование простран-

ства могут быть затронуты наблюдаемых плотностей [Нильссона и Петерссона, 2008, Чжан и др., 2011]. Дополнительное испытание или модифицированная версия текущего испытания можно определить, чтобы исследовать этот вопрос. Испытание IMO 7 направлена на проверку правильности назначения параметров демографические:

«Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы в приложении к Руководству IMO [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов и распространять скорости ходьбы более населением 50 человек. Покажите, что распределенные скорости ходьбы согласуются с распределением указанных в таблице».

Этот Испытание призван проверить, что характеристики пассажиров согласуются с присвоенными значениями. Для того чтобы применить этот Испытание в контексте строительства, существует необходимость пересмотреть тип населения или характеристики, используемые в связи с различным типом среды (здания) в стадии рассмотрения.

Испытание IMO 8 является проверка Испытание о встречных потоков: «Два помещения шириной 10 м и длиной, связанные через коридор длиной 10 м и 2 м в ширину с началом и концом в центре одной стороне каждом помещении (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии). Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 100 человек. Шаг 1: Сто человек перемещать из помещения 1 в помещение 2, где начальное распределение таково, что пространство помещения 1 заполняется слева с максимально возможной плотностью. Время последний человек входит в помещение 2 записывается. Шаг 2: Шаг первый повторяется с дополнительным десяти, пятидесяти, и ста человек в 11 помещении 2. Эти люди должны иметь одинаковые характеристики для тех в помещение 1. Оба помещения отъезжать одновременно и время за последние лиц в помещении 1, чтобы войти Помещение 2 записывается. Ожидаемый результат в том, что время записи увеличивается с количеством лиц в увеличении против течения».

Этот Испытание полезен качественно проверить способность моделей для имитации встречный поток и его возможное влияние на время эвакуации. Также в этом случае, чтобы применить этот Испытание в контексте потенциала, существует необходимость пересмотреть тип население или характеристики по отношению к другим типом среды (здания) рассматриваемой. Дальнейшие испытания необходимы, чтобы включать анализ соотношений слияние, паттерны потоков производства, степень увеличения заторов и т.д. В целях обеспечения полной оценки возможностей моделей эвакуации здание, дополнительное испытание должны быть направлены на Испытание против потока на лестнице.

IMO Испытание 9 состоит из испытания толпы рассеивания от большого общественного номера:

«Общественное помещение с четырьмя выходами и 1000 человек, равномерно распределенных в номере (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии). Лица оставить через ближайших выходов. Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 1000 человек. Шаг 1: Запишите время последний человек выходит из помещения. Шаг 2: Закройте двери 1 и 2 и повторите шаг 1. Ожидаемый результат является приближенным удвоение времени, чтобы освободить помещение».

Испытание IMO 9 является проверка Испытание для качественного оценить способность моделей для имитации воздействия сокращению доступных выходов на результаты моделирования. Этот Испытание полезен для вычисления требуемой безопасной эвакуации времени в случае различного числа эвакуации конструкций. Характеристики населения должны быть пересмотрены с целью рассмотрения обитателей здания. Этот Испытание не оценить возможности прогнозирования моделей эвакуации с точки зрения использования выхода или возможностью присвоения агентов к определенным выходам. Например, этот Испытание может быть изменен, чтобы представить возможную потерю главного выхода во время пожарной безопасности инженерного анализа.

IMO Испытание 10 Испытание распределение выход по маршруту: Раздел кабина коридор «Построить (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии) заполняется, как указано с группой, состоящей из мужчин 30-50 лет из таблицы в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 23 человек. Люди в каютах 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, и 10 выделяются главный выход. Все остальные пассажиры выделяются вторичный выход. Ожидаемый результат в том, что выделенные пассажиры двигаться к соответствующим выходам».

IMO Испытание 10 направлена на проверку способности модели к воспроизводству выхода выбор в детерминированным образом. Например, этот испытания полезен для представления использования выхода учитывая потеря главного выхода во пожарной безопасности инженерного анализа. Также в этом случае тип население и характеристики должны быть пересмотрены, чтобы быть представителем зданий. Дополнительные испытания по размещению выхода могут быть разработаны для того, чтобы учитывать и другие факторы, которые могут повлиять использование маршрут/выход выбор, например, при наличии дыма [Рончи и др., 2013а], присутствие образом ознакомительных установок [Нильссон, 2009], социальное влияние [Нильссон и Йоханссон, 2009], принадлежность [Сайм, 1984] и др.

Испытание IMO 11 испытание направлен на проверки сдерживает потока в лестнице:

«Построить номер, подключенный к лестнице через коридор (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии) заполняется, как указано с группой, состоящей из мужчин 30-50 лет из таблицы в приложении к Руководству [Международная морская организация, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 150 человек. Ожидаемый результат в том, что скопление появляется на выходе из помещения, которое производит постоянный поток в коридоре с образованием заторов в основании лестницы».

Этот испытание полезно для проверки возможности моделей эвакуации с точки зрения воспроизведения заторы. Одним из ограничений является то, что испытание только качественный и не количественно форму и размер скопления. Население должно быть изменено, чтобы быть представителем строительных эвакуации. Испытание, включая движения наверху не может быть представителем ожидаемых сценариев в эвакуации исследования здание пожарной, где пассажиры обычно движутся вниз. Таким образом, это испытание может быть изменено, чтобы включить движение вниз.

Настоящий анализ испытаний ИМО обсуждает их применимость в контексте строительства. Анализ показал, что испытания ИМО может стать отправной точкой для оценки возможностей моделей здание пожарной эвакуации. Тем не менее, они не охватывают все функции, включенные в эвакуации моделей для создания приложений, и они предназначены для проверки населения, которые являются специфическими для морской контексте. Это в отличие от их текущего использования для верификации моделей эвакуации в контексте строительства. По этой причине, в следующем разделе представлен набор новых испытаний, которые в основном основываются на испытаниях ИМО, но они представляют изменения, с тем, чтобы расширить их применение в зданиях.

Рассматриваемые испытания по верификации и валидации

В предыдущем разделе был представлен обзор испытаний, предложенных в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007] с целью подчеркнуть и рассмотреть ограничения. В настоящем разделе расширен и изменен список испытаний, представленных с целью расширения области их применения к эвакуации зданий. Представлен набор предлагаемых проверочных испытаний (раздел 3.1). Далее приведен ряд примеров возможных валидационных испытаний (раздел 3.2).

Испытания по верификации либо основаны на испытаниях, представленных в MSC/Circ.1238 [Международной морской организации, 2007], либо являются новыми разработками испытаний авторов настоящего документа. Выбор дополнительных испытаний сделан для того, чтобы включить в функции, перечисленные в обзоре моделей эвакуации здания по Кулиговски и др. [2010]. Обзор включает в себя следующие возможности: 1) противоток, 2) блокирование выхода, 3) условия пожара, влияющие на поведение, 4) токсичность, 5) группы, 6) с ограниченными физическими возможностями/ маломобильные группы, 7) задержки/время до начала эвакуации, 8) использование лифтов, 9) выбор маршрута. Дополнительные испытания рассматриваются, если выявлены критические факторы, которые могут существенно повлиять на RSET.

Испытания разделены на пять частей: 1) Геометрия: конфигурация испытания, 2) Сценарий(и): сценарий эвакуации, который будет смоделирован, 3) Ожидаемый результат: предполагаемый результат модель эвакуации (качественный или количественный), и 4) Метод испытания: качественный (например, визуализация представленного поведения), либо количественный (например, сравнение времени эвакуации, потоков и т.д.) метод, используемый для сравнения между ожидаемым результатом и смоделированным результатом, 5) Действия пользователя: действия, которые необходимо произвести при выполнении и представлении испытания.

Необходимо также отметить, что различные модели могут требовать различных методов испытаний для анализа их результатов в отношении входных переменных, необходимых для их калибровки. Калибровка здесь представлена как совокупность действий, необходимых для разработчиков/пользователей моделей, чтобы настроить модель перед использованием. Испытующий модель обязан перечислять действия пользователя во время калибровки входных данных ожидаемых во время выполнения тестов. Например, модели, использующие определенное заданное пользователем ожидаемое поведение (например, людей двигаться в направлении назначенного пользователем выхода) может быть проверена выполнения только количественные верификационные испытаний, то есть никакие исследования по валидации не могут быть проведены. С другой стороны, модели, включая субмодели прогнозирования, могут быть проверены с использованием как количественных и качественных испытаний по валидации.

Испытания по верификации

В данном разделе представлены испытания, предложенные для верификации моделей эвакуации. Испытания проводятся использованием пяти основных компонентов моделей эвакуации [Гвинн и др., 2012а], а именно: 1) время до начала эвакуации, 2) движение и навигация, 3) использование выходов, 4) наличие маршрута и 5) условия/ограничения потока; то есть они являются элементами модели, необходимой для самой элементарной представления сценария. Они являются идеальными (гипотетическими) испытаниями, которые предназначены для анализа основных характеристик текущих моделей эвакуации. Некоторые испытания основаны на MSC/Circ.1238 [Международной морской организации, 2007]. Испытания делятся на две категории. Первая категория называется аналитической проверкой (AN_VERIF), и это относится к испытывать, где ожидаемые результаты могут быть получены с помощью простых математических формул или

свидетельств. Вторая категория это проверка экстренных поведения (EB_VERIF), который относится к проверке способности моделей эвакуации качественно производить результаты, которые отражают текущие знания о поведении человека при пожаре. В настоящей работе, эта вторая категория испытания намеренно не обозначена как валидация. По той причине, что эти испытания оценивают, соответствуют ли результаты модели текущим поведенческим теориям, а не делают прямо количественного использования экспериментальных (или реальных) данных эвакуации.

Необходимо отметить, что не все испытания могут быть проведены для всех моделей, доступных учитывая различные функциональные возможности, доступные в моделях. Термин "осцирант" используется для обозначения общего модельного агента, основной физическими характеристиками являются скорость и размер тела. Модели эвакуации обычно характеризуют пол как следствие предполагаемых размеров тела и скорости ходьбе, а не с точки зрения возможных различий в поведении. По этой причине, гендерный из пассажиров прямо не упоминается в тестах.

В таблице представлены предлагаемые испытания в отношении рассматриваемых основных компонентов и субэлементов.

Таблица. Предлагаемые испытания по верификации для моделей эвакуации

Основной компонент	Субэлемент	Рекомендуемые испытания	Код испытания	Тип испытания
1	Распределение времени до начала эвакуации	Измененное испытание 5 IMO	Вериф.1.1	AN VERIF
2	Скорость движения в коридорах	Испытание 1 IMO	Вериф.2.1	AN VERIF
	Скорость движения на лестницах	Испытание 1 и 3 IMO (при необходимости)	Вериф.2.2	AN VERIF
	Движение на углах	Испытание 6 IMO	Вериф.2.3	AN VERIF
	Присвоенные демографические данные	Измененное испытание 7 IMO	Вериф.2.4	AN VERIF
	Ограниченная видимость в соотношении со скоростью ходьбы	Новое испытание	Вериф.2.5	AN VERIF
	Дееспособность людей	Новое испытание	Вериф.2.6	AN VERIF
	Использование лифтов	Новое испытание	Вериф.2.7	AN VERIF
	Горизонтальные встречные потоки (помещения)	Измененное испытание 8 IMO	Вериф.2.8	EB VERIF
	Поведение групп людей	Новое испытание	Вериф.2.9	EB VERIF
	Маломобильные группы	Новое испытание	Вериф.2.10	EB VERIF
	Распределение выхода маршрута	Измененное испытание 10 IMO	Вериф.3.1	AN VERIF
3	Социальные факторы	Новое испытание	Вериф.3.2	EB VERIF
	Присоединение	Новое испытание	Вериф.3.3	EB VERIF
4	Динамика доступности выхода	Новое испытание	Вериф.4.1	AN VERIF
5	Скопление людей	Измененное испытание 11 IMO	Вериф.5.1	EB VERIF
	Максимальная скорость потока	Испытание 4 IMO	Вериф.5.2	EB VERIF

Рекомендуемые методы испытаний, используемые для верификации моделей эвакуации, состоят из: 1) Количественной оценки результатов модели. Эта оценка обычно выражается как процентная доля различий между ожидаемыми результатами и результатами моделирования. 2) Качественной оценки результатов модели. Этот метод испытания основан на качественных наблюдениях ожидаемого поведения. Эта оценка рассматривается на основе сравнения результатов эвакуации (часто выполняемых посредством наблюдения за результатами визуализации модели или численными результатами) и ожидаемого поведения, основанного на текущей поведенческой теории.

Рекомендуется, чтобы результаты испытаний были связаны с подробной документацией предположений моделирования, используемых для проведения испытаний. В частности, описание характеристик суб-

алгоритма (ов)/субмодели (ей) в использовании позволит понять возможности и ограничения модели (например, выполняет ли модель определенное испытание и каким образом).

Время до начала эвакуации

Время до начала эвакуации – это время, необходимое эвакуируемым, чтобы начать движение к месту безопасности [Гвинн и др., 2012а]. Один простой тест (Вериф.1.1.) Предлагается проверить способность моделей эвакуации назначить распределения времени до эвакуации находящихся на борту людей.

Вериф.1.1. Распределения времени до начала эвакуации

Этот тест имеет дело с представлением раза до эвакуации в моделях эвакуации. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 5 от MSC/Circ.1238.

Геометрия

Помещение размером 8 м на 5 м с выходом 1 м.

Сценарий

Десять человек случайно находится в помещении. Проверьте типы распределений, используемых в модели эвакуации представлять раз предварительно эвакуации. Наложите предварительно определенное распределение (например, равномерное, нормальное, логарифмически нормальное, и т.д.) раз предварительно эвакуации в соответствии с распределениями входных предусмотренных в рамках модели эвакуации. Повторите тест для каждого распределения времени предварительной эвакуации встроенного в модели.

Ожидаемый результат

Убедитесь, что каждый пассажир начинает двигаться в соответствующее время, и что ответах падения численности населения в пределах указанного диапазона.

Метод испытания

Данный метод испытания является количественной проверка присвоения модели выражается через время предварительного эвакуации. В зависимости от типа распределения рассматриваемой модели Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод для оценки различий между моделируемых и назначенных распределений.

Порядок действий пользователя

Следует отметить, что этот тест следует повторить несколько раз (например, несколько пробегов тому же сценарию должно быть сделано), чтобы проверить моделирование ожидаемых временных распределений предварительно эвакуации на нескольких запусках² (2) Следует отметить, что требования к количеству трасс может варьироваться в разных распределений. Различные тесты могут быть использованы, чтобы продемонстрировать, что значения относятся к определенным распределений. Модель Специалист по проведению испытаний могут продемонстрировать это с помощью соответствующего теста по отношению к распределению (ы) рассматриваемой.).

Движение и навигация

В общей сложности десять испытаний, предложенных для проверки этой основной элемент. Семь Тесты направлены на аналитической верификации моделей (AN_VERIF), и три теста проверить представление возникающих поведения (EB_VERIF). Первые два испытания решения моделирование назначенных скоростях ходить в коридоре (Вериф.2.1) и вверх или вниз лестница (Вериф.2.2). Вериф.2.3 тест о пассажиров навигации по углу. Тест (Вериф.2.4) предлагается для назначения жилья демографии. Вериф.2.5 расследует моделирования горизонтальных встречных потоков. Новые испытания предложены для проверки воздействия дыма на пассажиров скорости ходьбы (Вериф.2.6) и моделирования трудоспособности (Вериф.2.7). Тест проверка (Вериф.2.8) этой основной поведенческий компонент имеет дело с моделированием лифтов. Последние два теста имеет дело с анализом возникающих поведения групп (Вериф.2.9) и людей с ограниченными возможностями передвижения (Вериф.2.10). Эти тесты были выбраны для того, чтобы включать в себя большинство движения и навигационные функции, перечисленных в обзоре моделей эвакуации здания по Кулиговски и др. [2010].

Вериф.2.1. Скорость движения в коридорах

Тест предлагается проверить моделирование пассажира поддержания назначенного скорость ходьбы в течение долгого времени. Тест основан на тесте IMO 1 из принципов ИМО.

Геометрия

Коридор 2 м в ширину и 40 м в длину.

Сценарий

Один пассажир с назначенной скоростью ходьбы от 1 м/сек ходьбе по коридору.

Ожидаемый результат

Житель должен преодолеть дистанцию в коридоре в 40 с.

Метод испытания

Метод испытания является количественной проверки результатов моделирования, т.е. разница между ожидаемым результатом и результатов моделирования.

Порядок действий пользователя

Эффективность этого испытания может быть улучшена путем установки дополнительных предписаний в отношении типа рассматриваемой модели. Например, в случае моделей, которые используют грубой и тонкой сетки, результаты могут зависеть от конфигурации сети, принятой. В случае моделей с использованием мелкой сетки, результаты могут зависеть от поворота коридора по отношению к сетке в использовании [Ронки и др., 2013b]. Тест должен, следовательно, быть выполнен с использованием по меньшей мере двух различных вращений геометрии (например, 0 и 45 градусами). Соображения также должны быть сделаны на необходимости (или нет), чтобы выполнить этот тест с различными конфигурациями сетевых (например, имитирующих размер ячейки по умолчанию и набор как пониженной и повышенной размеры клеток) для того, чтобы проверить чувствительность результатов к размеру ячейки.

Вериф.2.2. Скорость движения на лестницах

Набор проверочных испытаний необходимо проверить движение людей вверх и вниз по лестнице. Предлагаемый тест (ы) является (являются) на основе принципов IMO. IMO тест 2 и IMO Тест 3 два проверочные тесты о поддержании скорости набор ходьбе вверх или вниз по лестнице.

Геометрия

Лестница 2 м в ширину и длиной 100 м, измеренной вдоль наклонной поверхности.

Сценарий

Один пассажир с пешеходной скоростью 1 м/с (вверх или вниз) идет по лестнице.

Ожидаемый результат

Житель ожидается, чтобы покрыть расстояние в 100 с (вверх или вниз).метод испытания

Метод испытания является количественной проверки результатов моделирования, т.е. разница между ожидаемым результатом и результатов моделирования.

Действия пользователя

IMO Тест 2 и IMO Тест 3 изучить и тот же компонент. Модели эвакуации может использовать тот же вход, чтобы изменить движение людей в лестнице (вверх или вниз движения). Например, пользователь определяет коэффициент скорости (либо вручную, либо установкой определенных параметров, таких как лестницы протектора и ширине). Это может быть возможно выполнить только один из этих двух тестов, если модели используют те же основные функции, чтобы имитировать движение вверх и вниз (то есть два теста может стать ненужным, если входной использованы в модели то же самое). Требование для проверки нетрадиционные проекты лестниц могут быть добавлены для того, чтобы расширить сферу применения моделей эвакуации здание тех сценариев (например, винтовые лестницы, изогнутые лестницы и т.д.). Следует также отметить, что существующие модели обычно не разрешает непосредственное представление влияния усталости при ходьбе скорости на лестнице. После того, как эта возможность реализована в моделях, соответствующих проверка теста необходимо будет разработать. Также в этом тесте, Специалист по проведению испытаний должен показать, в случае сетевых моделей (грубого или тонкого помола сети), чувствительности результатов моделирования к сети, используемой и оценить, если вращение геометрии может оказать влияние на результаты.

Вериф.2.3. Движение на углах

Одно испытание предлагается проверить, является ли модель способна правильно моделировать границы сценария. Тест IMO 6 является ориентиром для этого теста, то есть тест, чтобы убедиться, что пассажиры успешно перемещаться по углу.

Геометрия

Угол представлен в соответствии с рис.



Рис. Геометрическая планировка Вериф.2.3 Испытание IMO Тест 6
[Международная морская организация, 2007].

Сценарий

Двадцать человек равномерно распределены в одном конце коридора (в пространстве, измеренной 2 м на 4 м). У них есть непосредственные время отклика и пешеходную скорость 1 м/с.

Ожидаемый результат

Люди, как ожидается, успешно ориентироваться углом, не выходя за границы.

Метод испытания

Метод испытания является качественным проверка движения пассажиров. Качественный анализ проводится путем наблюдения путь путешествия шел occupants. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели или отслеживания координат путей агентов.

Действия пользователя

Необходимо отметить, что текущий тест движения вокруг угла предназначена только в качестве проверки на границах имеющихся в сценарии, то есть никакой оценки предполагаемой структуры в углу выполнения (т.е. текущий тест не проверка выходящего поведения). Когда литература по человеческого поведения в огонь способен обеспечить детальное понимание ожидаемых моделей движения людей, модели Специалист по проведению испытаний ов нужно будет включить это в тесте.

Вериф.2.4. Присвоенные демографические данные

Тест предлагается проверить способность модели для назначения демографические параметры популяции. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 7.

Геометрия

Квадрат комната размером 100 м на 100 м.

Сценарий

Выберите подгруппу, состоящую из населения, выбранного в соответствии с ожидаемыми характеристиками здания (ов) (см. Господа и и др. [2005] для возможных жильца демографии). Связать скорости ходьбы более населением 100 пассажиров равномерно распределенной в комнате.

Ожидаемый результат

Покажите, что назначенные скорости ходьбы согласуются с распределением указанных в сценарии.

Метод испытания

Метод испытания является количественной проверки модели заданий, т.е. анализа скоростей пешеходных смоделированных с помощью модели эвакуации. В зависимости от типа распределения рассматривае-

мой модели Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод для оценки различий между моделируемыми и назначенными распределений.

Действия пользователя

Следует отметить, что значения, которые будут использоваться для характеристики водителя и пассажиров демографии зависят от нескольких факторов, таких как здания использования, национальности и т.д. Пожалуйста, обратитесь к Господу и др. [2005] Примеры реальных распределений. Кроме того, в этом случае, модель Специалист по проведению испытаний ы должны продемонстрировать что моделирование водителя и пассажиров демографических распределений проверяется по множеству трасс, то есть, тест следует повторить несколько раз.

Вериф.2.5. Ограниченная видимость в соотношении со скоростью ходьбы

Этот тест направлен на количественно проверки способности моделей эвакуации, чтобы воспроизвести физическое воздействие дыма на водителя и пассажиров скоростях пешеходных. Следует отметить, что дым имеет многочисленные дополнительные физические, психологические и социологические факторы [Рончи и др., 2013а], что в настоящее время не захвачен моделями эвакуации. Этот тест основан на условиях ограниченной видимости в соотношении со скоростью ходьбы проверки теста, предложенного Корхонен и Хостика [2009].

Модели эвакуации могут использовать различные наборы данных и корреляции представлять воздействие пониженной видимости (дыма) на пешеходных скоростях. По этой причине, Специалист по проведению испытаний должен знать о типе корреляции, используемой моделью для того, чтобы выполнить эту проверку идентификации. Пять типов корреляций были определены Рончи и др. [2013а] в текущих моделях эвакуации, которые принимают во внимание различные предположения о влиянии ограниченной видимости на отдельных скоростях пешеходных и минимальной скорости ходьбы в дыму. Эти корреляции представлены здесь:

$$v_i^s = v_i^0 c(K_s) \quad \text{[Уравнение 1, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}, v_i^0 c(K_s)\} \quad \text{[Уравнение 2, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}(i), v_i^0 c(K_s)\} \quad \text{[Уравнение 3, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}, v_i(K_s) \pm \Delta\} \quad \text{[Уравнение 4, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}(i), v_i(K_s) \pm \Delta\} \quad \text{[Уравнение 5, Рончи и др., 2013а]}$$

Где:

v_i^s – скорость ходьбы в задымленном помещении

v_i^0 – скорость ходьбы в незадымленном помещении

K_s – коэффициент ослабления, который относится интенсивность монохроматического света и интенсивность света, прошедшего через путь длиной дыма [Малхолланд, 2008]

$c(K_s)$ – функция снижения скорости (т.е. $0 < c \leq 1$) в зависимости от коэффициента экстинкции K_s

$v_{1,\min}$ – минимальная скорость в густом дыме для всех людей

$v_{1,\min}(i)$ – индивидуальная минимальная скорость в дыму

Δ – диапазон скоростей порядка скорости в стадии рассмотрения

Уравнение 1 представляет собой дробную воздействие дыма на скорости без минимальной скорости в густом дыму. Кривые н дым/скорость производятся в соответствии с характеристиками п лиц рассматриваемых. Уравнение 2 представляет собой дробную воздействие дыма на скорость с минимальным постоянной скорости ходьбы в густом дыму ($\approx 0,3$ м/с до $0,4$ м/с), п дым/скорость22кривые производятся, но они представляют все тот же минимальную скорость. Уравнение 3 представляет собой дробную воздействие дыма на скорость с переменной скоростью минимальной в густом дыму, п кривые дыма/скорость производятся в соответствии с характеристиками п лиц и минимальная скорость зависит от характеристик индивидов. Уравнение 4 представляет собой абсолютное снижение скорости по отношению к дыму, в пределах определенного диапазона, Δ , скоростей вокруг среднего, то есть уменьшение скорости не зависит от скорости пассажиров в чистом. Уравнение 5 является абсолютным снижение скорости в дыме в пределах определенного

диапазона, Δ , скоростей вокруг среднего, то есть уменьшение скорости не зависит от начальных скоростей ходьбы.

Пять корреляции генерировать различные уравнения по отношению к типу набор данных используется (современные модели эвакуации либо вставлять наборы данных по Джин [2008] или Францих и Нильссон [2004]) и конкретного вида кривой, используемой разработчиков модели (линейный, нелинейный и т.д.).

Проверка тест, предложенный Корхонен и Хостика [2009] изменяется учитывать различных типов корреляции, используемых моделей для представления воздействия пониженной видимости (дыма) на водителя и пассажиров скоростях пешеходных.

Геометрия

Коридор 2 м в ширину и 100 м в длину. Один выход (1 м в ширину) находится в конце коридора.

Сценарий

Дым снижает скорость ходьбы из-за ограниченной видимости. Беспрепятственно скорость ходьбы от пассажира для свободной от табачного дыма окружающей среду устанавливается на постоянное значение, равное 1,25 м/с. Постоянный коэффициент вымирания равна 1,0/м реализуется в коридоре до симуляции. Внешние источники света не присутствуют в этом тесте, то есть, окружающая среда предполагается составляют лишь объекты, которые не излучают свет. Житель должен добраться до выхода в конце коридора.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время, которое требуется пассажира, чтобы покрыть расстояние в коридоре такой же, как времени, рассчитанного вручную используя корреляцию, используемую модели (т.е. в соответствии с коэффициентом снижения скорости, используемой модели).

Метод испытания

Метод испытания является проверка присвоения модели. Количественная оценка результатов моделирования с точки зрения разницы во времени выполняется. В зависимости от типа корреляции, используемой модели, Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод оценки различия между моделируемой и ожидаемое время.

Действия пользователя

Тест следует повторить, чтобы проверить различные значения в соотношении, т.е. различные комбинации беспрепятственных скоростях пешеходных для свободной от табачного дыма окружающей среду и постоянных коэффициентах исчезновения нуждается в проверке. Примерами таких значений может быть 1,0 м/сек, 0,75 м/сек, 0,5 м/сек, и 0,25 м/с для беспрепятственного скоростях пешеходных и 10/м, 7.5/м, 3,0/м и 0,5/м для коэффициента ослабления. Эти значения предложил, чтобы покрыть диапазон идущих скоростей и коэффициентов экстинкции включены в двух основных наборов данных, доступных в литературе [Рончи и др., 2013а.], Т. е. Францих и Нильссон [2004] и Джин [2008]. Следует отметить, что Специалист по проведению испытаний необходимо знать соотношение используемой моделью, а затем сравнить результаты испытаний с помощью ручных расчетов, выполненных заранее, то есть Специалист по проведению испытаний вычисляет заранее предполагаемое снижение скорости из-за дыма. Модели также могут рассмотреть вопрос о последствиях дыма раздражения на производительность людей. Этот тест не учитывать влияние раздражающего дыма и токсичных газов на пассажиров скорости (т.е. ползающих поведения и т.д.), то есть, только воздействие пониженной видимости на скорости ходьбы учитывается. Кулиговски и др.. [2010] отметил, что модели эвакуации не может включать в себя субмодели, имитирующий воздействие дыма на идущих скоростях. В этом случае снижается скорость может быть неявно реализуется в рамках моделей эвакуации, но это не возможно, чтобы имитировать воздействие изменения условий видимости в течение долгого времени на пешеходных скоростях. Специалист по проведению испытаний должен описать это ограничение рассматриваемой модели.

Вериф.2.6. Дееспособность людей

Тест предлагается качественно и количественно проверить способность моделей эвакуации для имитации пассажиров инкапсулирующий из-за токсичных и физических эффектов дыма. Дееспособности строительных пассажиров осуществляется во всех моделях эвакуации, которые пытаются представлять присутствие дыма [Кулиговски и др., 2010], используя фракционный Эффективная доза (ФРС) концепцию [Персер, 2008]. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста разработан Корхонен и Хостика [2009].

Геометрия

Номер без источника огня (10 м x 10 м x 3м).

Сценарий (и)

Реализация концепции ФРС тестируется. Шаг 1: разместить пассажира в центре комнаты (см. рис.). Житель проводится в фиксированном исходном положении, установив высокую время предварительного эвакуации (> 10000000 с). Опасные условия реализованы в модели по отношению к недееспособности субмо-

дели в использовании. Примеры таких условий являются воздействие токсичных, раздражающих и физических опасностей, таких как HCN, CO, CO₂, HCl, HBr, HF, SO₂, NO₂, повышенной температуре, теплового излучения и т.д. Шаг 2: Построить в одной комнате и выполнять ФЭД измерения в том же месте пассажира, (либо с помощью ручных расчетов или независимая подтверждено пожарной модель, используя те же вычисления FED реализованные в модели эвакуации).



Рис. Геометрическая планировка теста Вериф.2.6.

Слева геометрия моделирования и справа геометрия используется для измерений на основе ручных вычислений или моделирования пожара.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время для достижения пассажиров инкапситурующий ($FED = 1$) на шаге 1 такая же, как время достижения $FED = 1$ в точке измерения в шаге 2. Этот тест должен быть повторен для каждого опасного состояния имеющейся в недееспособности югу от модели (например, концентрации CO или HCN, повышенной температуре и т.д.)

Метод испытания

Метод испытания занятых является количественной проверка присвоения модели. Оценка различий в раза до $FED = 1$ в течение двух шагах тестирования выполняется.

Действия пользователя

Следует отметить, что Специалист по проведению испытаний необходимо знать токсичности и опасности субмодели (ей), внедренный в модели эвакуации для выполнения теста. Настоящий тест статическое испытание. Модель Специалист по проведению испытаний и могут рассмотреть вопрос о расширении проверку расчетов ФРС, рассматривая пассажиров перемещение в пространстве. Если рассматриваемая модель не встроить токсичность и подмодели опасности, рекомендуется, что Специалист по проведению испытаний обсуждает это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЕЙ И ВАЛИДАЦИЕЙ модели.

Вериф.2.7. Использование лифтов

Текущие строительные нормы постепенно реализации использование лифтов в качестве возможного выходного компонента [Международный совет кодекс, 2012] и является неотъемлемой частью различных стратегий исходящих [Рончи и др., 2013b]. Таким образом, тест предлагается проверить способность моделей эвакуации при моделировании эвакуации с помощью лифтов. Следует отметить, что лифты постепенно реализуется в моделях эвакуации (10 из 26 моделей в обзоре Кулиговски и др. [2010].

Геометрия

Построить две комнаты, а именно номер 1 и номер 2, размещенных на разных высотах, имеющих от пола до пола интер- расстояние, равное 3,5 м (см. рис.). Наведите лифт, соединяющий две комнаты в соответствии с рис. Вставьте 1 м в ширину выход в номере 1.

Сценарий

Вставьте пассажира, имеющего беспрепятственный скорость ходьбы в 1 м/с в номере 2 (см. рис.) с мгновенным временем отклика. Лифт только выход компонент доступен для эвакуации. Лифт должен начать с

комнаты 1, достигают комната 2 и забрать пассажира, а затем вернуться в номер 1 для выполнения пассажира. Специалист по проведению испытаний должен определить кинематические параметры лифта (например, скорости лифта, ускорение, открытия и закрытия времени и т.д.).

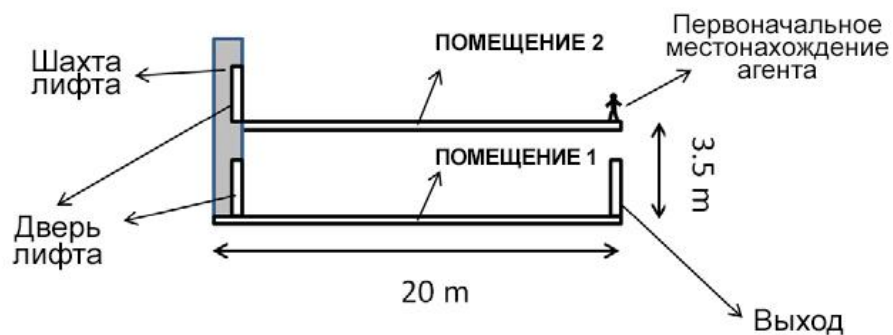


Рис. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф. 2.7. Вид сбоку.

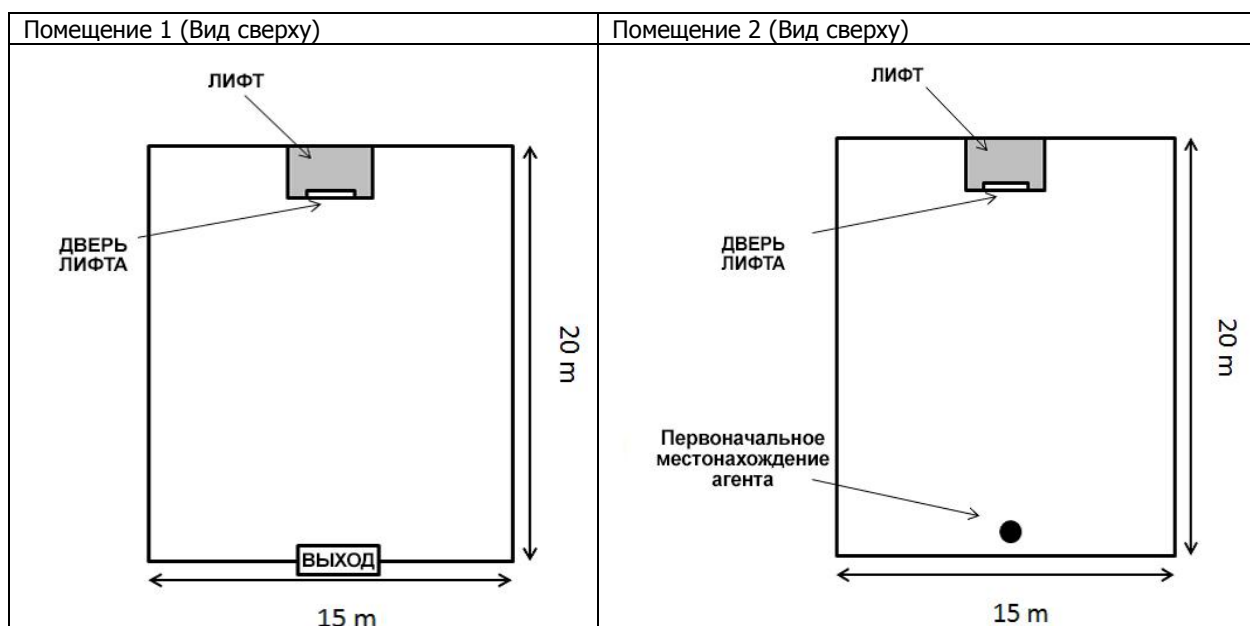


Рис. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф. 2.7.
Вид помещений сверху 1 и 2.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что пассажир первым входит в лифт в номере 2. То же occupant затем выпускается в номере 1 и достигает выхода в номере 1. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

Метод испытания

Метод испытаний качественное проверка присвоения модели, то есть способность модели для моделирования эвакуации с помощью лифта.

Действия пользователя

Если рассматриваемая модель не включает в себя лифт субмодели, Специалист по проведению испытаний рекомендует обсудить это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ модели.

Вериф.2.8. Горизонтальные встречные потоки (помещения)

Тест предлагается для проверки способности моделей воспроизводить встречный поток. Этот тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 8, и это проверка возникающих поведения, касающихся встречный поток.

Геометрия

Две комнаты 10 м (широкий и длинный), соединенный через коридор длиной 10 м и 2 м в ширину с началом и концом в центре одной стороне каждой комнате [см. Рис.].

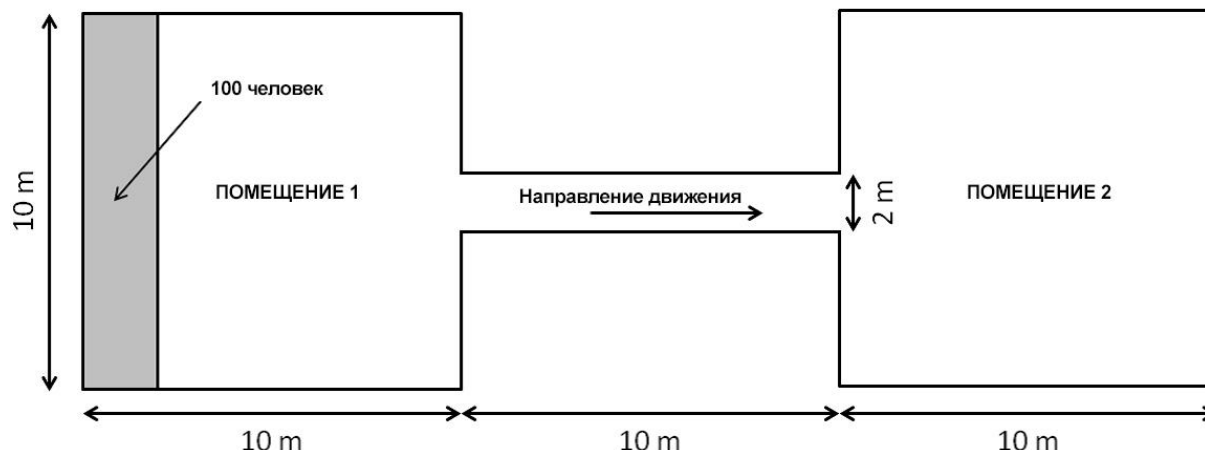


Рис. Геометрическая схема испытания Вериф.2.8 на основе испытания IMO 8
[Международная морская организация, 2007].

Сценарий

Выберите подгруппу, состоящую из населения 100 человек с временем отклика, равным 0 сек и распределите скорость ходьбы в соответствии с населением здания(й) (см. Лорд и др. [2005] для возможных демографических данных). Этап 1. Сто человек перемещаться из помещения 1 в помещение 2, где начальное распределение таково, что пространство помещения 1 заполняется оставшееся с максимально возможной плотностью. Регистрируется время, когда последний человек входит в помещение 2. Этап 2. Повторяется первый этап с дополнительными десятью, пятидесятью, и ста людьми в помещении 2. Эти люди должны иметь одинаковые характеристики с людьми, находящимися в помещении 1. Обе подгруппы населения одновременно двигаются в противоположные помещения, и регистрируется время, когда последние люди из помещения 1 входят в помещение 2.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время записи увеличивается число лиц, в увеличении против потока. метод испытания Метод испытания качественная оценка возможностей модели воспроизведения горизонтальных встречные потоки (против потоки в помещениях). Результаты модели необходимо сравнить и различия (в смысле времени эвакуации) между шагах тестирования представлены. действия пользователя Модель тестирующей должен качественно обсудить степень регистрируемых времени увеличивается за счет встречных потоков.

Вериф.2.9. Поведение групп людей

Модели эвакуации [Кулиговски и др., 2010] часто включают возможность моделирования взаимодействия между людьми в здании, то есть поведения групп людей. В этом случае, группа поведения относится только к движению людей (то есть они не включают принятие решений, коммуникацию и т.д.). Данное испытание предназначено для выполнения качественной верификации формирующиеся поведения групп. Данное испытание определяет, доступна ли субмодель группы, и если она доступна, воспроизводить поведение групп людей не только как нескольких отдельных индивидов с одинаковыми характеристиками, но как образовавшуюся группу людей, даже в случае если их характеристики отличаются (например, разная скорость ходьбы).

Геометрия

Помещение размером 15 м на 20 м с выходом 1 м.

Сценарий

Пять людей относятся к одной и той же группе трудоспособных взрослых, а именно группе 1, в верхней части помещения (см. зону 1 на Рис.) с временем отклика, равным 0 с. Четыре человека из группы 1 имеют постоянную скорость беспрепятственного движения 1,25 м/с. Пятый человек в группе 1 имеет постоянную беспрепятственную скорость ходьбы от 0,5 м/с. В центральной части помещения находятся 10 взрослых людей, передвигающихся более медленно (Группа 2), с постоянной беспрепятственной скоростью ходьбы от 0,2 м/с равномерно распределены в зоне 2, как показано на рис. Люди в зоне 1 должны добраться до выхода помещения.

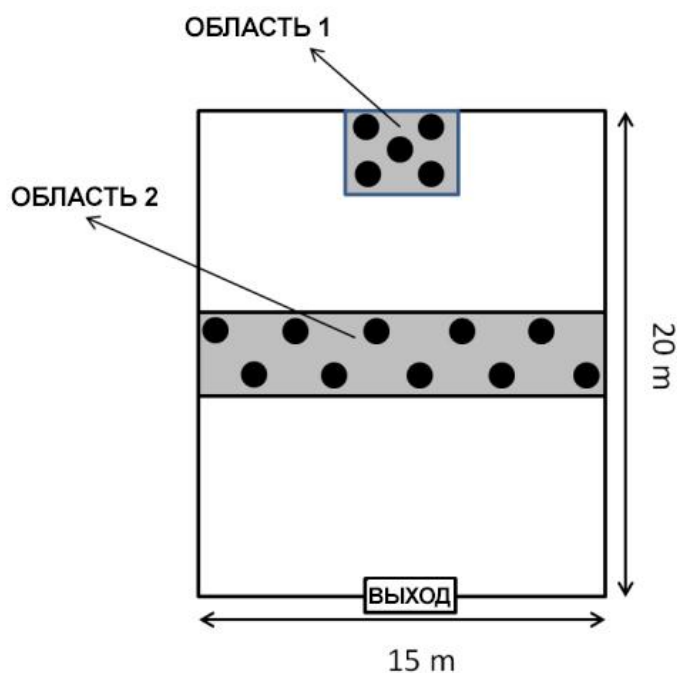


Рис. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф.2.9.

Ожидаемый результат

Тест должен продемонстрировать, что обитатели группы 1 будет добраться до выхода вместе (т.е. время для пассажиров 1-й группы, чтобы добраться до выхода не должен отличаться более чем на 10 с). Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели. Выбор 10 с про- извольно вызваны необходимостью установить ряд, чтобы сделать количественное сравнение. Предвари- тельные испытания были проведены с эвакуацией модели, которая использует предположения очень похож на большинство моделей, представляющих группы поведения для того, чтобы оценить примерное время, необходимое для достижения выхода и оценивать ожидаемые различия.

Метод испытания

Метод испытания – это оценка возникающих поведения, которые использует количественные критерии. Анализ выполняется путем сравнения времени, необходимого occupants 1 группы добраться до выхода.

Действия пользователя

Если рассматриваемая модель не позволяет моделировать группы поведения, Специалист по проведе- нию испытаний рекомендуется обсудить это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ модели.

Вериф.2.10 Маломобильные группы людей

Люди с ограниченными возможностями являются важной частью населения, что разработчики модели начинают включать в моделях эвакуации. Данный тест предназначен для проверки возникающих поведения людей с ограниченными возможностями. Verif 2.10. направлен на проверку возможность имитации пассажи- ра с ограниченной подвижностью (например, снизилась скорости движения и увеличение пространства, занимаемого пассажиров), а также представляющие взаимодействия между обесцененным лиц и остальной части населения и окружающей среды.

Геометрия

Построить две комнаты на разных высотах, а именно номере 1 (1 м выше уровня земли) и комнатной 2 (на уровне земли), соединенных между собой ramпы (или коридора/лестницы, если модель не представляет пандусы). Вставьте один выход (1 м в ширину) в конце номере 2 (см. рис. для схематического представле- ния из комнат).

Сценарии

Сценарий 1: Помещение 1 занимают подгруппы, состоящие из 24 людей в зоне 1 (с беспрепятственной скоростью ходьбы 1,25 м/с и размером тела умолчанию предполагается моделью) и 1 -инвалида пассажира в зоне 2 (пассажиров предполагается, иметь беспрепятственный скорость ходьбы, равную 0,8 м/с на гори- зонтальных поверхностях и 0,4 на ramпе (см. рис.).инвалидов пассажиров также предполагается занимают площадь большую, чем половина ширины пандуса (> 0,75 м) (например, пользователь инвалидного крес- ла)³ (³ Необходимо отметить, что это испытание предназначено для моделей, которые позволяют моделиро- вать агенты различных размеров (т.е. непрерывные модели или модели ячеистых автоматов, что позволяет моделировать агенты, занимающие более одной ячейки). Все люди должны добраться до выхода в помеще- нии 2.

Сценарий 2: Повторно запустите испытание и займите зону 2 людьми с теми же характеристиками как у других 24 людей в зоне 1 (т.е. нет людей с ограниченными возможностям в моделировании). Все люди должны добраться до выхода в помещение 2.

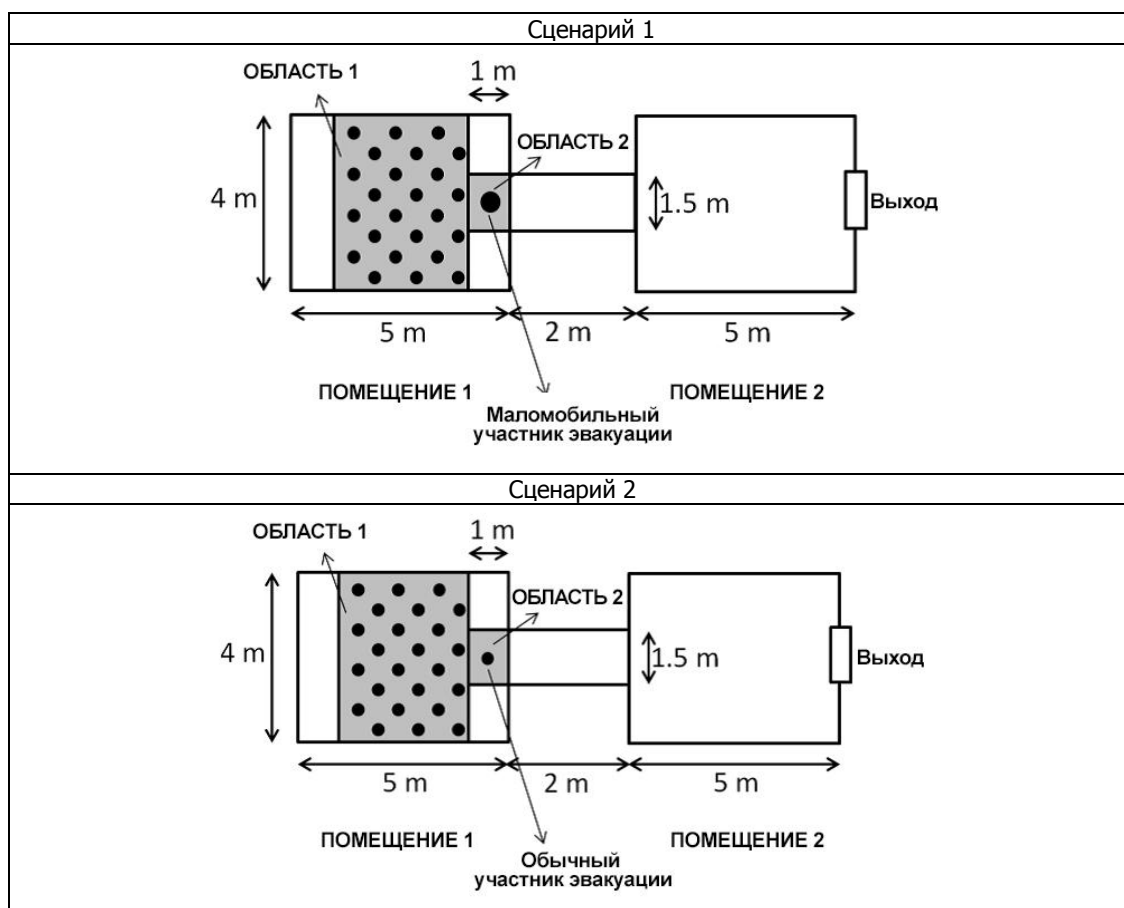


Рис. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф.2.10.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что пассажиры в зоне 1 в сценарии 1 добраться до выхода в то время, медленнее, чем жителей в зоне 1 в сценарии 2. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

Метод испытания

Тест является качественной верификацией, возникающих алгоритмов поведения. Проводящий испытание должен качественно оценить, способна ли модель моделировать людей с ограниченными возможностями и их возможное влияние на время эвакуации.

Действия пользователя

Если рассматриваемая модель не позволяет моделировать людей с ограниченными возможностями передвижения, или это не позволяет моделировать агентов разных размерностей, Специалист по проведению испытаний рекомендуется обсудить это ограничение в документации, связанной с валидацией и верификацией модели.

Выбор/использование выхода

Испытания могут быть предоставлены для изучения либо способность пользователю указать выхода использование или способность модели выделить выхода использование данного определенные параметры. Выход выбор субмоделей, доступных в построении моделей эвакуации может полагаться на простых критериев (наименьшее расстояние, определенное пользователем), что позволяет детерминированный, а не интеллектуального результата. Для случая моделей, основанных на детерминированных критериев, ожидается, что оккупанты всегда будет выбрать ближайший выход во всех сценариях, если выбор выхода не определяется пользовательского ввода. Тест распределение выход маршрут на основе IMO Испытание 10 предлагается. Два проверочные тесты, направленные на оценку возможности моделей эвакуации в имитации социального влияния (Вериф.3.2) и принадлежность/знакомство с выходом (Вериф.3.3) также представлены.

Вериф.3.1. Размещение маршрута выхода

Размещение маршрута выхода предлагается в целях верификации детерминированного назначения использования выхода. Испытание основано на испытании 10 IMO.

Геометрия

Построить участок коридора с помещениями в соответствии с рис.

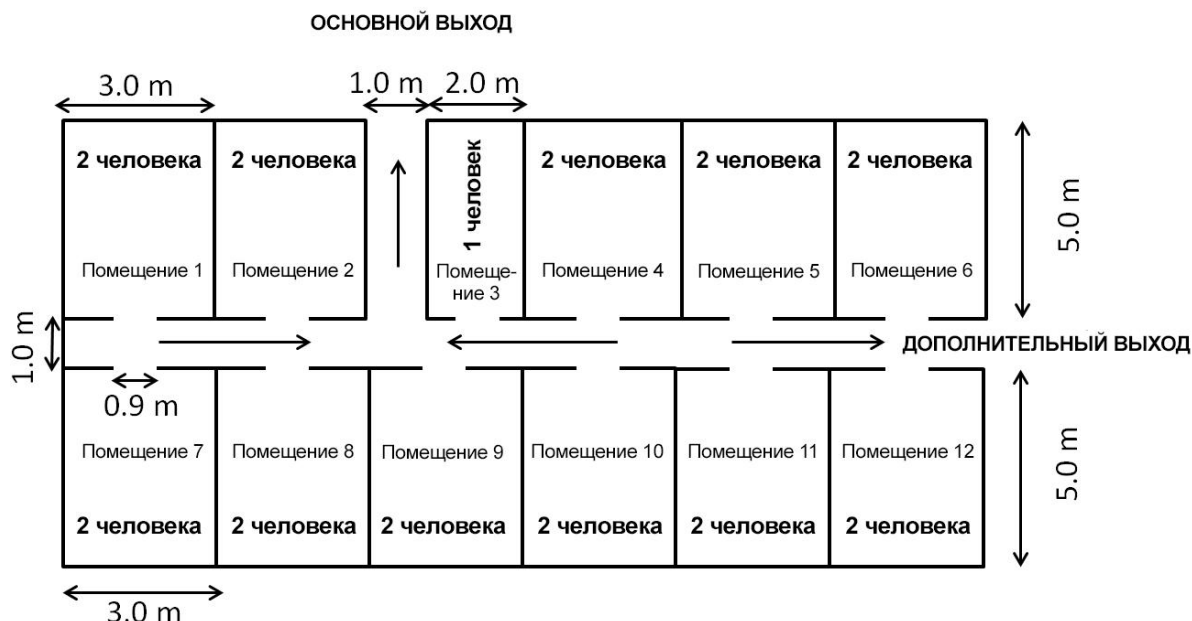


Рис. Принципиальная геометрическая схема испытание Вериф.3.1. на основе опыта 10 IMO [Международная морская организация, 2007].

Сценарий

Заполните номера с оккупанты имея скорость ходьбы и характеристики в соответствии с ожидаемыми демографии населения здания (ях) (см. Лорд и др. [2005] для возможных жильца демографии). Распределите скорости ходьбы и время отклика, равное 0 сек над населением 23 человек. Лица в номере 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 и распределяются на главном выходе. Все остальные пассажиры выделяются вторичный выход.

Ожидаемый результат

Выделенные оккупанты двигаться к соответствующим выходам. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

Метод испытания

Метод испытаний качественное проверка присвоения модели, то есть способность модели представлять выделение выход маршрута.

Действия пользователя

Специалист по проведению испытаний должен упомянуть если выход выбор субмодели основан на детерминированных предположениях или это прогностическая в документации, связанной с тестом, где представлены результаты модели.

Вериф.3.2. Социальная влияние

Одним из основных факторов, которые могут повлиять маршрута выбор использования/выхода является социальное влияние [Дойч и Жерар [1955], Латане и Дарли [1970], Нильссон и Йоханссон, 2009]. Социальная влияние определяется как изменение взглядов, убеждений, мнений или поведения в результате того, что один уже столкнулись другие [Хьюстоун и Мартин, 2008]. Идеальный тест предлагается для анализа возникающих поведения в отношении социального влияния в построении моделей эвакуации. Этот тест направлен на качественно проверки возможности модели для имитации воздействия социального влияния на выход выбора. Предыдущие исследования показали важность социального влияния как ключевой аспект, который необходимо решать, чтобы выполнить прогнозы использования выхода [Кинатеде, 2013]. Этот тест требует выхода выбор субмодели, которая включает возможность моделирования социальных взаимодействий и их влияние на использование выхода.

Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис., где в центре двери на 12 м от 10 м в длину стены).

Сценарии

Сценарий 1: Вставьте один пассажир (житель 1) в комнате с временем отклика, равным 0 с и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м/с, как показано на рисунке (черная точка представляет пассажира которая 1 м от нижняя стенка, что составляет 10 м в длину). Житель не имеет предпочтительный выход (т.е. они не знакомы ни с одним из выходов). Житель должен быть помещен всегда в том же положении между различными трасс и его/ее позиция должна быть на одинаковом расстоянии от обоих выходов. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1%⁴ (Различные методы могут быть приняты для оценки сходимости процент использования выхода. Требование 1 % был выбран, так как он считается легко наносится на модельных Специалист по проведению испытаний ов и это позволяет сравнить проценты, снимающих сбивающий фактор воздействия числа серий более использования выхода.) с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для двух выходов.

Сценарий 2: Вставьте дополнительный пассажира (пассажиров 2) в комнате с мгновенным временем отклика и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м/с, как показано на рисунке (два occupants в общей сложности). Дополнительный пассажир находится в 2 метрах от нижней стенки, длина которого составляет 10 м. Это пассажир детерминировано назначен Выход 2. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для двух выходов для обоих пассажиров, т. е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для обоих пассажиров.

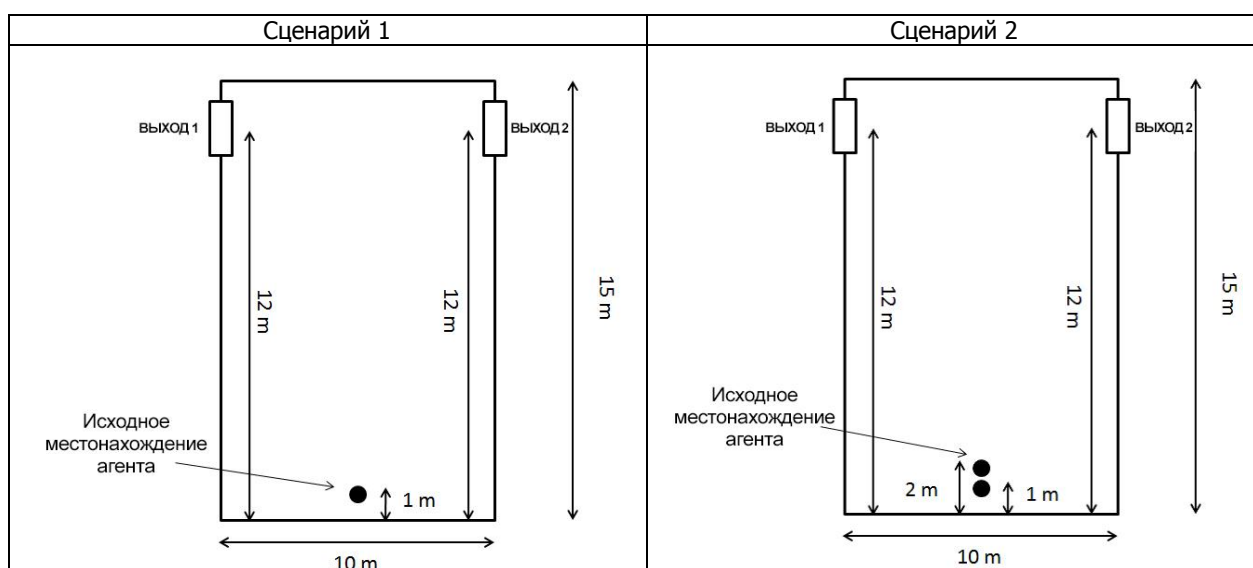


Рис. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.3.2. тест.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что использование выхода 2 увеличивается в сценарии 2 для пассажиров 1.

Метод испытания

Метод оценки этого теста является количественная оценка результатов моделирования с точки зрения использования выхода.

Действия пользователя

Следует отметить, что выход выбор субмодели моделей эвакуации может полагаться на простых критериев (кратчайшее расстояние, определенный пользователем), то есть они могут быть основаны на детерминированной выбору пользователя, а не прогнозирования использования выхода. Для этого типа модели ожидается, что occupants всегда будет выбрать ближайший выход во всех сценариях, если выбор выхода не определяется пользовательского ввода. Специалист по проведению испытаний должен документировать это ограничение.

Вериф.3.3. Присоединение

Этот тест направлен на качественно проверки возможности моделей эвакуации для имитации эффекта знакомство индивида с выходом на использовании выхода. Этот тест относится к категории проверки испытаний возникающих поведения (EB_VERIF). Принадлежность является понятие, введенное Симе [1984], который относится к вероятности человека, предпочитая использование знакомой выхода над незнакомой одного (например, предпочитая идти навстречу местоположения, используемого для входа в здание) в процессе эвакуации. Этот тест требует выхода выбор субмодель, которая включает переменную, которая может непосредственно моделировать принадлежность пассажиров с выходов. несколько34модели эвакуации мо-

гут включать алгоритмы, которые явно представляют влияние принадлежности на процесс принятия решений.

Также в этом случае, Специалист по проведению испытаний следует отметить, если выход выбор суб-алгоритм эвакуации рассматриваемой модели на основе детерминированных критериев, т.е. если выход выбор обусловлен только критериев расстояния или пользовательского ввода. В тех случаях, этот тест не считается проверки возникающих поведения, но он представляет аналитическую проверку (т.е. проверку присвоения модели).

Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис.).

Сценарии

Сценарий 1: Вставьте человека в помещении с временем отклика, равным 0 с и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м/с, как показано на рисунке (черная точка представляет пассажира которая 1 м от 10 м в длину стены в нижней части рис.). Житель всегда должны быть размещены в том же положении между различными трасс и его/ее позиция должна быть на одинаковом расстоянии от обоих выходов. Предполагается, что пассажир будет знаком с выходов. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для двух выходов

Сценарий 2: Вставьте пассажира в центральной части в начале коридора с мгновенным временем отклика и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м/с, как показано на рисунке. Это житель связан с выходом 2. То же пассажир не является аффилированным лицом выход 1 (например, выход 2 является излюбленным выход выбран пассажира, если все остальные условия, влияющие на выбор одинаковы для всех выходов). Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным run⁵ (⁵ Различные методы могут быть приняты для оценки сходимость процент использования выхода. Требование 1 % был выбран, так как он считается легко наносится на модельных Специалист по проведению испытаний ов и это позволяет сравнить проценты, снимающих сбивающий фактор воздействия числа серий более использования выхода). Аннотации использование выхода для обоих выходов.

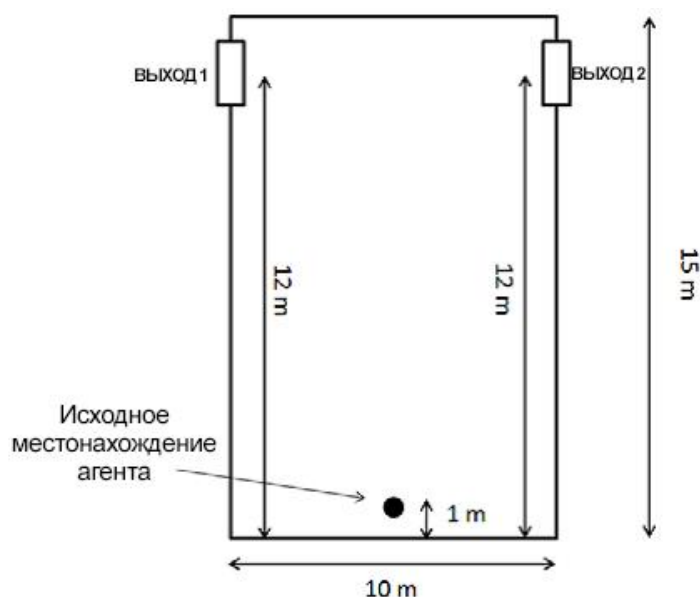


Рис. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.3.3. тест.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что использование выхода 2 в сценарии 2 выше, чем использование выход 2 в сценарии 1.

Метод испытания

Метод оценки этого теста является количественная оценка результатов моделирования с точки зрения использования выхода.

Действия пользователя

Модель Специалист по проведению испытаний должен задокументировать если модель включает в себя специальный алгоритм для моделирования принадлежности и если выход выбор субмодель основана на

детерминированных условиях (т.е. определяется пользователем процент использования выхода), или же если она включает в себя интеллектуального суб-алгоритм.

Доступность маршрута

Это основной элемент имеет дело с маршрутов, доступных для эвакуированных [Гвинн и др., 2012a]. Проверка тест (Вериф.4.1.) Предлагается, чтобы проверить способность модели для назначения определенных компонентов маршруты/выход для пассажиров и изменять статус маршрута с течением времени (динамический наличие). Например, дверь может быть оказана недоступен (во времени) из-за дыма, тепла и т.п. Тест должен убедиться, что модель назначения является правильным.

Вериф.4.1. Динамика доступности выходов

Этот тест направлен на качественно оценить возможности модели для представления динамического доступа к выходам.

Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис.).

Сценарий

Вставьте пассажира в комнате с временем отклика, равным 0 и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м/с, как показано на рисунке. Выход 1 становится недоступным после 1 с времени моделирования. Проверьте использование выхода для обоих выход 1 и выход 2.

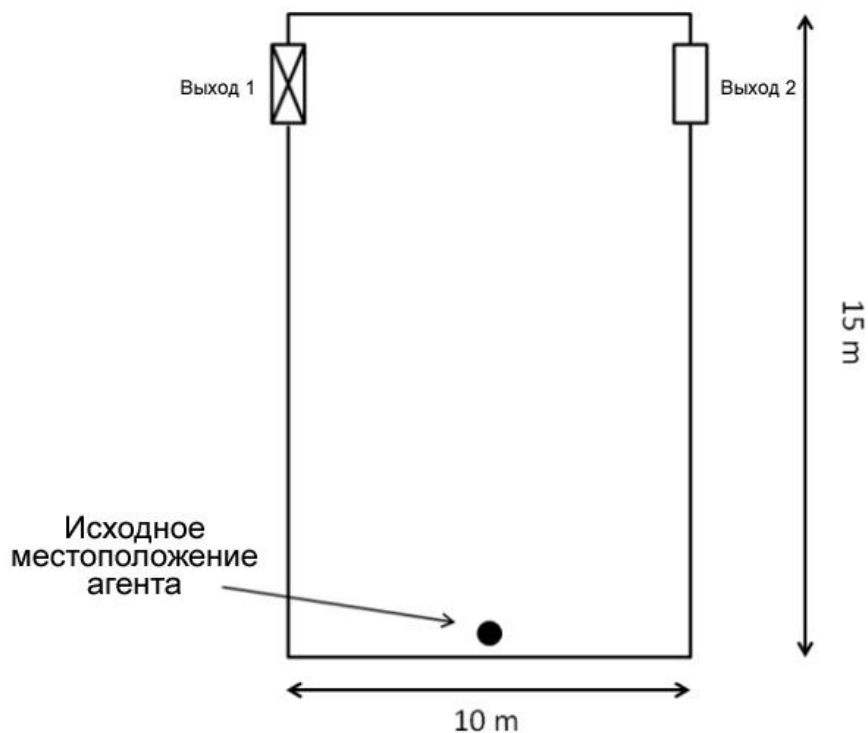


Рис. Схематический вид сверху геометрической макет для Вериф.4.1. тест.

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что выход 1 не используется пассажира.

Метод испытания

Модельные возможности анализируются в этом тесте с использованием количественную оценку результатов с точки зрения использования выхода. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

Действия пользователя

Если модель не включает в себя возможность для имитации использование динамической выхода, модель Специалист по проведению испытаний должен задокументировать это ограничение.

Ограничения потока

Это ядро поведенческие элемент сопряжен с представлением о соотношении жилья скоростях, течет, плотность, размер населения и выход компонент на рассмотрении [Гвинн и др., 2012a]. Тест проверка (Вериф.5.1) предлагается проверить возможности воспроизвести заторов в моделях эвакуации. Тест на максимальных скоростях потока также представлены (Вериф.5.2).

Вериф.5.1. Скопление людей

Тест предлагается для использования проверки, как модель имитирует заторов. Модифицированная версия ММО тесте 11 предлагается. Тест направлен на проверки ограничения потока в лестнице.

Геометрия

Построить номер, подключенный к лестнице через коридор (см. Рис. за комнату, лестницы, и размеров коридора).

Сценарий

Заполните номер с субпопуляции, состоящей из 100 пассажиров, что соответствует плотности⁶ (⁶ Эта высокая плотность была выбрана для того, чтобы исследовать случаи скопления людей, то есть относительно большое число людей в узком пространстве) 2,5 человек/м² с характеристиками, в соответствии с населения здании(ях) (см. Лорд и др. [2005] для возможных демографически данных). Люди реагируют мгновенно и скорость ходьбы распределяется на 100 человек.

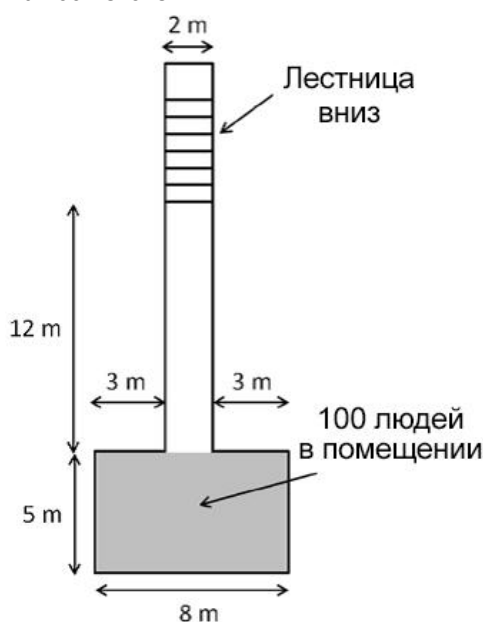


Рис. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.5.1. Тест IMO 11 [Международная морская организация, 2007].

Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что скопление появляется на выходе из комнаты, которая производит постоянный поток в коридоре с образованием заторов в основании (т.е. нижнюю) часть лестницы. Учитывая различные характеристики потока коридора и лестницы. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

Метод испытания

Метод испытания является качественным проверка результатов моделирования с точки зрения моделируемых скоплений.

Действия пользователя

Следует отметить, что, поскольку строительство эвакуации обычно возникает движется вниз, геометрия IMO тесте 11 была изменена, то есть, лестница ведет к более низкому уровню, а не на верхнем уровне.

Вериф.5.2. Максимальная скорость движения потока

Испытание предложено установить требование с запасом для максимально допустимое скорости движения потока. Этот тест основан на тесте IMO 4.

Геометрия

Построить помещение размером 8 м на 5 м с выходом 1 м, расположенного по центру 5 м стены.

Сценарий

Разместите 100 человек в помещении и направьте их к выходу⁷ (⁷ В соответствии с плотностью 2,5 человек/м². Такая высокая плотность выбрана с целью исследования скорости потока в местах скопления людей, то есть относительно высокое количество людей в узком пространстве).

Ожидаемый результат

Скорость потока на выходе за весь период не должна превышать заранее определенный максимальный порог.

Метод испытания

Метод испытания количественная оценка результатов моделирования, то есть сравнения результатов, полученных с помощью модели и максимального расхода.

Действия пользователя

Этот тест также может быть восприимчив к типу сетки/используемой сети в случае мелких и крупных сетевых моделей. По этой причине, Специалист по проведению испытаний должен продемонстрировать чувствительность результатов в отношении к другому дискретизации пространства. Этот тест можно интерпретировать двумя способами. Во-первых, он является проверка проверяет, является ли рассматриваемая модель представляет потоки через двери с использованием ограниченных потоков. Тем не менее, он может быть вместо этого предназначены в качестве внешнего требования проверки, если потоки возникшей и Специалист по проведению испытаний хочет гарантировать, что максимальный расход не был превышен. Пример максимального расхода является рекомендованной MSC/Circ. 1238 (1.33 п/м/с) [Международная морская организация, 2007]. Модель Специалист по проведению испытаний должен документировать предположения, принятые в представлении потоков.

Испытания по валидации

В этом разделе представлен список тестов, предложенных для валидации моделей эвакуации. Набор соображений, перечисленные здесь, необходимо до начала обсуждения на тестах, предложенных для проверки:

- 1) Экспериментальные наборы данных на поведение человека в огне не хватает, тем самым ограничивая возможное количество оценочных испытаний, которые можно выполнять.
- 2) Определение теста проверки лежит техника, принятых для сбора эвакуации экспериментальные данные (и последующих неопределенности), в документации, прилагаемой экспериментальных наборов данных, и их доступность для общественности.
- 3) Современные модели эвакуации, учитывая отсутствие данных о поведении человеческого, относительно ограничены с точки зрения поведенческих предсказаний, то есть, они в основном детерминированным или зависимого пользователя.
- 4) Испытания по валидации выбираются с целью повышения понимания ограничений эвакуация модели.

Полный список оценочных испытаний должна включать в себя экспериментальные наборы данных, связанные с полным набором возможных поведения и сценариев, представляющих процесс эвакуации. Тем не менее, отсутствие экспериментальных наборов данных затрудняет для проверки всех аспектов инструментов моделирования эвакуации.

Модели эвакуации могут быть созданы, начиная с набором специфических экспериментальных данных. Проверка модели не следует проводить с использованием только одни и те же данные, используемые для ее развития. Это будет производить круговую логику, которая может ограничить степень, в которой предсказания модели могут быть обобщены для всех возможных сценариев.

Альтернативный тип эвакуации модели дизайна основывается на использовании гипотетических предположений, а не экспериментальных наборов данных. Примером этому вопросу является моделирование слияния потоков в лестнице. Например, эвакуации населения в настоящее время обсуждает соответствующий коэффициент лестницы слияния должна быть принята в высотных зданиях. Несколько экспериментальных исследований [Бойс и др., 2012], Хокуго и др. [1985], Мелли и др. [2009], Клык и др., 2012] доступны по этой теме. По этой причине, это не возможно, чтобы обеспечить проверочные тесты для этого вопроса или любые другие вопросы эвакуации, для которых существует непонимание реальных поведения водителя и пассажиров.

На сегодняшний день, определение полного набора экспериментальных данных, которые будут использоваться для проверки достоверности основных поведенческих компонентов моделей эвакуации не возможно в связи с ограниченным количеством экспериментов, пригодных для проверки. Тем не менее, этот раздел предлагает набор примеров экспериментальных/фактических наборов данных, которые подходят для проверки конкретных аспектов эвакуации. Следовательно, приведенные примеры не следует рассматривать как исчерпывающий перечень испытаний по проверке моделей эвакуации. Как только дальнейшие наборы данных и теория разрабатываются, список оценочных испытаний может быть расширен и обновлен.

Примеры наборов данных для валидации моделей

В этом разделе представлен ряд потенциальных наборов данных, которые могут быть пригодны для анализа основных поведенческих компонентов моделей эвакуации здания. Как упоминалось ранее, этот список не следует рассматривать как исчерпывающий перечень оценочных испытаний, а как набор примеров возможных наборов данных. В таблице представлены предложенные наборы данных для анализа основных компонентов поведенческих моделей эвакуации. Выбор потенциальных наборов данных основан на их доступности для общестественности, документации, связанной с ними, и способ сбора данных/анализа занятого. Также предоставляются Предложения по переменным, которые можно использовать для сравнения предсказаний модели с экспериментальными данными. Подробная информация о наборах данных можно найти в соответствующих справочниках. Примеры применения эвакуации наборов данных для проверки достоверности моделей эвакуации можно найти в Рончи и др. [2013b].

Таблица. Примеры возможных экспериментальных данных для валидации основных ключевых компонентов моделей эвакуации здания.

Основной компонент	Субэлемент	Рекомендуемая переменная для сравнения	Экспериментальные данные ⁸
1	Распределение времени до начала эвакуации	Время эвакуации, выбор выхода	Байер и Рейно [1999]
2	Эвакуации лестничной клетки	Время эвакуации	Кулиговски и Пикок [2010]
3,4	Влияние указателей пути эвакуации	Выбор выхода	Нильссон [2009]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Францих и др. [2007]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Хогендорн и Даамен [2005]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Сейфрид и др. [2007]
1,2,3,4,5	Эвакуация всего здания	Время эвакуации	Пожар в ночном клубе «The Station» [Гроссхандлер и др., 2005]

⁸ Эти данные в дальнейшем не должны использоваться в качестве ориентира для разработки модели.

Неопределенность при моделировании эвакуации

В предыдущих разделах этого документа представлен список испытаний по верификации и рекомендуемые наборы данных для валидации моделей эвакуации. В целях обеспечения оценки возможностей моделей эвакуации, есть необходимость обсудить неопределенность, связанную с моделированием эвакуации, которая отражена в методах для выполнения верификации и валидации.

Неопределенность делится на различные компоненты в контексте пожарной техники безопасности и моделирования [Хаминс и Макгрэттан, 2007]: неопределенность входных данных модели, неопределенность измерений и внутренняя неопределенность.

1) Неопределенность входных данных модели связана с параметрам, полученными из экспериментальных измерений, которые используются в качестве входных данных модели, т.е. предположений, используемых для получения входных данных модели из экспериментов как часть процесса конфигурации модели.

2) Неопределенность измерения связана с самими экспериментальными измерениями, т.е. используются методы сбора данных.

3) Внутренняя неопределенность – это неопределенность, связанная с физическим и математическим допущениями и методами, присущими формированию модели.

Чтобы объяснить различные типы неопределенностей в случае с пожарной эвакуации здания, мы обращаемся к моделированию движения группы людей в здании при эвакуации во время пожарной тревоги. Неопределенность, связанная с измерением скоростей является неопределенностью измерения. Приблизительное распределение, используемое для настройки входных данных модели, является неопределенностью входных данных модели. Неопределенность, связанная с расчетным методом, используемым в модели, чтобы представить движение людей является внутренней неопределенностью.

В случае моделирования эвакуации, неопределенность включает в себя дополнительный компонент, здесь называемый *поведенческой неопределенностью*. Поведенческая неопределенность – это неопределенность, связанная со стохастическими факторами, используемыми для представления человеческого поведения [Аверилл, 2011], и один эксперимент или модель выполнения не может быть представителем полный спектр поведения пассажиров. На самом деле, «эвакуировать же здание с теми же людьми, начиная с тех же мест на последовательных дней и ответы могут существенно различаться» [Аверилл, 2011]. Существует последовательная необходимость в нескольких экспериментальных наборах данных одного и того же сценария, чтобы понять возможную изменчивость поведения людей в каждом отдельном сценарии эвакуации. К сожалению, экспериментальных данных о поведении человека при пожаре не достаточно, а отдельные наборы данных зачастую представляют собой единственный доступный источник для изучения индиви-

дуального сценария. В идеале, специалисты, испытывающие модель, должны использовать ряд эвакуаций из реального мира, и когда модели дают выходные данные в соответствии с диапазоном данных реального мира, модель проходит валидацию. Поскольку данных недостаточно, специалисты, испытывающие модель, часто полагаются на одно реальное наблюдение без понимания, является ли кривая представительной для средней поведенческой характеристики. Поведенческая неопределенность должна быть проанализирована в обеих экспериментальных и модельных исследованиях. В этом контексте, оценка изменчивости результатов моделирования по отношению к поведенческой неопределенности является ключевым вопросом для обсуждения. Это нашло отражение в оценке сходимости индивидуальному сценарию эвакуации моделирования к "средним" предсказан пассажиров эвакуации тайм- кривой. Оценка результатов эвакуации модели может также включать анализ хвоста распределения, а не анализ пиков (т.е. средние значения). Тем не менее, авторы утверждают, что изучение в среднем предсказаний модели вместе с изменчивостью результатов по всему среднему считается полезным методом для анализа поведения неопределенность. Следует отметить, что термин поведенческая неопределенность здесь введены в контексте пожарной безопасности науки, то есть этот термин может иметь различные значения в других областях исследований.

Специалисты по моделированию пожаров и эвакуации по-разному рассматривают неопределенность. Неопределенность, как правило, рассматриваются в моделях пожарных как детерминированный задачи, т. е. он традиционно изучали путем анализа чувствительности на выходе модели по отношению к изменчивости модели ввода [Джонс и др., 1995]. Это обусловлено тем, что пожарные модели, как правило, на основе детерминированных уравнений (например, Макгрэттан и др. [2010], Джонс и др. [2009]). С другой стороны, модели эвакуации часто относятся к неопределенности как стохастической задачи. Основное различие между большинство моделей пожарных и эвакуационных является в определении входе модели и алгоритмы. Например, вход огонь модель, как правило, основаны на одном входе (например, одной кривой для тепло-выделения коэффициентом отдельных значений для характеристик горелки, и т.д.). В моделях эвакуации, входы, как правило, вставляется в терминах распределений возможных значений. Кроме того, основные алгоритмы моделей эвакуации часто используются значения вероятностей. Например, модели могут использовать псевдо - случайные алгоритмы для моделирования вероятности действия происходят на каждом повторном перспективе (например, выход, что агент будет использовать может варьироваться в различных пробегах и тому же сценарию). Следствием является то, что, за исключением неопределенности, связанной с предположениями моделирования, в моделях пожарных, неопределенность на выходе по существу, приводимых в действие выбора значений для входа (один вход даст один выход), в то время как выход неопределенность в модели эвакуации связано с выбором входа, а также лежащих в основе вероятностных алгоритмов внутри модели (один вход может производить несколько результатов).

Использование стохастических/случайных величин приводит к неспособности уверенно представлять все сигналы и факторы, влияющие на поведение человека, которые отражены в различных методов представления агентом (например, с использованием случайных величин). Существует двойной интерпретации о том, почему разработчики модели принять это решение. Первое толкование является то, что «человеческий фактор» вводит факторы, которые не совсем предсказуемой. Другая интерпретация может вместо этого полагаются на тот факт, что современные знания о человеческом поведении ограничено и никогда не может быть достаточно информации, чтобы предсказать реакцию человека с какой-либо степенью определенности.

Для решения неопределенность, связанную с человеческим поведением, модели эвакуации часто используют распределения или стохастические переменные для имитации движения людей (Кулиговски и др. [2010], Лорд и др. [2005], Рончи и Кинси [2011]), например, распределение ходьбы скорости, распределение времен до эвакуации и т.д. на самом деле, случайных чисел/семена могут быть использованы для решения разрешение конфликтного пространства, моделировать выход выбор, знакомство с выходом, очереди поведение и т.д. Когда распределения создаются принятия случайной выборки метод, Это приводит к генерации нескольких временных кривых пассажиров - эвакуационных за тот же сценарий с использованием той же модели входы производятся. Случайные переменные могут быть присуща алгоритмов модели, и пользователи модели могут не иметь контроль/доступ к ним (особенно в моделях с закрытым исходным кодом). Это приводит к необходимости изучения изменчивости результатов, связанных с случайных величин встроенных в моделях.

Поэтому эвакуации моделисты сталкиваются с проблемой выбора соответствующего количества трасс для моделирования для того, чтобы быть представителем среднего модельного результата. Эта проблема возникает как при использовании моделей эвакуации для дизайна пожарной безопасности, а также во время проверочных исследований. На самом деле, два основных вопросов можно задать во время моделирования сценариев эвакуации, которые включают распределения или стохастические переменные: 1) В какое время пассажир - эвакуация кривая представитель модельных прогнозов в конструкции пожарной безопасности? 2) В какое время кривая пассажир - эвакуация должна использоваться в качестве ссылки во время сравнения с экспериментальными данными в исследовании проверки? На сегодняшний день, ответы на эти вопросы остаются как качественный суждению эвакуация модели пользователя. Например, в контексте проверки эвакуация модели, пользователи модели могут выбрать лучший прогноз модели во время сравнения с экспериментальными данными [Галея и др., 2012b] или использовать среднюю общее время эвакуации модели (возможно, включая информацию о стандартное отклонение) в качестве представителя модельных предсказаний. Изучение средних общих времен эвакуации и соответствующие стандартные отклонения дает представление только от требуемой безопасной времени выхода, а не всего процесса эвакуации. Существует вместо потребность в способе, который расследует размер вариации для всей кривой времени пассажира

-эвакуаторной. Альтернативным методом является имитация фиксированным числом повторных вызовах для рассмотрения вероятностный характер процесса эвакуации, как это предписано в Руководстве IMO [Международной морской организации, 2007]. Тем не менее, на сегодняшний день нет общепринятого количественного метода, чтобы оценить, как средний прогноз может изменяться в числа серий.

Кроме того, сложные сценарии эвакуации может быть вычислительных ресурсов для имитации. Например, предыдущие исследования по использованию кривых распределения для Монте-Карло моделирование для анализа неопределенности в эвакуации модели предсказания продемонстрировали необходимость большой вычислительной работы [Лорд и др., 2005]. Поэтому существует необходимость оптимизировать выбор числа серий одного и того же сценария для того, чтобы быть представителем жильцов " среднего поведения ", и дать количественную и вычислительно недорогой характеристику изменчивость связана с моделируемых работает (и последующей оценки поведенческой неопределенности, связанной с индивидуальной настройки эвакуация модели).

Изучение модельных предсказаний, как правило, осуществляется с помощью статистической обработки данных или качественную оценку результатов моделирования. Эти методы опираются на опыт пользователя с точки зрения выбора статистического метода приеме на работу или при оценке модели надежности предсказаний. Метод, который позволяет простой и вычислительно недорогой анализ предсказаний модели является функциональный анализ. Эта отрасль математики представляет кривые как векторы, и использует геометрические операции на кривых. Операции функционального анализа в настоящее время работают при сравнении оценок огонь модельных и экспериментальных данных [Пикок и др., 1999], Международная организация по стандартизации, 2008] и сравнения результатов эвакуации модельных и экспериментальных данных [Галлея и др., 2012b]. Тем не менее, функциональный анализ не привлекался до сих пор, чтобы сравнить эвакуация предсказания модели (производства одной модели или нескольких моделей) друг против друга, чтобы проанализировать неопределенность, связанную с числа серий одного и того же сценария эвакуации, т.е. поведенческий неопределенность.

В этом разделе предлагается набор критериев конвергенции для анализа вариабельности эвакуация модельных предсказаний и тому же сценарию эвакуации (т.е. той же модели ввода, который включает дистрибутив или стохастические переменные) в отношении числа серий. Порядок определения оптимального количества трасс - по отношению к сценарию эвакуации, используемой модели и рамки моделирования - представлена . Объем настоящей работы является обеспечение количественный метод для оценки изменчивости, связанной с числом пробегов тому же сценарию эвакуации. Предложенный метод позволяет проводить анализ поведенческой неопределенности и прогноз средней кривой времени человек-эвакуация по отношению к предварительно определенным критериям приемлемости.

Метод исследования поведенческой неопределенности при моделировании эвакуации

Использование моделей, использующих стохастические/случайные величины для моделирования поведения человека создает необходимость систематического и количественного анализа поведенческой неопределенности. Для решения этой проблемы, в данном разделе представлена методика анализа поведенческой неопределенности в эвакуации моделирования [Рончи и др., 2013с]. Она включает в себя определение пяти критериям конвергенции для анализа временных кривых пассажир - эвакуационных производимых моделей эвакуации и процедуры для оценки оптимального количества серий в связи с заранее определенным критерием приемлемости.

Предложенная методика основана на определении набора конвергенции мер, которые достаточно описывают распределение кривых времени люди-эвакуация. Этот вопрос рассматривается путем построения ряда для каждой меры и демонстрации, что мера достаточно близка к ожидаемому значению, т. е. ряды сходятся к средней кривой времени человек-эвакуация.

Серия $S = \{s_i, \dots, s_n\}$ сходится к S_c , если для любого положительного действительного значения e существует n таким образом, $|S_c - s_n| < e$.

Серия представляет прогнозируемое время эвакуации моделей эвакуации на основе данных выборки. Это означает, что серия, скорее всего, не плавно сходится, следовательно, это может случиться, что $|S_c - s_{n+1}| > |S_c - s_n|$. Чтобы повысить уверенность, что серия достаточно конвергентна, добавлено требование, чтобы последние значения b в серий (меры сходимости) находились в пределах S_c . Для некоторых серий мы не могли бы знать, ожидаемое значение S_c , то есть значение, к которому ряд сходится. В этих случаях, последнее текущее значение серии используется в качестве наилучшей предполагаемой оценки значения к которой сходится серия.

Понятия функционального анализа

Прежде чем перейти к обсуждению критериев конвергенции, необходимо представить три понятия функционального анализа, а именно евклидову относительную разность (ERD), евклидову коэффициент проецирования (EPC) и секанс косинус (SC). Первоначальные применения этих понятий в области пожарной науки рассматриваются в работах Пикока и др. [1999] и Галлея и др. [2012b].

Единичное сравнение двух отдельных точек на кривой может быть сделано путем нахождения нормали разности между двумя векторами, представляющими данные. Нормаль представляет длину вектора. Расстояние между двумя векторами соответствует длине вектора и в результате дает разность двух векторов. Для общего вектора \vec{x} , нормаль представлена символом $\|\vec{x}\|$. Это понятие может быть расширено до нескольких измерений. Расстояние между двумя родовыми многомерными векторами \vec{x} и \vec{y} , следовательно, представляет собой нормаль разности векторов $\|\vec{x} - \vec{y}\|$. Евклидова относительная разность между двумя векторами может быть нормализована как относительная разность к вектору \vec{y} (см. уравнение 6).

$$ERD = \frac{\|\vec{x} - \vec{y}\|}{\|\vec{y}\|} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i)^2}} \quad [\text{Уравнение 6}]$$

Евклидова относительная разность (ERD) представляет, таким образом, общее соглашение между двумя кривыми.

Две составляющие могут рассматриваться при сравнении двух векторов, а именно расстояние между двумя векторами и угол между векторами.

Вводится понятие коэффициента проекции α . С геометрической точки зрения, вектор $\alpha\vec{x}$ представляет собой проекцию вектора \vec{y} на вектор \vec{x} (см. рис.)



Рис. Коэффициент проекции для двух векторов.

α определяет коэффициент, сокращающий расстояние между двумя векторами до минимума (см. рис.). Решение минимальной задачи найдено и соответствует уравнению 7.

$$\alpha = \frac{\|\vec{y}\|}{\|\vec{x}\|} \cos \beta \quad [\text{Уравнение 7}]$$

$\langle x, y \rangle$ – скалярное произведение двух векторов, т. е. произведение длины двух векторов и косинуса угла между ними. Скалярное произведение может быть истолковано как стандартное скалярное произведение, дающее уравнение 8.

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \quad [\text{Уравнение 8}]$$

Евклидов коэффициент проекции (EPC) может быть найден путем исследования минимальной задачи, т.е. исследования, когда производная функции равна нулю (см. Пикок и др. [1999] для полного решения минимума), что соответствует следующему уравнению:

$$\alpha = EPC = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{y}\|^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n (y_i)^2} \quad [\text{Уравнение 9}]$$

EPC определяет коэффициент, который при умножении на каждой точке данных вектора \vec{y} сокращает расстояние между векторами \vec{y} и \vec{x} до минимума, то есть наиболее точный подбор двух кривых. Понятие секанса косинуса (SC) также представлено. Он представляет собой меру разностей формы двух кривых. Это исследуется путем анализа первой производной обеих кривых. Для точек данных n , многомерный набор $n-1$ векторов может быть определен для приближения производной, что приводит к уравнению 10 [Пикок и др., 1999.]:

$$SC = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} = \frac{\sum_{i=s+1}^n \frac{(x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{s^2(t_i - t_{i-1})}}{\sqrt{\sum_{i=s+1}^n \frac{(x_i - x_{i-s})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})} \sum_{i=s+1}^n \frac{(y_i - y_{i-s})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})}}} \quad [\text{Уравнение 10}]$$

где:

t – мера расстояния между данными, т. е. $t = 1$, если существует точка данных для каждого человека;

s – количество точек данных в интервале;

n – количество точек данных в наборе данных.

Когда секанс косинус равен единице, формы двух кривых одинаковы. В зависимости от значения s , шум данных сглаживается. Пример влияния различных значений s на секанс косинус показан на рис. На рис. показаны две гипотетических кривых (полученные с помощью 120 значений x и y , соответствующих 120 произвольным точкам данных), которые включают шум или отсутствие шума. Сравнение форм двух кривых производится с использованием различных значений s . Например, на рис. показано, что если $s = 1$, весь шум учитывается при расчете секанс косинуса с применением уравнения 10, в то время как, если $s = 60$, шум сглаживается и кривая линия рассматривается как прямая при расчете секанс косинуса. На рис. показано, что использование более высоких значений s сокращает влияние шума при сравнении, например, секанс косинус стремится к 1 по отношению к увеличению значений s .

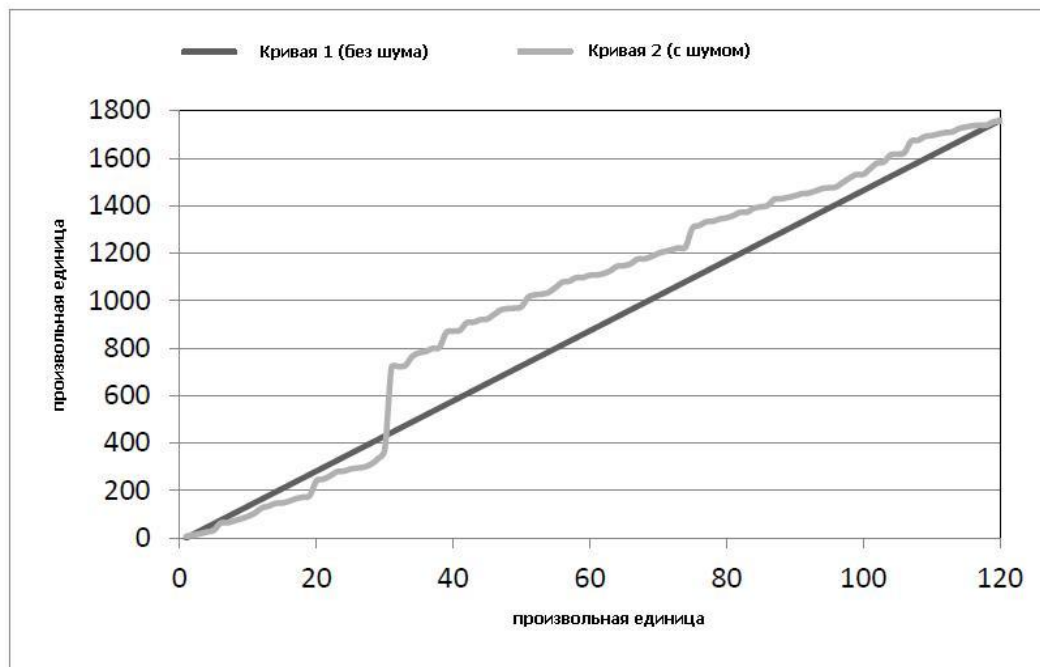


Рис. Предполагаемые кривые с шумом (серая кривая), и без шума (черная кривая) произвольная единица произвольная единица Кривая 1 (без шума) Кривая 2 (с шумом)

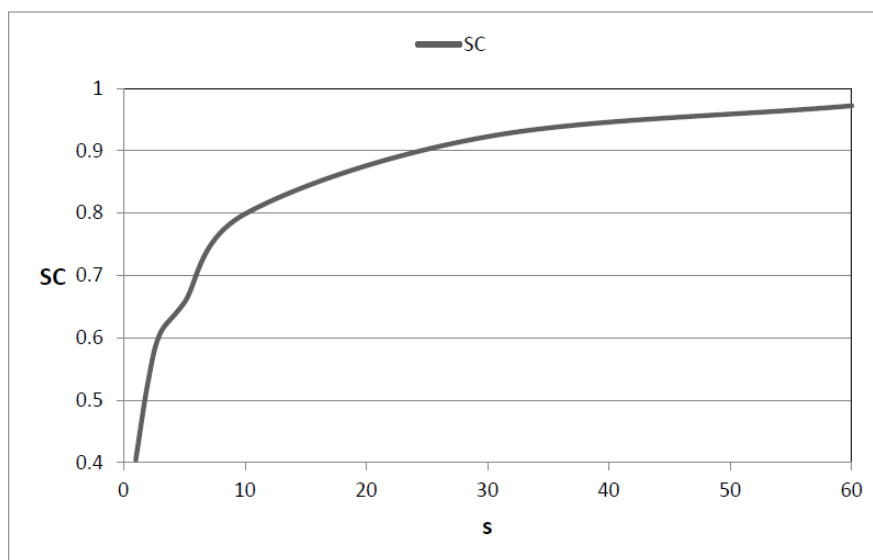


Рис. Секанс косинус относительно различных значений s .

Хотя s не должна быть слишком большой, так чтобы сохранялись естественные вариации в данных. Пример этому приводится на рис., где, учитывая гипотетический набор из 4 точек данных, различных значений s образуют либо $SC = 1$ для $s = 4$ (форма кривых выглядит одинаково) или $SC \neq 1$ в случае если $s = 1$ и $s = 2$.

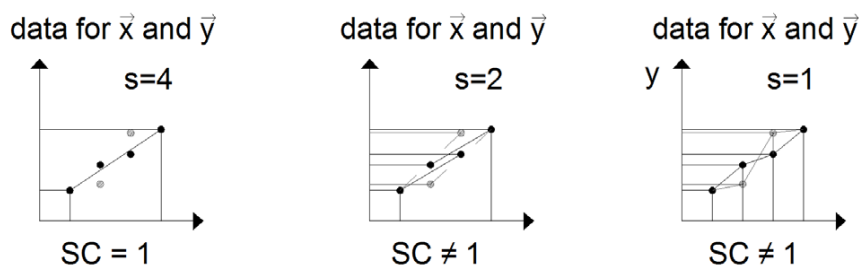


Рис. Схематическое изображение использования различных значений s при расчете секанс косинуса

Меры сходимости

Набор переменных вводятся для того, чтобы представить метод анализа прогнозы модели эвакуации, основанные на функциональном анализе и критериях конвергенции. Измеренные экспериментальные данные представлены с использованием вектора \vec{E} (см. уравнение 11), где E_i представляет собой измеренное время эвакуации для i -го человека.

$$\vec{E} = (E_1, \dots, E_n) \quad [\text{Уравнение 11}]$$

Например, в случае если $i=3$ людей, т. е. $\vec{E} = (E_1, E_2, E_3)$, E_1 – измеренное время эвакуации соответствующий человеку 1, E_2 – измеренное время эвакуации соответствующий человеку 2, а E_3 – измеренное время эвакуации, соответствующее человеку 3.

Моделируемое время представлено вектором \vec{m} (см. уравнение 12), где m_i – моделируемое время эвакуации i -го человека, а m_n – время эвакуации, соответствующие последнему человеку, покидающему здание.

$$\vec{m} = (m_i, \dots, m_n) \quad [\text{Уравнение 12}]$$

Следовательно, $\vec{m} = (m_1, m_2, m_3)$, где m_1 – моделируемое время эвакуации, соответствующее человеку 1, m_2 – моделируемое время эвакуации, соответствующее человеку 2, а m_3 – моделируемое время эвакуации, соответствующие человеку 3.

Моделируются несколько запусков одного и того же сценария. Моделируемое время эвакуации каждого человека i при каждом запуске j представлены с использованием n векторов \vec{m}_{ij} (см. уравнение 13). Здесь, q – общее число людей и n общее число запусков. Одно предположение, что люди подразделяются в соответствии с времени их эвакуации, т.е. люди могут покинуть здание в разном порядке при разных запусках.

$$\vec{m}_{ij} = m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{qn} \quad [\text{Уравнение 13}]$$

Учитывая девять запусков одного и того же сценария эвакуации с одними и теми же тремя людьми, могут быть получены 9 векторов \vec{m}_{ij} , где $i = 3$ и $j = 9$, т. е. $\vec{m}_{i1} = (m_{11}, m_{21}, m_{31})$, $\vec{m}_{i2} = (m_{12}, m_{22}, m_{32})$, $\vec{m}_{i9} = (m_{19}, m_{29}, m_{39})$.

Следующая представленная переменная связана с расчетом среднего арифметического значения запусков. Средняя кривая j времени эвакуации, полученная с помощью модели с учетом среднего арифметического значения всех запусков представлена с использованием n размерного вектора \vec{M}_j (см. уравнение

$$14), \text{ где } M_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{1j}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{2j}, \dots, M_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{qn}$$

$$\vec{M}_j = (M_1, \dots, M_j, \dots, M_n) \quad [\text{Уравнение 14}]$$

Учитывая предыдущий пример, то есть 3 человека и 9 запусков ($i = 3$ и $j = 9$), средняя кривая \vec{M}_1 соответствует значениям первого запуска. Средняя кривая для подгруппы набора из 4 запусков генерирует \vec{M}_4 , что соответствует арифметическим средним значениям до четвертого запуска. В случае всех 9 запусков, \vec{M}_9 соответствует арифметическим средним значениям всех запусков.

На рис. представлен вектор \vec{M}_j в отношении числа рассматриваемых запусков.

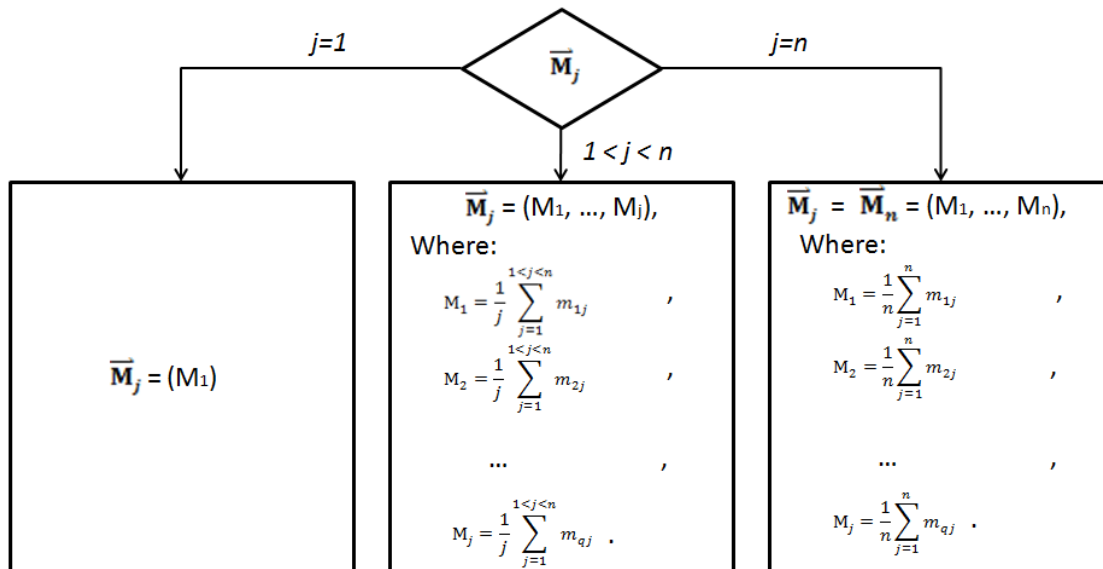


Рис. Вектор \vec{M}_j относительно числа запусков

Следовательно, если $j = 1$, $\vec{M}_j = (M_1)$, т.е. средняя кривая соответствует кривой первого запуска. Если $1 < j < n$, \vec{M}_j становится $\vec{M}_j = (M_1), \dots, M_j$, где $M_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1 < j < n} m_{1i}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1 < j < n} m_{2i}, \dots, M_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{1 < j < n} m_{ji}$. Тогда \vec{M}_j представляет среднюю кривую, соответствующую запускам $1 < j < n$. Учитывая 4 вектора \vec{m}_{ij} , соответствующие прогнозируемому

времени эвакуации для трех человек для запусков $j = 4$ $n = 9$,
 $\vec{M}_4 = (M_1 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{1<4<9} m_{1j}, M_2 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{1<4<9} m_{2j}, M_3 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{1<4<9} m_{3j})$.

Если $j=n$, \vec{M}_j становится $\vec{M}_n = (M_1, \dots, M_n)$, где
 $M_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{1j}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{2j}, \dots, M_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{nj}$.

Таким образом, \vec{M}_n представляет среднюю кривую, соответствующую всем запускам $j = n$. Например, если $n = 9$ запусков, $M_9 = (M_1 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 m_{1j}, M_2 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 m_{2j}, \dots, M_3 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 m_{3j})$.

Мера конвергенции 1: Общее время эвакуации (ТЕТ)

Вектор m_n может также называться TET_j , общее время эвакуации (также называемое Требуемое время безопасной эвакуации в контексте производительности на основе дизайна [Персер и Бенсилум, 2001]), соответствующее перспективе j . Таким образом, существует несколько смоделированных TET_j , каждый из которых соответствует запуску j для общего числа запусков n .

Общее время эвакуации TET_j для запусков n того же сценария смоделированные с моделью эвакуации могут быть представлены с использованием вектора $\vec{TET} = (TET_1, \dots, TET_n)$.

Среднее арифметическое от общего времени эвакуации для j запусков можно выразить с помощью TET_{avj} (см. уравнение 15):

$$TET_{avj} = \frac{1}{j} \sum_{i=1}^j TET_i \quad [\text{Уравнение 15}]$$

Множество всех n последовательных средних значений общего времени эвакуации TET_{avj} того же сценария смоделированного с моделью эвакуации представляет собой $TET_{av} = (TET_{av1}, \dots, TET_{avn})$. TET_{av1} предположительно соответствует значению в запуске 1, TET_{av2} – это среднее значение для $j=2, \dots$, TET_{avn} это среднее значение для $j=n$.

Применяя закон больших чисел, последовательное среднее общее время эвакуации TET_{avi} можно интерпретировать как сходящееся к ожидаемым значениям (среднее общее время эвакуации). Таким образом, может быть выполнена мера сходимости ряда.

Мера сходимости два последовательных средние всего раза эвакуации TET_{avj} (например, TET_{av1} и TET_{av2}) получается путем расчета TET_{convj} (см. уравнение 16). Это выражается (в %) в виде разности двух последовательных средней общей времени эвакуации, разделенной на среднее время последнего эвакуации. Это сближение мера предполагает, что наилучшее приближение ожидаемого значения (среднее общее время эвакуации) является последним среднее время эвакуации. Эта мера полезна для оценки влияния дополнительного пробега по средней прогнозируемой общее время эвакуации. Это производит в общей сложности $p = n - 1 TET_{convj}$.

$$TET_{convj} = \left| \frac{TET_{avj} - TET_{avj-1}}{TET_{avj}} \right| \quad [\text{Уравнение 16}]$$

Последнее значение TET_{convj} , соответствующее всем запускам n , составляет $TET_{convjFIN}$ (см. уравнение 17).

$$TET_{convj} = \left| \frac{TET_{avj} - TET_{avj-1}}{TET_{avj}} \right| \quad [\text{Уравнение 17}]$$

Мера конвергенции 2: Стандартное отклонение (SD) от общего времени эвакуации

При нормальном распределении общего времени эвакуации, сходимость переменных также может быть представлена с точки зрения стандартного отклонения от общего времени эвакуации.

j -ое стандартное отклонение SD_j для запусков n общего времени эвакуаторной того же сценария, смоделированного с моделью эвакуации, может быть представлено вектором $\vec{SD}_j = (SD_1, \dots, SD_n)$.

Кроме того, в этом случае применение закона больших чисел позволяет интерпретировать последовательные стандартные отклонения общего времени эвакуации SD_j как ряд сходящихся к ожидаемому значению (средние стандартные отклонения от общего времени эвакуации). Следовательно, мера сходимости ряда вероятна.

Мера сходимости двух последовательных стандартных отклонений SD_j (например, SD_1 и SD_2) получена путем вычисления SD_{convj} . Она выражается (в %) в виде разности двух последовательных стандартных отклонений, деленных на последнее стандартное отклонение (см. уравнение 18). Это дает в общей сложности $p = n - 1$ SD_{convj} . Эта мера сближения предполагает, что наилучшее приближение ожидаемого значения (среднее стандартное отклонение общего времени эвакуации) является последним стандартным отклонением общего времени эвакуации. Эта мера пригодна для оценки влияния дополнительного запуска на стандартное отклонение.

$$SD_{convj} = \left| \frac{SD_j - SD_{avj-1}}{SD_j} \right| \quad [\text{Уравнение 18}]$$

Последнее значение SD_{convj} , соответствующее всем запускам n , представляет собой $SD_{convjFIN}$ (см. уравнение 19).

$$SD_{convjFIN} = \left| \frac{SD_{avp} - SD_{avp-1}}{SD_{avp}} \right| \quad [\text{Уравнение 19}]$$

Мера конвергенции 3: Евклидова относительная разница (ERD)

Набор евклидовых относительных разностей (ERD) может быть рассчитан, каждый из которых соответствует двух последовательным парам векторов \vec{M}_j , представляющий прогрессивные средние кривые времени человек-эвакуация.

Вектор $\vec{ERD} = ERD_1, \dots, ERD_p$ состоит из p последовательного ERD_j , где $p = j - 1$, что соответствует среднему числу запусков j того же сценария смоделированного с помощью модели эвакуации. Например, в случае $j = 4$ запусков, $\vec{ERD} = ERD_1, ERD_2, ERD_3$, где ERD_1 рассчитывается из сравнения M_1 и M_2 , ERD_2 рассчитывается из сравнения M_2 и M_3 , а ERD_3 рассчитывается из сравнения M_3 и M_4 . M_1 представляет собой кривую от запуска 1, M_2 представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1 и запуска 2, M_3 представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1, запуска 2 и запуска 3. M_4 представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1, запуска 2, запуска 3 и запуска 4.

Последовательная ERD_j можно интерпретировать как ряд сходящегося к ожидаемому значению, равному 0 (в случае двух кривых одинаковых по величине). Таким образом, мера сходимости ряда вероятна. Мера сходимости двух последовательных евклидовых относительных разностей ERD_j , соответствующие двум подряд средних кривых \vec{M}_j может быть получена путем вычисления ERD_{convj} (см. уравнение 20). Это выражается как абсолютная величина разности двух последовательных евклидовых относительных разностей, ERD_j и ERD_{j-1} .

$$ERD_{convj} = |ERD_j - ERD_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 20}]$$

Последнее значение ERD_{convj} , соответствующее различиям между последними средними кривыми является $ERD_{convFIN}$ (см. уравнение 21).

$$ERD_{convFIN} = |ERD_p - ERD_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 21}]$$

Вычисление $ERD_{convFIN}$ позволяет оценить влияние числа запусков на общие различия между последовательными средними кривыми. $ERD_{convFIN}$ представляет поэтому инструмент для понимания неопределенности (например, *поведенческой неопределенности*), связанного с несколькими запусками индивидуального сценария эвакуации.

Мера конвергенции 4: евклидов коэффициент проекции (EPC)

Тот же тип мер конвергенции может быть получен для евклидового коэффициента проекции (EPC).

Последовательный EPC_j может быть интерпретирован как ряд сходящийся к ожидаемому значению, равному 1 (наилучшее согласование между двумя последовательными EPC_j). Таким образом, может быть выполнена мера сходимости ряда. В результате получаем уравнения 22 и 23.

$$EPC_{convj} = |EPC_j - EPC_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 22}]$$

$$EPC_{convFIN} = |EPC_p - EPC_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 23}]$$

EPC_{convj} позволяет оценить влияние числа запусков о возможное согласование между двумя последовательными средними кривыми. $EPC_{convFIN}$, таким образом, является еще одним показателем *поведенческой неопределенности*, связанной с несколькими запусками отдельного сценария эвакуации.

Мера конвергенции 5: секанс косинус (SC)

Меры конвергенции могут быть разработаны для секанс косинуса (SC). Последовательный SC_j можно интерпретировать как ряд, сходящийся к ожидаемому значению, равному 1 (случай двух одинаковых форм последовательных кривых). Таким образом, мера сходимости ряда могут быть выполнена и она представлена в уравнениях 24 и 25.

$$SC_{convj} = |SC_j - SC_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 24}]$$

$$SC_{convFIN} = |SC_p - SC_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 25}]$$

SC_{convj} позволяет понять влияние числа запусков на возможные различия между формами двух последовательных средних кривых. Таким образом, $SC_{convFIN}$ представляет переменную для понимания поведенческой неопределенности, связанной со средней формой моделируемых кривых, при определенном количестве запусков n того же сценария эвакуации. Форма кривой человек-эвакуация облегчает понимание полного процесса эвакуации, а не только общего времени эвакуации.

Метод оценки

В предыдущем разделе были представлены пять переменных, а именно $TET_{convjFIN}$, $SD_{convjFIN}$, $ERD_{convjFIN}$, $EPC_{convjFIN}$ и $SC_{convjFIN}$. Эти переменные характеризуют общее время эвакуации и кривые времени человек-эвакуация. Они используются для оценки сходимости результатов эвакуации по отношению к средним значениям. Эти переменные представляют основу для нового метода оценки. Предлагаемый способ обращается к двум ключевых аспектам моделирования эвакуации:

- 1) Анализ поведенческой неопределенности конкретного сценария эвакуации.
 - 2) Определение минимального числа запусков, чтобы получить устойчивую кривую эвакуации того же сценария по отношению к сценарию эвакуации и используемой модели.
- Предлагается итерационный метод для оценки результатов модели эвакуации. Данный метод основан на пяти этапах (см. рис.)

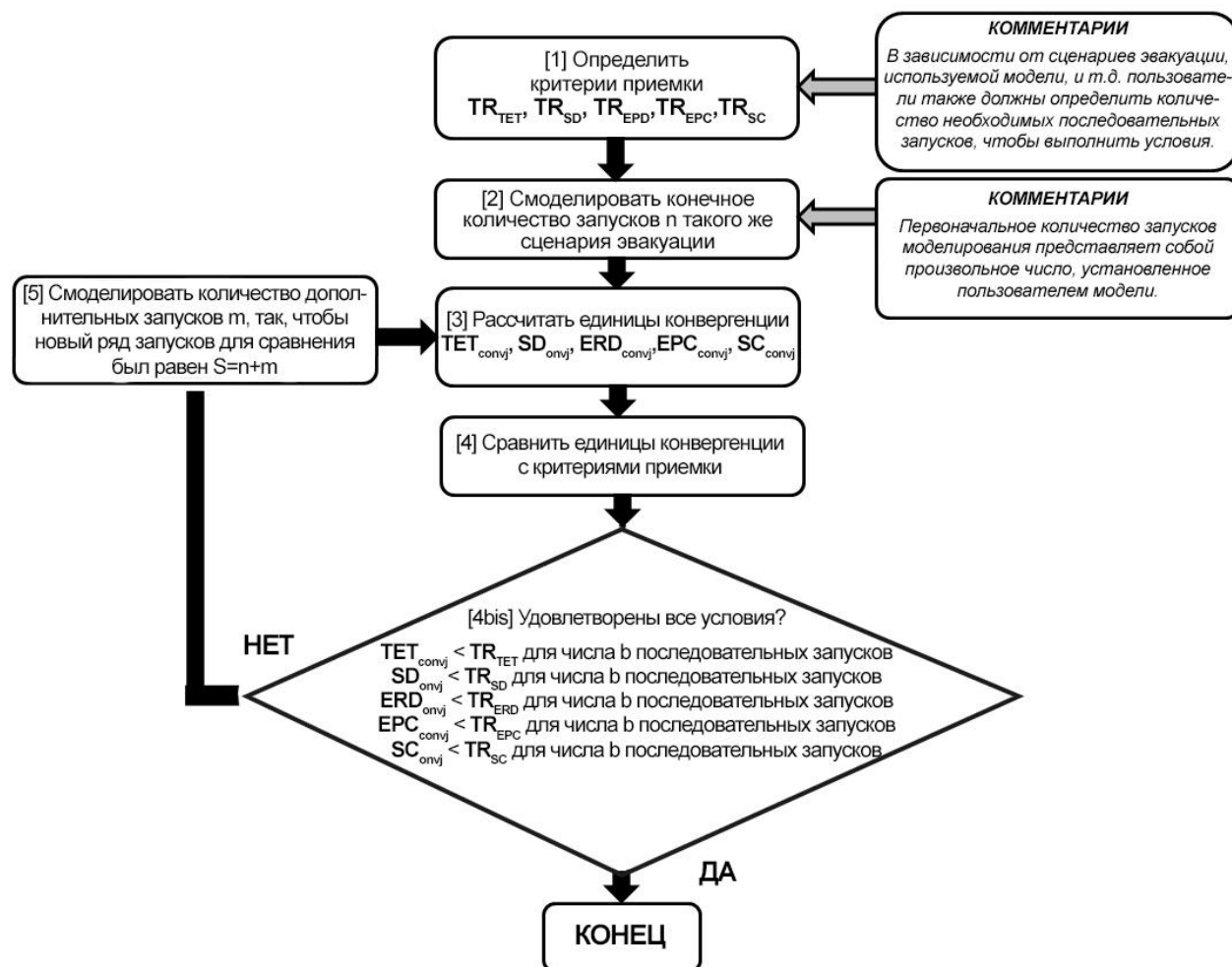


Рис. Схематическая блок-схема рекомендуемого метода оценки.

Этап 1. Определить критерии приемки. (см. [1] рис. 18)

Первый этап способа метода идентификации приемлемых порогов, которые должны быть достигнуты, т.е. приемлемой поведенческой неопределенности, связанной со средней кривой, полученной путем многократных запусков одного и того же сценария. Это связано с пользовательским обоснованием использования конкретных значений для распределений вариантов поведения. На самом деле, неопределенность, связанная с выбранным входом должны повлиять на выбор критериев конвергенции. Цель состоит в том, чтобы получить кривую эвакуации, который является достаточно стабильной данным объем анализа. Например, в случае использования эвакуации моделирования в контексте производительности на основе дизайна, выявление этих приемлемых порогов может быть основано на оцененную неопределенность в расчете ASET (доступное время безопасной эвакуации) производится с использованием огня модель. Такой подход позволяет совместный анализ неопределенности, связанной как с огня и эвакуации моделирования. Пять пороги (соответствующие пяти мер конвергенции) определены, а именно TR_{TET} , TR_{SD} , TR_{ERD} , TR_{EPC} , TR_{SC} . Следует отметить, что есть дополнительные критерии приемки, которые должны быть оценены, то есть конечное число последовательных пробегов b , для которых допустимые пороги нельзя пересекать. Это должно быть оценено для того, чтобы убедиться, что конвергенция меры являются стабильными при определенных порогах по заранее определенной количество серий. Это требование основано на предположениях, описанных в разделе 4.1. Большее значение для b приведет к более высокой уверенностью, что критерии приемки будут удовлетворены.

Идентификация критериев приемлемости может зависеть от нескольких факторов, таких как сценарии эвакуации, используемой модели, неопределенности входных параметров и т.д. Выбор критериев приемлемости - которые могут включать или не включать все меры конвергенции - может быть, определенных сама эвакуация модельер или от третьего лица.

Этап 2. Смоделировать конечное множество запусков n того же сценария эвакуации (см. [2] на Рис. 18)

Пользователи модели эвакуации выбирают произвольное начальное количество моделирования индивидуальному сценарию эвакуации, т.е. та же модель вход используется. Получены n векторы $\vec{m}_{ij} = (\vec{m}_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{qn})$, соответствующие моделируемому времени эвакуации каждого человека i в каждом из j запусков. Кривые времени человек-эвакуация получаются, подразделение людей производится относительно их времени эвакуации.

Вектор, соответствующий последовательным средним кривым $\vec{M} = (M_1, \dots, M_n)$ также создается.

Чтобы оптимизировать итеративный процесс, выбор начальной произвольного числа трасс может быть основана на качественной оценке сделанного эвакуации модельера изменчивости предсказанного результата данной модели вход рассматриваемой ситуации (например, на основе статистической соображения и размер выборки). Тем не менее, это решение - которая является текущей качественный метод принят эвакуации моделистов оценить оптимальное количество трасс - не является обязательным, поскольку предлагаемый метод позволяет количественное исследование о влиянии числа серий на кривой времени человек-эвакуация, выданное моделью.

Этап 3. Рассчитать меры конвергенции (см. [3] на рис. 18)

Меры конвергенции, представленные в предыдущих разделах рассчитываются для всех запусков, то есть, TET_{convj} , SD_{convj} , ERD_{convj} , EPC_{convj} и SC_{convj} .

Для того чтобы выполнить расчет секущих косинусов для всех трасс, пользователи модели должны также определить конечное множество значений для s , необходимой для расчета SC_{convj} . Как сказано в пункте 4.1.1, выбор значений для s опирается на набор данных в стадии рассмотрения. SC_{convj} рассчитываются для всех запусков столько с значениями по выбору модели пользователя.

Этап 4- 4-bis. Сравнить меры конвергенции с критериями приемлемости (см. [4 - 4-bis] на рисунке)

Пользователь модели сравнивает расчетные меры конвергенции против приемлемых порогов, определенных в течение этапа 1. Это производит пять испытаний, которые должны быть выполнены:

ИСПЫТАНИЕ 1:

$TET_{convj} < TR_{TET}$ для числа b запусков подряд [Уравнение 26]

ИСПЫТАНИЕ 2:

$SD_{convj} < TR_{SD}$ для числа b запусков подряд [Уравнение 27]

ИСПЫТАНИЕ 3:

$ERD_{convj} < TR_{ERD}$ для числа b запусков подряд [Уравнение 28]

ИСПЫТАНИЕ 4:

$EPC_{convj} < TR_{EPC}$ для числа b запусков подряд [Уравнение 29]

ИСПЫТАНИЕ 5:

$SC_{convj} < TR_{CS}$ для числа b запусков подряд [Уравнение 30]

Следует отметить, что критерии должны быть удовлетворены для заранее определенного конечного количества последовательных b запусков (как определено на этапе 1). Значения, соответствующие запуску j , когда условия будут проверены для b последовательных запусков представляют $TET_{convjFIN}$, $SD_{convjFIN}$, $ERD_{convjFIN}$, $EPC_{convjFIN}$ и $SC_{convjFIN}$.

Если пять условий все устраивает в течение заранее определенного числа последовательных прогонов, кривые, порожденные n трасс соответствуют критериям приемлемости, то есть кривая средних оценивается учитывая принимаются поведенческая неопределенность, связанная с числа серий (на основе принятия критерии). Если один или более из условия не выполняются, модель пользователь должен перейти к шагу 5.

Шаг 5. Выполнить ряд дополнительных моделирований m , так что новый ряд запусков для сравнения составлял $S = n + m$. (см. [5] на рис. 18)

Пользователь модели задает произвольное количество дополнительных моделирований для выполнения. Определение дополнительных запусков может быть установлено в соответствии с качественным анализом любых неудачных испытаний (см. уравнения 26-30). Новый набор $S = n + m \vec{S}_{ij}$ векторы $\vec{S}_{ij} = (S_{i1}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{is})$ соответствующих средних моделируемых раз эвакуации каждого пассажира я в каждом из j запусков получают. То же методология этапа 2 принята для того чтобы произвести временные кривые пассажир - эвакуационных, т. е. оккупанты, упорядоченных по отношению к их времени эвакуации. Модель пользователь теперь может повторно начать процедуру, начиная с этапа 3.

Пример применения метода оценки

Применение метода, представленного в предыдущем разделе описывается привести пример понятий. Учитывая пояснительной объем, например, данные, используемые в этом разделе, являются вымышленными, то есть, они не соответствуют реальным данным. Этот выбор был обусловлен отсутствием в настоящее время повторных экспериментальных данных, то есть метод был применен для изучения результатов моделирования. Данные создан для того, чтобы быть представителем полученных результатов с эвакуацией модели гипотетическом сценарии эвакуации. Фиктивный набор чисел производится с использованием Уичман и [1982] генератором псевдослучайных Хилла. В псевдослучайные числа используются в качестве входных для производства логнормальное - распределенных значений. Этот выбор был сделан для того, чтобы быть представителем гипотетическом сценарии эвакуации, которая зависит от времени предварительной эвакуации (которые, как правило, следуют логарифмически нормальное распределение [Персер и Бенсилум, 2001], Фиктивные данные затем используются для создания фиктивного индивидуальной эвакуации раз рассчитывается путем постепенного суммирования значения, полученные (чтобы быть представитель одного из гипотетического реального кейса, где эвакуации колеблется примерно между 1100 и с 1900 с). Например, если первый псевдослучайный генерируется число 12 с, а второй псевдослучайных генерируется число составляет 18 с, время эвакуации первого пассажира вне будет соответствовать 12 с, а время эвакуации второго пассажира вне будет составлять 12 с + 18 с = 30 с. процедура повторяется для всех 120 пассажиров (см. таблицу). пример одного из возможных кривой обеспечивается на рисунке предполагается, население состоит из 120 пассажиров. оценку числа серий для моделирования является неизвестной переменной в этом примере.

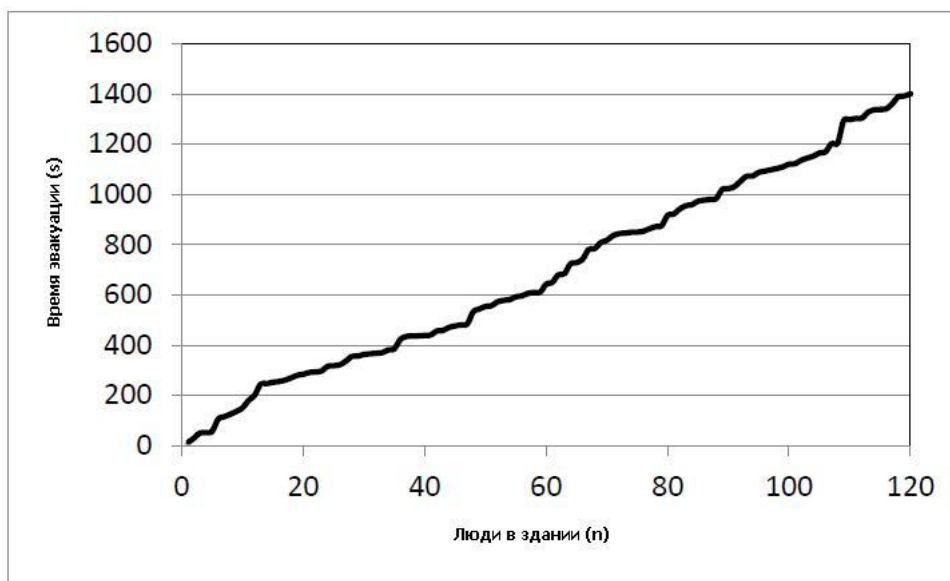


Рис. Вымышленные данные, представляющие одну из возможных кривую времени эвакуации.

Таблица. Пример вымышленных данных, представляющих одну из возможных кривую пассажиров-эвакуации.

Люди, покинувшие здание	Псевдослучайно генерируемое число	Время эвакуации (с)
1	12	12
2	18	30
3	21	51
4	8	59
...
120	...	1401

Этапы оценки метода применяются следующим образом.

Этап 1. Определить критерии приемки.

Этот этап имеет дело с определением пяти приемлемых порогов, TR_{TET} , TR_{SD} , TR_{ERD} , TR_{EPC} , TR_{SC} о влиянии числа запусков на прогнозируемые итоги модели эвакуации для того же сценария эвакуации (см. уравнения 31-35). Также определяется число последовательных запусков ($b = 10$), для которых пороги приемки должны быть достигнуты.

$$TR_{TET} = 0.5\% \quad [\text{Уравнение 31}]$$

$$TR_{SD} = 5\% \quad [\text{Уравнение 32}]$$

$$TR_{ERD} = 1\% \quad [\text{Уравнение 33}]$$

$$TR_{EPC} = 1\% \quad [\text{Уравнение 34}]$$

$$TR_{SC} = 1\% \quad [\text{Уравнение 35}]$$

Например, критерии допустимости удовлетворены, если $TET_{convj} < TR_{TET}$ в течение 10 последовательных запусков, $SD_{convj} < TR_{SD}$ в течение 10 последовательных запусков и т.д.

Следует отметить, что критерии приемки были выбраны с единственной целью показать процедуру, т. е. они не представляют рекомендованные значения для использования в реальном технико-анализа. Тем не менее, эти критерии представляют возможные значения в контексте пожарной техники безопасности и все виды неопределенности, связанные с результатами моделирования. В самом деле, авторы утверждают, что пороги ниже 5% позволило бы оценки необходимого безопасного времени выходного с достаточной степенью точности. Определение критериев будет зависеть от нескольких факторов, таких как тип сценария эвакуации, данные, находящиеся на рассмотрении, рамки анализа, неопределенность в входных параметрах и их распространения и т. д. На практике моделистов можете проверить сходимость меры на протяжении трасс и рассчитать прогрессивный разницу между пороговым значением и текущих значений каждого конвергенции меры. Модельер может также установить процент признанной разницы между порогами в b последовательных запусков.

Этап 2. Запустить конечное множество запусков n того же сценария эвакуации

Произвольное начальное число моделирований одного и того же сценария установлен на 35. $n = 35$ векторов 120 размеров $\vec{m}_{ij} = (\vec{m}_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{i2035})$, соответствующие моделируемому времени эвакуации каждого i человека (в общей сложности 120 человек) в каждом j запуске получены (для общего числа 35 запусков).

В данном примере, 35 фиктивных кривые были получены с использованием метода, описанного в начале раздела 3. Они приводят к 35 кривых показанных на рис. Кривые, представленные на рисунке являются представителями множества повторных результатов эвакуации модели в случае гипотетического сценария эвакуации для логнормального распределения времени эвакуации [Рончи и Нильссона, 2013]. Следует отметить, что форма кривых эвакуации может отличаться от примера, приведенного здесь (например, s-образные кривые человека-эвакуации). Метод основан на мерах конвергенции, которые независимы от формы кривых, и, таким образом, могут быть применимы для любого типа кривой.

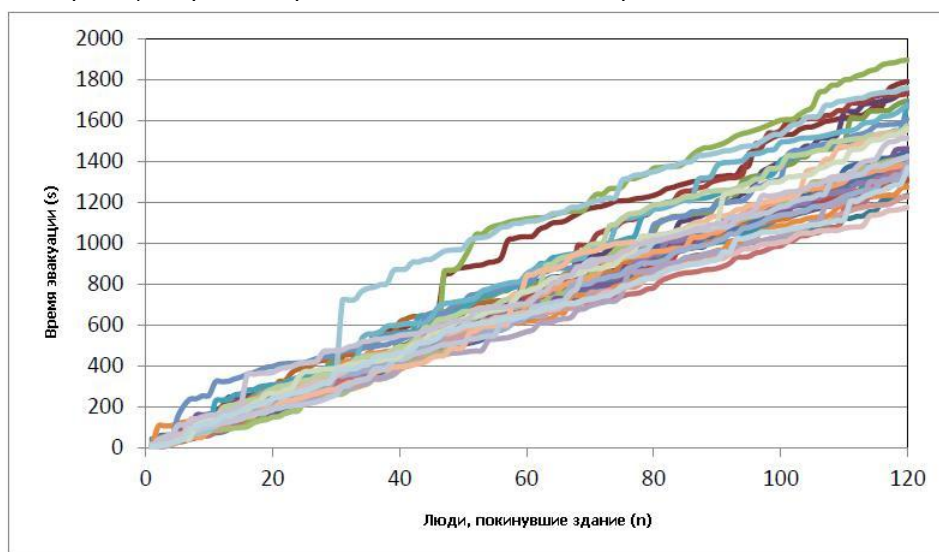


Рис. Вымышленные данные, представляющие 35 запусков одного и того же гипотетического сценария эвакуации.

Также генерируется вектор $\vec{M} = (M_1, \dots, M_{35})$, соответствующий последовательным средним кривым.

Этап 3. Рассчитать меры конвергенции

Меры конвергенции, представленные в предыдущих разделах рассчитываются для всех 35 серий, то есть, TET_{convj} , SD_{convj} , ERD_{convj} , EPC_{convj} и SC_{convj} в соответствии с уравнением 16, уравнением 18, уравнением 19, уравнением 21 и уравнением 24, соответственно. В этом примере было использовано одно значение для s в уравнении 24, а именно $s=4$. Результаты представлены в таблице в Приложении.

Этап 4-4-bis. Сравнить меры конвергенции с критериями допустимости

Результаты для 35 запусков сравниваются с критериями приемлемости, определенных в шаге 1 (см. также Уравнения 25-29). Таблица в Приложении приведены результаты испытаний в отношении числа серий. Когда окно показывает «FAILED» («ОТКАЗ»), это означает, что испытание не удалось. Когда испытание пройдено, окно остается пустым. После 10 запусков подряд (с учетом критериев приемлемости, определенных в шаге 1), когда передается тест, коробка показывает «ОК», что означает, что критерии приемки были выполнены.

В этом испытание 1 не удалось, испытание 2 пройдено после 25 запусков, испытание 3 выполнено после 26 запусков, испытание 4 не удалось, и испытания 5 выполнено после 15 запусков. Это означает, что наша прогнозируемая кривая соответствует критериям допустимости в отношении стандартного отклонения от общего времени эвакуации, евклидовой относительной разности и секанс косинуса. Тем не менее, есть два критерия, которые не были выполнены (Общее время эвакуации и евклидовой проекции коэффициент). Поэтому, необходимо приступить к стадии 5, проводя дополнительные запуски.

Этап 5. Выполнить ряд дополнительных моделирований m , так, чтобы новый ряд запусков для сравнения составлял $S = n + m$.

Другой набор запусков $m=35$ того же сценария – соответствующий дополнительным 35 кривым времени человек-эвакуация – считаются в общей сложности $S = n + m = 35 + 35 = 70$ запусков. В этом примере дополнительные фиктивные данные, полученные с использованием такого же метода, как первые 35 кривых. Новый набор $S = n + m$ векторов $\vec{S}_{ij} = (S_{i1}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{iS})$, соответствующих среднему моделируемому времени эвакуации каждого из 120 человек i в каждом из 70 j запусков для которых определены S . Метод оценки повторяется для $S=70$ запусков, начиная с этапа 3, называемый здесь этап 3.2.

Этап 3.2. Рассчитать меры конвергенции

Неисправный меры конвергенции рассчитаны для $S=70$ запусков, то есть, TET_{convj} и EPC_{convj} для нашего исследования.

Этап 4.2 - 4.2bis. Сравнить меры конвергенции с критериями допустимости

Результаты для $S=70$ запусков снова сравниваются с критериями допустимости, установленными в этапе 1. В таблице в приложении показаны результаты испытаний, которые ранее проходили безуспешно относительно количества запусков.

В таблице показано, что испытание 4 осуществляется после 40 запусков. Примером числа запусков, необходимых для выполнения различных критериев TR_{TET} (где $TET_{convj} < TR_{TET}$ для 10 запусков подряд) для рассматриваемого фиктивного набора данных показано на рис. Серая вертикальная линия относится к критерию допустимости $TR_{TET} = 0,5\%$, который был выбран для анализа общего времени эвакуации на этапе 1. Испытание 1 пройдено после 61 запусков, если критерии конвергенции составляет $TET_{convj} < 0,5\%$ при 10 запусках подряд, что означает, что наша прогнозируемая кривая теперь соответствует всем критериям допустимости.

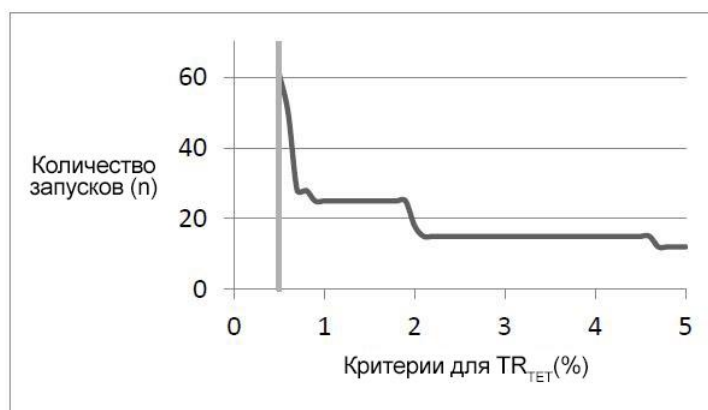


Рис. Количество необходимых запусков относительно различных критериев TR_{TET}

Анализ тенденции мер конвергенции пригоден для получения общей информации о типе рассматриваемого набора данных. Например, можно оценить поведенческую неопределенность и, следовательно, оценить влияние использования стохастических переменных/распределений на результаты модели эвакуации.

Пример из данных тематического исследования в пункте 4.1.3 представлен на рис., где TET_{convj} и SD_{convj} а так же на рис., где показаны ERD_{convj} , EPC_{convj} и SC_{convj} (меры конвергенции рассчитываются для общего среднего числа 140 последовательных запусков, т.е. было рассчитано 70 дополнительных запусков).

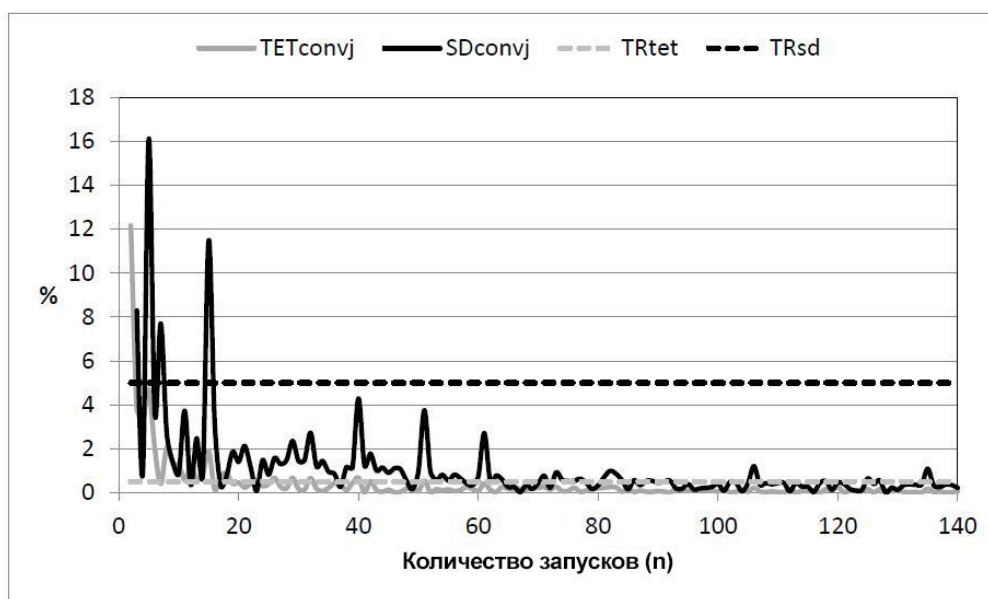


Рис. TET_{convj} , SD_{convj} относительно последовательного среднего количества запусков (выраженные в %).

На рис. показано, что стандартное отклонение времени эвакуации SD_{convj} последнего эвакуируемого человека является самой медленно сходящейся переменной в приведенном здесь примере. Вместе с TET_{convj} эти переменные пригодны для понимания изменчивости общего времени эвакуации по отношению к количеству запусков. Оценка неопределенности (включая поведенческую неопределенность), связанную с общим временем эвакуации является ключевым аспектом расчета пожарной безопасности, поскольку она представляет собой RSET (время требуемой безопасной эвакуации) [Гвинн и др., 2012b], время, необходимое на безопасную эвакуацию всех людей.

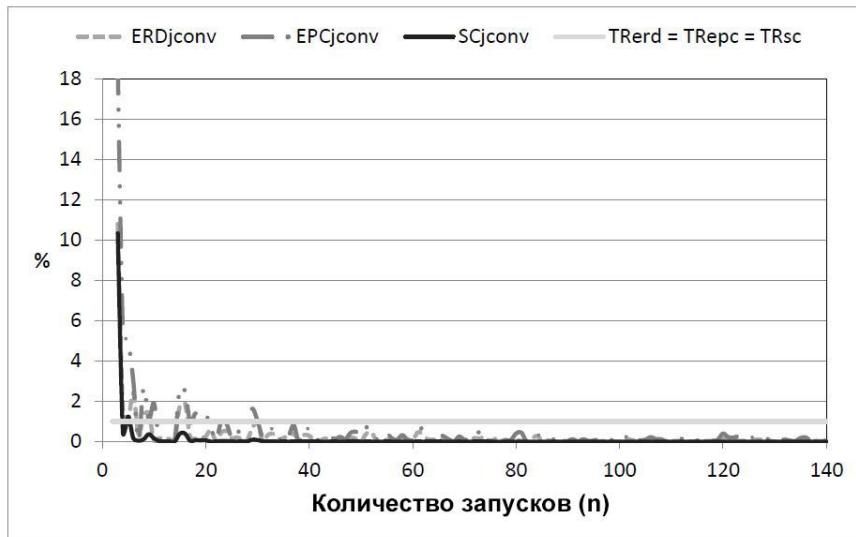


Рис. ERD_{convj} , EPC_{convj} и SC_{convj} относительно последовательного среднего количества запусков (выраженные в %).

Анализ сходимости ERD_{convj} , EPC_{convj} и SC_{convj} также вносит значительный вклад в понимание поведенческой неопределенности, поскольку позволяет рассчитать изменчивость прогнозируемых кривых времени человек-эвакуация относительно количества запусков. Эти меры позволяют изучать всей кривой человек-эвакуация, а не анализ, основанный только на изучении общего времени эвакуации. В приведенном здесь примере, меры сходимости составляют ниже 2,5% после 17 запусков, что позволяет провести оценку среднего кривой времени человек-эвакуация с допустимой изменчивостью 2,5% за относительно небольшое количество запусков.

Моделирование дополнительных 70 запусков (для общего числа 140 запусков на рис.) показывает, что, как и ожидалось, результаты продолжают сходиться и эффект поведенческой неопределенности по среднему времени эвакуации постепенно сокращается. Тем не менее, если критерии допустимости включают требование ниже пороговых значений для достаточного количества последовательных запусков (т.е. критическое число, которое пользователь модель должен выбрать в зависимости от рассматриваемого сценария для того, чтобы верифицировать устойчивость сходимости), моделирование дополнительных запусков не дает никаких дополнительных преимуществ для специалиста, проводящего моделирование. Выбор числа запусков оптимизирован в отношении заранее установленных критериев допустимости и нет необходимости проводить дополнительные запуски.

Статистическая оценка неопределенности, связанной с использованием мер конвергенции может быть выполнена относительно количества запусков. Это включает в себя изучение неопределенности выборки среднего значения общего времени эвакуации и выборки стандартных отклонений.

Предположим, что каждое общее время эвакуации в векторе TET является суммой случайных величин, соответствующих межвременным значениям времени между каждым человеком. Используя центральную теорему предельных значений, серия, соответствующая вектору TET состоит из предполагаемых нормально распределенных значений $TET_j \sim N(\mu, \sigma^2)$, где μ – истинное среднее значение, а σ^2 – истинная дисперсия. Выборочная дисперсия составляет:

$$s^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (TET_j - TET_{avj})^2}{n-1} \quad [\text{Уравнение 36}]$$

Где n – число запусков. Применяя теорему Кокрена, $s^2 \sim \frac{\sigma^2}{n-1} \chi_{n-1}^2$, что является chi-квадратным распределением со степенью свободы $n-1$. Затем дисперсия выборочной дисперсии, $Var(s^2)$, соответствует следующему уравнению:

$$Var(s^2) = Var\left(\frac{\sigma^2}{n-1} \chi_{n-1}^2\right) = \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right)^2 Var(\chi_{n-1}^2) = \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right)^2 2(n-1) = \frac{2\sigma^4}{n-1} \quad [\text{Уравнение 37}]$$

Стандартное отклонение выборки s распространяется в виде χ^2 -распределения со степенью свободы $n-1$, т. е. $s^2 \sim \frac{\sigma^2}{\sqrt{n-1}} \chi_{n-1}^2$. Поэтому дисперсия стандартных отклонений данных выборки соответствует:

$$\begin{aligned} Var(s) &= Var\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \chi_{n-1}\right) = \frac{\sigma^2}{n-1} Var(\chi_{n-1}) \\ &= \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right) \left[n-1 - 2 \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \right\}^2 \right] \end{aligned} \quad [\text{Уравнение 38}]$$

Где $\Gamma(n)$ – гамма-функция. Таким образом, можно оценить относительное стандартное отклонение (относительная разница между использованием образцов стандартных отклонений и стандартных отклонений, соответствующих истинного распределения):

$$\text{относит.станд}(s) = \sqrt{\frac{n-1 - 2 \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \right\}^2}{n-1}} \quad [\text{Уравнение 39}]$$

Эта информация позволяет оценивать неопределенность, связанную с использованием предполагаемых стандартных отклонений SD_j занятых в метода оценки по отношению к количеству рассматриваемых запусков.

Кроме того, можно выполнить оценку неопределенности, связанной с использованием оценки дисперсии s^2 выборки данных при вычислении средней пробы общее время эвакуации TET_{avj} . В самом деле, среднее значение общего времени эвакуации TET_{avj} распространяется как $\frac{s}{\sqrt{n}} t_{n-1} + \mu$, где t_{n-1} – случайная величина t студента со степенью свободы $n-1$.

Поэтому дисперсия выборки средней TET_{avj} соответствует:

$$Var(TET_{avj}) = \frac{s^2}{n} \frac{n-1}{n-3} \quad [\text{Уравнение 40}]$$

И неопределенность TET_{avj} представляет собой:

$$SD(TET_{avj}) = s \sqrt{\frac{n-1}{n(n-3)}} \quad [\text{Уравнение 41}]$$

Таким образом, можно оценить неопределенность, связанную с числом запусков при использовании выборки TET_{avj} .

На сегодняшний день поведенческая неопределенность обычно лечат только в качественном образе (выполнение качественную оценку числа серий для моделирования). Утверждается, что данная работа будет способствовать эвакуации пользователей модели производить количественную обработку этого типа неопределенности данной простота предложенного метода. Предлагаемый способ может появиться дорогостоящим по сравнению с моделированием низкой произвольного числа прогонов. Тем не менее, это позволяет экономить время вычислений, так как это позволяет оценить точное количество трасс, необходимых для получения предварительно определенного уровня точности.

Преимущества, получаемые при использовании метода применять для разработки исследований, а также проверки модели. Предлагаемый способ позволяет оценку сходимости моделируемой кривой житель - эвакуации к средней кривой, тем самым, увеличивая значимость предсказаний модели. Это отражено в лучшего понимания изменчивости RSET и возможной оценки запаса прочности конкретной конструкции по отношению к поведенческой неопределенности.

С точки зрения проверки модели, на сегодняшний день, две противоположные подходы могут быть использованы для представления модели сравнение с экспериментальными данными, а именно: 1) использование лучшей оценки модели для кривой времени пассажир -эвакуаторной или 2) среднее время пассажир -эвакуаторной кривая. Метод, представленный в этом разделе увеличивает удобство второго подхода, так

как это позволяет тщательный количественный понимание средних кривых производимых моделей эвакуации. Будущая работа основана на представленному способу, поэтому определение протокола эвакуации модели проверки, которая использует сходимость мер по оценке различия между прогнозами модели и экспериментальных данных с учетом поведенческого неопределенности.

Возможное дополнительное применение метода, представленного в этом документе, могут быть его использование для сравнения предсказаний модели производимых различными моделями эвакуации. Было бы на самом деле можно количественно оценить влияние стохастических переменных и допущений, использованных различными моделями эвакуации дали тот же сценарий эвакуации. Кроме того, такой же подход может быть использован для оценки другой тип результатов эвакуации модели, такие как уровень нагрузки, расстояния перемещения и т.д.

Набор ограничений предложенного метода можно определить как с точки зрения ее предположениях, а также возможность его применения.

Первое ограничение метода является то, что он использует понятия сходимости в среднем и центральную предельную теорему, а не статистической оценки ожидаемых значений. Следовательно, выбор требованием для конечного числа последовательных пробегов b , для которых приемлемые пороги не должны скрещенных должны быть тщательно оценены модельера по отношению к данным, находящимся на рассмотрении. Это ограничение смягчается простотой предлагаемого метода, то есть, он может применяться по эвакуации моделистов анализировать поведенческие неопределенности без сложной умозаключений статистической обработки данных, что может потребовать времени и опыта пользователя.

Другое ограничение метода связано с предположениями, что кривые эвакуации могут быть одинаковыми между модель работает даже в случае различных поведений, т.е. темпы прибытия к выходам такие же, но они относятся к разным пассажиров или различных выходов.

Что касается метода применимости, несколько наборы данных из одного сценария эвакуации редко имеются в наличии в литературе. Это делает его трудно изучать влияние поведенческого неопределенности на экспериментальных данных. Учитывая нынешний этап экспериментальных исследований эвакуации, предложенный метод используется главным образом для анализа поведенческой неопределенности в результатах моделирования. После того, как дополнительные экспериментальные данные по отдельным сценариям будут доступны, исследователи смогут использовать те же понятия, введенные в этой работе для анализа поведенческой неопределенности в экспериментальных данных.

Без нескольких экспериментальных данных, один эксперимент часто является единственным ссылкой на этом конкретном сценарии эвакуации, но не ясно, представляет ли это среднее поведение или стоит особняком. На самом деле, оценка экспериментальных и эвакуация модельных результатов может также включать анализ хвостов распределения, а не анализ пиков (т.е. средние значения). Тем не менее, авторы утверждают, что изучение в среднем предсказаний модели вместе с изменчивостью результатов по всему среднему считается полезным методом для анализа поведения неопределенности. Поведение человека в пожарный исследовательского сообщества осознает отсутствия экспериментальных данных и необходимости восполнить этот пробел с усилий по сбору данных [20]. В последние годы значительные усилия по сбору данных были проведены (проводились например несколько проектов по различным аспектам/условиям процесса эвакуации с помощью нескольких инструментов, чтобы помочь сбор и качество данных [Гвинн, 2013]). Таким образом, можно утверждать, что рассматривает долгосрочную перспективу, можно будет оценить поведенческие неопределенности также для экспериментальных данных (что делает метод, предложенный в работе применяется также для решения данного вопроса).

Метод представлена с помощью тематическое исследование на основе псевдослучайных генерируемых чисел. Будущая работа может быть основана на анализе результатов модели эвакуации из реальной примера мировой. Например, если повторные экспериментальные данные (что позволит расширить список наборов данных в разделе 3.2.1), метод будет полезен для оценки поведения неопределенности при выполнении аттестационных испытаний. Таким образом, необходимость для сбора повторных экспериментальных данных считается необходимым шагом для выполнения надежных проверочных исследований.

Обзор протокола верификации и валидации

В этом разделе рассматриваются определение стандартного протокола верификации и валидации для эвакуации моделирования. Объем этого раздела не предоставлять критерии приемки о результатах модельных, но, чтобы открыть дискуссию по вопросам, связанным с их определением.

На сегодняшний день нет стандартного протокола верификации и валидации для оценки результатов модели эвакуации здания. Мало исследований было проведено по методам оценки прогнозных возможностей построения моделей эвакуации. Лорд и др. [2005] обсудили вопросы, связанные с неопределенностью и изменчивостью в исходящих данных и вычислительных методов для выходного анализа. В частности, они применяются, и уточнить способ анализа неопределенности. Этот метод включает в себя анализ чувствительности для изучения влияния различных параметров модели по результатам порожденных моделей (то есть, модель ввода неопределенности [Хэмминс и Макгрэттен, 2007]). Раз эвакуации представляют собой основную переменную рассматриваемого в Лорд и др. [2005]. Галей и др. [2012a] указал, что просто предсказывать время эвакуации для населения в целом не является достаточным для определения точности представления процесса эвакуации. По этой причине они применяются концепцию функционального анализа, представленного Пикок и др. [1999] и в документе ISO 16730 [Международная организация по стандартизации, 2008] для сравнения прогнозов модели и экспериментальных данных для полных кривых времени пассажир – эвакуация. Метод Галей и др. С [2012a] позволяет оценку возможностей прогнозирования моделей

эвакуации, анализирующих весь процесс эвакуации. Раздел 4 данного документа представляет собой метод, основанный на критериях сближения для изучения поведенческих неопределенностей. Этот метод устраняет изучение поведенческой неопределенности, т. е. изменчивость эвакуации модельных прогнозов в отношении числа серий и использование стохастических алгоритмов/распределений. Следует также отметить, что использование предлагаемого способа не зависит от типа алгоритмов/распределений, используемых рассматриваемой модели, то есть метод может быть применен для любого эвакуации модели.

Два противоположных подхода могут быть использованы для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, а именно: 1) использование лучшей оценки модели для кривой времени пассажир - эвакуаторной [Галея и др., 2012b], или 2) среднее время кривой пассажир - эвакуация. Метод, представленный в разделе 4 настоящего документа повышает удобство и простоту использования второго подхода, так как это позволяет тщательный количественный понимание средних кривых производимых моделей эвакуации. Это позволяет оценку сходимости моделируемой кривой пассажир -эвакуаторной к средней кривой, тем самым увеличивая понимание предсказаний модели. Это отражено в лучшего понимания изменчивости RSET и возможной оценки запаса прочности конкретной конструкции по отношению к поведенческой неопределенности.

Текущее состояние экспериментальных исследований эвакуации не позволяет полное понимание всех неопределенностей, связанных с экспериментальными данными по жильца поведения во время эвакуация здания при пожаре (погрешность измерения, внутренняя неопределенность и поведенческая неопределенность). Влияние поведенческой неопределенности по итогам эвакуации может быть сценарий в зависимости от, но его оценка имеет решающее значение для полного понимания процесса эвакуации. Тем не менее, несколько наборов данных из одного сценария эвакуации редко имеются в наличии в литературе, что делает его трудно оценить поведенческие неопределенность экспериментально.

Если повторные экспериментальные данные одиночных сценариев эвакуации доступны, можно было бы сравнить несколько пробегов модели для нескольких кривых данных. Таким образом, различные модели может быть подтверждено изучением сходимости их результатов по отношению к среднему по отношению к конвергенции различных экспериментальных кривых. Метод, представленный здесь, позволит изучение модельных прогнозов в связи с соглашением между сходимости результатов моделирования и экспериментальных наборов данных.

Метод, представленный в данном документе, также могут быть использованы, чтобы сравнить различные модели прогнозирования друг против друга. Метод может быть использован для ранжирования разных моделей с точки зрения их согласии с экспериментальными наборов данных, что позволяет оценку высоких моделей исполнительских в отношении моделей с малых конвергенции мер.

Необходимость дополнительных экспериментальных данных по строительству сценариев эвакуации очевидно для того, чтобы полностью оценить критерии приемлемости включены в проверку и протокола валидации. Несколько вопросов влияет на определение этих критериев приемки. Как критерии приемки должны быть определены в зависимости от предполагаемого использования модели? Как мы определяем критерии приемки по отношению к текущей отсутствия знаний о человеческом поведении в огонь и неопределенности, связанной с человеческого фактора наборов данных? Кто должен устанавливать критерии? (А) разработчики модели, (Б) третья сторона (например, институциональные организации, например Международная морская организация, Международная организация по стандартизации и т.д.), (С) модельные пользователи, или (D) совместными усилиями всех участвующих сторон? Эти вопросы не имеют простых ответов, и они требуют обсуждения между всеми заинтересованными сторонами.

Критерии будет зависеть от двух основных факторов, а именно 1) цели использования модели и 2) неопределенности, связанной с эталонными данными и его природы. Второй аспект связан с типом теста рассматриваемого, является ли это идеальный случай, экспериментальный набор данных или фактического эвакуация набор данных. Предлагаемые критерии приемлемости уже доступны в литературе для различных контекстах использования [Майер- Кениг и др., 2007, Галея и др., 2012a]. Тем не менее, есть необходимость для широкого обсуждения в рамках эвакуации моделирования сообщества о том, следует ли они быть только минимальные критерии (то есть должны модели достижения предложил пороги, они не будут автоматически становятся «сертифицированные модели», и это является обязанностью конце пользователям оценить уверенность, чтобы положить в модельных прогнозов) и в какой степени различные стороны должны быть вовлечены в определение критериев и оценки верификации и валидации.

ASTM E 1355-05a Оценка прогнозирующей способности детерминированных моделей пожаров

Область применения

В настоящем руководстве представлена методология оценки прогнозирующей способности модели пожара для конкретного применения. Целью настоящего руководства является рассмотрение полного спектра детерминированных численных моделей, которые могут использоваться при оценке внешних и внутренних воздействий пожаров на конструкции.

Методология оценки 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 при прогнозировании хода событий в аналогичных сценариях пожаров.

Настоящий стандарт не ставит задачу рассмотреть все вопросы безопасности, связанные с его применением, если таковые имеются. Перед применением настоящего стандарта пользователь обязуется принять меры по обеспечению надлежащего уровня безопасности и охраны здоровья, а также определить возможности применения регулятивных ограничений.

Настоящее руководство предполагает понимание принципов применения анализируемой модели и ее ограничений в соответствии с описанием, представленным в руководстве E 1895.

Настоящий стандарт по пожарной безопасности не предназначен для предоставления количественных данных.

Нормативные ссылки

*Стандарты Американского общества по испытанию материалов (ASTM):**

E 176 Terminology of Fire Standards/*E 176 Терминология стандартов по пожарной безопасности*

E 603 Guide for Room Fire Experiments/*E 603 Руководство по пожарным испытаниям в помещении*

E 1472 Guide for Documenting Computer Software for Fire Models/*E 1472 Руководство по составлению документации для компьютерного программного обеспечения для моделей пожаров*

E 1591 Guide for Data for Fire Models/*E 1591 Руководство по данным для моделей пожаров*

E 1895 Guide for Determining Uses and Limitations of Deterministic Fire Models/*E 1895 Руководство по определению принципов использования и ограничений детерминированных моделей пожаров*

Стандарты Международной организации по стандартизации (ISO):

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement[†]/*Руководство по выражению неопределенности в измерениях.*

Термины и определения

Определения: Термины и определения, используемые в настоящем руководстве и связанные с вопросами пожарной безопасности, соответствуют терминологии стандартов E 176 и ISO 13943. При возникновении противоречий, преимущественную силу имеют термины и определения стандарта E 176.

Термины и определения, используемые в настоящем стандарте:

Оценка модели (model evaluation) – процесс измерения точности выбранных результатов модели при ее использовании в конкретных целях.

Валидация модели (model validation) – процесс определения степени соответствия вычислительного метода реальности, с точки зрения предполагаемых принципов использования вычислительного метода.

Пояснение: основной стратегией валидации является выявление и количественная оценка ошибки и неопределенности в концептуальных и вычислительных моделях с учетом их предполагаемого использования.

Верификация модели (model verification) – процесс проверки, что реализация вычислительного метода точно отражает концептуальное описание вычислительного метода, составленное разработчиком, и решение к данному вычислительному методу.

Пояснение: основной стратегией верификации вычислительных моделей является выявление и количественная оценка ошибки в вычислительной модели и ее решении.

Воспроизводимость модели (model precision) – означает ее детерминирующую способность и повторяемость.

Точность модели (model accuracy) – означает то, насколько верно модель воспроизводит развитие реального пожара.

Обзор руководства

В настоящем руководстве дается описание рекомендуемого процесса оценки прогнозирующей способности пожарных моделей. Данный процесс включает в себя краткое описание модели и сценариев, требующих оценки. Затем представлены методологии проведения анализа для расчета чувствительности прогнозов модели к разным неопределенным факторам и некоторые варианты оценки точности прогнозов модели. Исторически, численная точность была связана с размерами и ошибками временного шага. Более полная оценка должна включать в себя пространственную дискретизацию. В заключение, даются рекомендации касательно документации, необходимой для подведения итогов процесса оценки.

* Указанные в нормативных ссылках стандарты Американского общества по испытанию материалов (ASTM) можно найти на официальном сайте www.astm.org или заказать в отделе по работе с клиентами, написав на электронный адрес: service@astm.org. Информацию о Ежегодном сборнике стандартов ASTM (*Annual Book of ASTM Standards*) можно найти на соответствующей странице официального сайта ASTM.

[†] В наличии в Американском национальном институте по стандартизации (ANSI), 11 Западная 42-я улица, эт. 13, г. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, NY 10036 (11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036).

Значимость и применение

Процесс оценки модели крайне важен для определения допустимого применения и ограничений моделей пожаров. Дать глобальную оценку модели не представляется возможным; вместо этого настоящее руководство предлагает методологию для оценки прогнозирующих способностей модели при ее конкретном применении. Валидация модели для какого-либо одного типа применения или сценария не подразумевает ее валидации для других типов сценариев. Рассматриваются несколько вариантов осуществления процесса оценки, включая сопоставление прогнозируемых данных с данными стандартных пожарных испытаний, натурных пожарных испытаний, опыта полевых испытаний, опубликованных источников или ранее оцененных моделей.

В настоящее время модели пожаров широко применяются за пределами научно-исследовательских лабораторий в инженерном, пожарном и правовом сообществах. Достоверная оценка моделей пожаров необходима, чтобы пользователи могли сделать выводы об адекватности научно-технического обоснования моделей, выбрать подходящие модели для соответствующего применения и определить уровень достоверности результатов прогнозирования моделей. Адекватная оценка поможет предотвратить непреднамеренное неправильное использование моделей пожаров.

Настоящее руководство предполагает понимание принципов применения и ограничений анализируемой модели в соответствии с подробным описанием, представленным в стандарте Е 1895.

Настоящее руководство должно использоваться в сочетании с другими руководствами, разрабатываемыми Комитетом E05. Оно предназначено для следующих специалистов:

Разработчики моделей – для документирования пригодности конкретного метода расчета, к примеру, для специальной области применения. Часть разработки моделей включает в себя определение воспроизводимости результатов и ограничений применения моделей, а также независимое тестирование.

Пользователи моделей – для подтверждения, что используемая модель соответствует конкретному применению и обеспечивает достаточную точность.

Разработчики модельных функциональных норм – для подтверждения надежности методов расчета, включаемых в нормы.

Представители надзорных органов – для подтверждения, что результаты расчетов с использованием математических моделей, в соответствии с настоящим руководством, процитированные при подаче документов, ясно показывают, что модель используется в пределах допустимых ограничений и имеет допустимый уровень точности.

Преподаватели – для демонстрации применения и приемлемости расчетных методов, которым они обучают.

Настоящее руководство не содержит описания процедуры приемочных испытаний.

Основное внимание в настоящем руководстве уделяется численным моделям развития пожара.

Воспроизводимость модели означает ее детерминирующую способность и повторяемость.

Точность модели означает то, насколько верно модель воспроизводит развитие реального пожара.

Общая методология

Методология оценки 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 аналогичных сценариях пожаров.

Определение модели и сценария.

Документация по модели. Для оценки адекватности научно-технической основы моделей и точности вычислительных процедур необходимо наличие достаточно полной документации по вычислительным моделям, включая программное обеспечение. Кроме того, адекватно составленная документация поможет предотвратить ошибочное применение моделей пожаров. Рекомендации, касающиеся документации по компьютерным моделям пожаров, представлены в руководстве Е 1472. Рекомендации по применению и ограничениям детерминированных моделей пожаров и по необходимой квалификации изложены в руководстве Е 1895. Рекомендации, применимые при оценке прогнозирующей способности моделей пожаров, далее.

Документация по сценарию. Рекомендуется предоставлять полное описание интересующих сценариев или явлений при оценке, производимой с целью обеспечить подходящее применение модели, чтобы помочь в формировании реалистичных входных данных для модели и разработать критерии для оценки результатов вычислений. Рекомендации, применимые при оценке прогнозирующей способности моделей пожаров, приведены далее.

Теоретическая основа и допущения модели. Независимый анализ лежащих в основе модели физических и химических процессов обеспечивает надлежащее применение подмоделей, вместе образующих единую модель. Рекомендации, применимые при оценке прогнозирующей способности моделей пожаров, приведены в далее.

Математическая и численная устойчивость. Компьютерная реализация модели должна быть проверена, чтобы убедиться, что такая реализация соответствует указанной документации.

Количественный анализ неопределенности и точности модели.

Неопределенность модели. Даже детерминированные модели опираются на входные данные, которые зачастую основаны на экспериментальных вычислениях, эмпирических корреляциях или подсчетах, выполненных на основе инженерной оценки. Неопределенности во входных данных модели могут привести к соответствующим неопределенностям в выходных данных. Для количественного анализа неопределенностей в выходных данных модели на основе известных или предполагаемых неопределенностей во входных данных модели, применяется анализ чувствительности. Рекомендации по получению входных данных для моделей пожара изложены в руководстве Е 1591. Рекомендации анализа чувствительности, при оценке прогнозирующей способности моделей пожаров, приведены далее.

Экспериментальная неопределенность. В целом, результат измерения представляет собой результат аппроксимации или оценки конкретной величины, которая подлежит измерению, и, таким образом, результат является полным, только когда он сопровождается количественным выражением неопределенности. Рекомендации по проведению натурных испытаний в помещениях приведены в руководстве Е 603. Рекомендации по определению неопределенности в измерениях приведены в стандарте ISO - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Руководство по выражению неопределенности в измерениях).

Оценка модели. Для того, чтобы получить точные оценки характеристики распространения пожара при помощи прогнозирующих моделей пожаров необходимо обеспечить точные входные данные модели в соответствии со сценариями, которые подлежат моделированию, правильный выбор модели, в соответствии со сценариями, которые подлежат моделированию, правильно произведенный расчет, выполненный при помощи выбранной модели, и правильную интерпретацию результатов расчета модели. Совокупность источников потенциальной ошибки рассматривается при оценке конкретного сценария с разными уровнями известности ожидаемых результатов расчета. Рекомендации, применимые при оценке прогнозирующей способности моделей пожаров, приведены далее.

Определение модели и сценария

Документация по модели – дает подробное описание модели, рассматриваемое достаточно детально, чтобы пользователь мог самостоятельно провести повторную процедуру оценки. Как минимум должна быть предоставлена следующая информация:

- Наименование и версия модели;

- Название разработчика (-ов) модели;

- Список соответствующих публикаций;

- Указание заданных принципов применения, ограничений и результатов модели;

- Тип модели, являющийся общей основой в отношении управляющего тома конечных элементов, функции Лагранжа и т. д.;

- Указание точности моделирования, включая:

 - Допущения, присущие модели, и основные уравнения, использованные при построении модели; и

 - Численные данные, применяемые для решения уравнений, и метод сопряжения отдельных решений.

- Дополнительные допущения модели, относящиеся к заданным или потенциальным принципам применения;

- Входные данные, необходимые для запуска модели; и

Данные о свойствах, определенные с помощью компьютерной программы или заложенные в качестве допущений при разработке модели. В них должно рассматриваться, какие эмпирические данные включены в модель, а также неопределенность, связанная с данным выбором. Примером в зонном моделировании может послужить уравнение струи, а в модели вычислительной гидродинамики это могут быть граничные условия с проскальзыванием и без него.

Сценарии, для которых проводится оценка модели – дают подробное описание спектра параметров, для которых проводится оценка. Необходимо предоставить достаточно полную информацию, чтобы пользователь мог самостоятельно провести повторную процедуру оценки. Как минимум должна быть предоставлена следующая информация:

- Описание интересующих сценариев или явлений;

- Список величин, прогнозируемых моделью, для которых требуется оценка, и

- Степень точности, требуемая для каждой величины.

Теоретическая основа модели

Теоретическая основа модели должна пройти процедуру независимой оценки одним или несколькими признанными экспертами, владеющими знаниями в области физико-химических явлений пожаров, но не участвующими в производстве данной модели. Для выполнения независимой оценки может быть достаточно публикации с изложением теоретических основ модели в статье рецензируемого научного журнала. Данная оценка должна включать:

- Оценку полноты документации, особенно в отношении допущений и аппроксимаций;

- Оценку наличия достаточного научного обоснования в общедоступной научной литературе, оправдывающего применение используемых подходов и допущений;

- Оценку точности и пригодности эмпирических или справочных данных, применяемых для постоянных значений и значений, используемых по умолчанию, в контексте модели;

- Совокупность уравнений, которые подлежат решению; в случаях, когда необходимы замыкающие уравнения – допущение и следствие такого выбора.

Математическая и численная устойчивость

Виды анализа, которые могут быть проведены:

Аналитическое тестирование. Если программу необходимо применить к ситуации, для которой существует известное математическое решение, в качестве мощного инструмента для проверки правильности функционирования модели может использоваться аналитическое тестирование. Однако, существует сравнительно небольшое число ситуаций (особенно в сложных сценариях), для которых известны аналитические решения. Аналитическое тестирование следует проводить для подмоделей. Например, можно получить аналитическое решение для тепловых потерь через перегородку; модель должна быть способна выполнить этот расчет.

Проверка кода. Верификация кода может быть проведена на структурной основе желательно третьим лицом либо полностью вручную, либо при помощи программ проверки кода с целью выявления отклонений и противоречий в программном коде. Процесс проверки кода может повысить степень уверенности в способности программы правильно обрабатывать данные, однако он не способен определить степень адекватности или точности используемой программы.

Численное тестирование. Математические модели, как правило, выражены в форме дифференциальных или интегральных уравнений. Модели, в основном, имеют очень сложную структуру, а аналитические решения бывает трудно или даже невозможно найти. Численные методы необходимы для нахождения приближенных решений. Эти численные методы могут оказаться источником ошибки в прогнозируемых результатах. Численное тестирование включает в себя исследование величины остаточных погрешностей из решения системы уравнений, используемых в модели в качестве показателя численной точности, а также исследование снижения остаточных погрешностей в качестве показателя численной сходимости. Алгебраические уравнения должны пройти тестирование на предмет ошибок (неопределенности), обыкновенные дифференциальные уравнения должны пройти проверку на предмет ошибок временного шага, а дифференциальные уравнения в частных производных должны быть подвергнуты анализу дискретизации сетки. Тестирование 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 проверить соблюдены ли требования последовательности и устойчивости.

Многие задачи пожарной безопасности включают в себя взаимодействие различных физических процессов, таких как химические или тепловые процессы, а также реакции на механические воздействия. Шкалы времени, связанные с этими процессами, могут значительно отличаться, что приводит к затруднениям в расчетах. Такие задачи называются жесткими. Некоторые численные методы сталкиваются с трудностями при решении жестких задач, поскольку эти методы покорно следуют за быстрыми изменениями, даже если эти изменения менее значительны, чем общее направление в решении. Для решения жестких задач существуют специальные алгоритмы.[‡]

Численная точность прогнозирующих моделей пожаров представлена в литературе.[§]

Чувствительность модели

Модели роста пожара, как правило, основаны на системе обыкновенных дифференциальных уравнений следующей формы:

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

где

$z (z_1, z_2, \dots, z_n)$ = 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

t = время.

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

Анализ чувствительности модели представляет собой исследование воздействия изменений в параметрах модели на результаты, полученные при помощи модели. Прогнозы модели могут быть чувствительны к неопределенностям во входных данных, к установленному уровню точности, принятом при моделировании

[‡] Петзолд, Л. Р., *Описание дифференциального алгебраического уравнения DASSL*, технический отчет 8637, Национальные лаборатории г. Сандия, 1982 г. (Petzold, L. R., *A Description of DASSL: A Differential/Algebraic System Solver*, Technical Report 8637, Sandia National Laboratories, 1982.)

[§] Митлер, Г. Э., «Математическое моделирование пожаров в помещении, численные методы моделирования возгорания» под редакцией Оран Э. С., Борис Дж. П. *Достижения в аэронавтике и аэрокосмонавтике* 135, стр. 711–753, Американский институт аэронавтики и аэрокосмонавтики, Вашингтон, 1991 г. и Форни, Г. П., Мосс У. Ф., «Анализ и применение численных характеристик зонных моделей пожаров», *Пожарная наука и техника*, 14: стр. 49–60, 1994 г. (Mittler, H. E., "Mathematical Modeling of Enclosure Fires, Numerical Approaches to Combustion Modeling," ed. Oran, E. S. and Boris, J. P., *Progress in Astronautics and Aeronautics* 135, pp. 711–753, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, 1991, and Forney, G. P. and Moss, W. F., "Analyzing")

соответствующих физико-химических процессов, и к точности числовой обработки. Цель проведения анализа чувствительности заключается в том, чтобы оценить степень, до которой неопределенность во входных данных модели проявляется в виде неопределенности в результатах прогноза модели. Данная информация может использоваться для:

Выявления основных переменных в моделях;

Определения допустимого спектра значений для каждой входной переменной;

Количественного определения чувствительности выходных переменных к изменениям во входных данных, и

Информирования и предупреждения потенциальных пользователей о степени и уровне осторожности, необходимом при выборе входных данных и запуске модели.

Входные данные моделей включают:

Данные для конкретного сценария – такие как геометрические параметры домена, окружающие условия и особенности описания пожара;

Данные о свойствах – такие как теплопроводность, толщина и теплоемкость; и

Численные константы – такие как константы модели турбулентности, коэффициенты вовлечения воздуха и константы расхода через отверстие.

Проведение анализа чувствительности модели пожара – непростая задача. Многие модели требуют большого количества входных данных и формируют прогнозы для многочисленных выходных переменных в течение продолжительного периода времени.

Наиболее важными факторами при определении масштабов и уровня анализа становятся время и стоимость его проведения. Практическая сложность, возникающая при планировании эксперимента по анализу чувствительности, заключается в том, что количество требуемых прогонов модели будет значительно возрастать с увеличением количества рассматриваемых входных параметров и независимых переменных. Таким образом, полный факторный эксперимент может оказаться недопустимым, учитывая количество затрачиваемых человеко-часов в соотношении с получаемым результатом.

Во многих случаях достаточно проведения неполных факторных экспериментов для получения информации о влиянии изменений во входных параметрах и вытекающих взаимодействиях, считающихся важными. В этом случае, взаимодействия третьего порядка и выше могут часто не учитываться.

Для анализа чувствительности моделей с большим количеством параметров доступны эффективные методы для проведения анализа с управляемым числом отдельных расчетов модели.^{**} Для существенно нелинейных моделей пожаров наиболее предпочтительным является метод выборки латинского гиперкуба:

Выборка латинского гиперкуба. Возможный диапазон для входного параметра делится на M -ое количество интервалов равной вероятности. Для каждого входного параметра выбирается одно случайное значение в пределах каждого из M -ого количества интервалов. Из итогового M -го количества вероятностей для каждого входного параметра случайно выбирается одно значение. Этот набор значений используется при первом моделировании. Описанная процедура повторяется M -ое количество раз для получения M -ого количества наборов параметров для итогового M -ого количества расчетов модели. Существует программное обеспечение, способное рассчитывать значения параметров для выборки латинского гиперкуба.^{††}

К моделям пожаров применяются несколько методов анализа чувствительности.^{††} Выбранный метод будет зависеть от доступных ресурсов и анализируемой модели. Ниже представлены два распространенных метода анализа:

Глобальные методы – предназначены для расчета показателей чувствительности, которые усредняются по всему диапазону входных параметров. Глобальные методы требуют наличия данных о плотности распределения вероятностей входных параметров, которые в случае с моделями пожаров, как правило, неизвестны.

Локальные методы – предназначены для расчета показателей чувствительности для конкретного набора входных параметров и подлежат повторному проведению для диапазона входных параметров, чтобы получить информацию о функционировании модели в целом. Методы конечных разностей могут применяться без преобразования системы уравнений модели, однако они требуют тщательного отбора входных парамет-

^{**} Клемсон, Б., Йонгминг, Т., Пайн, Й., Унал, Р., «Эффективные методы анализа чувствительности», *Оценка динамики систем*, Том 11, Номер 1 (весна 1995 г.), стр. 31–49 (Clemson, B., Yongming, T., Pyne, J., and Unal, R., "Efficient Methods for Sensitivity Analysis," *Systems Dynamics Review*, Vol 11, No. 1 (Spring 1995), 31–49.)

^{††} Иман, Р. Л., Шортенкэриер, Руководство для программы FORTRAN 77 и руководство пользователя для разработки латинского гиперкуба и случайной выборки для использования с компьютерными моделями. NUREG/CR-3624, SAND83-2365, Национальные лаборатории г. Скандия, г. Альбукерке, штат Нью-Мексико, 1984 г. (Iman, R. L. and Shortencarier, A FORTRAN 77 Program and User's Guide for the Generation of Latin Hypercube and Random Samples for Use with Computer Models. NUREG/CR-3624, SAND83-2365, Sandia National Laboratories, Albuquerque, New Mexico (1984))

^{††} Дэвис, А. Д., «Некоторые программные средства валидации моделей пожаров», *Технология пожаров*, Том 32, Номер 2, май 1987 г., стр. 95–114; Худжа, Н. «Методы анализа количественной чувствительности и валидации функционирования детерминированных моделей пожарной безопасности», *NBS-GCR-88-544*, Министерство торговли США, Национальное бюро стандартов, 1988 г.; Пикок, Р. Д., Дэвис, С., Ли, Б. Т., «Набор экспериментальных данных для оценки точности моделей пожаров в помещении», *NBSIR 88-3752*, Министерство торговли США, Национальное бюро стандартов, 1988 г. (Davies, A. D., "Some Tools for Fire Model Validation," *Fire Technology*, Vol 23, No. 2, May 1987, pp. 95–114; Khoudja, N., "Procedures for Quantitative Sensitivity and Performance Validation Studies of a Deterministic Fire Safety Model," *NBS-GCR-88-544*, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. 1988; and Peacock, R. D., Davis, S., and Lee, B. T., "An Experimental Data Set for the Accuracy Assessment of Room Fire Models," *NBSIR 88-3752*, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards. 1988.)

ров для получения качественных оценок. Прямые методы позволяют дополнить систему уравнений, решаемую при помощи модели, уравнениями чувствительности, полученными из системы уравнений, решаемых при помощи данной модели.^{§§} Затем уравнения чувствительности решаются в сочетании с системой уравнений модели для получения показателей чувствительности. Прямые методы должны быть включены в разработку модели пожара и далеко не всегда доступны для уже существующих моделей пожара. Существует несколько наиболее важных классов локальных методов. Они представлены ниже, и выражены с помощью системы условных обозначений из уравнения (1).

Методы конечных разностей предоставляют оценку функций чувствительности посредством аппроксимации частных производных выходного показателя z_j относительно входного показателя p_i в качестве конечных разностей:

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

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

Данный метод прямолинеен и прост в применении. Однако, как в случае с любым методом конечных разностей, выбор значения Δp_m является ключевым для получения качественной оценки. Для определения $n \cdot k$ уравнения чувствительности первого порядка требуется проведение $k + 1$ прогонов модели. Они могут быть проведены одновременно в большой системе или параллельно.

Прямые методы позволяют получить 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 данные уравнения решаются в сочетании с системой дифференциальных уравнений модели для получения значений чувствительности. Для расчета $n \times k$ значений чувствительности первого порядка достаточно одного прогона модели. Эти значения могут быть напрямую включены в модель и решены в виде единой удвоенной системы дифференциальных уравнений $n + (n \cdot k)^{***}$, или в виде отдельного решения уравнений модели и уравнений чувствительности, повторно использующих решение модели и соответствующую интерполяционную схему.^{†††}

Метод анализа на поверхности отклика. Для заданной совокупности прогонов модели подбирается соответствующий вектор функций. Предполагается, что полученная в результате метамодель функционирует таким же образом, как сама модель. Посредством соответствующего выбора функций полученную метамодель анализировать проще, чем исходную модель. Затем производится решение уравнений для выполнения анализа чувствительности метамодели. Якобиан решения метамодели отображает уравнения чувствительности.

Оценка модели

Оценка модели должна осуществляться в целях конкретного применения в зависимости от ее количественной способности прогнозировать выходные данные, такие как:

Рост и распространение пожара (характеризуемые температурой, концентрацией дыма и газов и т.д.);

Скорость распространения пламени, огнестойкость и т.д.;

Пожароопасность (характеризуемая фактическим временем эвакуации, приемлемыми для жизни условиями и т.д.);

Отклик активной и пассивной систем противопожарной защиты или

Какое-либо другое свойство.

При оценке модели рассматривается совокупность источников потенциальной ошибки в планировании и применении прогнозирующих моделей пожара, включая обеспечение верных входных данных модели в соответствии с моделируемыми сценариями, правильный выбор модели в соответствии с моделируемыми сценариями, обеспечение правильных расчетов, выполненных выбранной моделью, и правильной интерпретации результатов расчета, выполненного моделью. Совокупность источников потенциальной ошибки рассматривается при оценке конкретного сценария с разными уровнями известности ожидаемых результатов расчета. Подразумевается, что при оценке конкретной модели может быть задействован один или несколько из этих уровней.

Расчет вслепую. Пользователь модели получает основное описание сценария, который подлежит моделированию. Для данного применения описание задачи не является точным; пользователь модели отвечает

^{§§} Вирцбик, А., *Модели и чувствительность систем управления*, Уайли и сыновья, Нью-Йорк, 1984 г. (Wierzbicki, A., *Models and Sensitivity of Control Systems*, Wiley and Sons, New York, 1984.)

^{***} Дикинсон, Р. П., Гелинас, Р. Дж., «Анализ чувствительности систем обыкновенных дифференциальных уравнений – прямой метод», *Журнал вычислительной физики*, Том 21, стр. 123–143, 1976 г. (Dickinson, R. P. and Gelinass, R. J., "Sensitivity Analysis of Ordinary Differential Equation Systems—A Direct Method," *Journal of Comp. Physics*, Vol 21, 123–143 (1976)).

^{†††} Данкер, А. М., «Прямой метод отдельного расчета коэффициентов чувствительности в химической кинетике», *Журнал химической физики*, 81 (5), стр. 2385–2393, 1984 г. (Dunker, A. M., "The Decoupled Direct Method for Calculating Sensitivity Coefficients in Chemical Kinetics," *J. Chem. Phys.*, 81 (5), pp. 2385–2393, 1984.)

за разработку соответствующих входных данных модели исходя из описания задачи, при необходимости включая дополнительные данные геометрических параметров, свойств материалов и описания пожара. Дополнительные данные, необходимые для моделирования сценария с помощью конкретной модели, остаются на усмотрение пользователя модели. Помимо демонстрации сопоставимости моделей в фактических условиях эксплуатации, данный метод позволяет испытать способность пользователей модели формировать подходящие входные данные для моделей.

Заданный расчет. Пользователь модели получает полное подробное описание входных данных модели, включая геометрические параметры, свойства материалов и описание пожара. Данное тестирование, представляющее собой следующий этап после расчета вслепую, позволяет более тщательно сопоставлять физические процессы, лежащие в основе моделей, с более конкретизированным сценарием.

Открытый расчет. Пользователю модели предоставляется наиболее полная информация о сценарии, включая геометрические параметры, свойства материалов, описание пожара и результаты экспериментальных испытаний или прогонов эталонных моделей, которые использовались при оценке расчетов вслепую или заданных расчетов сценария. Недостаток имеющихся входных данных (применяемый при расчете вслепую) становится наиболее очевидным при сопоставлении открытого расчета и расчета вслепую.

Описание задачи и входные данные модели. Разные модели могут запрашивать значительно отличающиеся детальные данные при описании задач для каждого из трех уровней, приведенных выше. Например, некоторые модели могут запрашивать точные данные геометрических параметров, в то время как для других достаточно значения объема простого помещения. Для некоторых моделей необходимо подробное описание пожара в показателях скорости выделения тепла, скорости пиролиза и выделения веществ. В других моделях эти показатели могут быть расчетными выходными данными. Для каждого из трех уровней оценки необходимо подходящее описание задачи, достаточное для проведения ее моделирования.

Оценка модели может быть проведена при помощи одного или нескольких следующих программных средств:

Сравнение со стандартными испытаниями.

Руководство по проведению испытаний представлено в описании соответствующего метода испытаний. Как правило, условия испытаний четко определены и сконцентрированы на одной или более конкретных выходных переменных.

Прогнозируемые данные модели могут быть испытаны в сравнении с выходными переменными испытаний. Данный подход может быть особенно полезен для оценки моделей, предназначенных для прогнозирования таких показателей, как огнестойкость, скорость распространения пламени и т.д.

При наличии данных, прогнозы модели следует рассматривать в свете неопределенности в экспериментальных данных/данных испытаний в сравнении с неопределенностью в результатах модели, возникающих из-за неопределенности в ее входных данных.

Сравнение с полномасштабными испытаниями, проводимыми специально для выбранной оценки.

Рекомендации по проведению полномасштабных испытаний в помещении приведены в руководстве E 603.

Моделирование должно быть спланировано таким образом, чтобы максимально точно дублировать наиболее существенные признаки сценариев, для которых проводится оценка. Данные должны быть достаточно подробными (например, исходные условия, временные шкалы и т.п.), чтобы установить соответствие между прогнозируемыми и фактическими показателями.

Оценка прогнозирующих способностей может быть выполнена путем сопоставления прогнозируемых значений и фактических значений наиболее важных показателей, путем сопоставления ключевых событий при пожаре и путем сопоставления ключевых характеристик поведения, предсказанных моделью и рассчитанных в ходе моделирования.

При наличии данных, прогнозы модели следует рассматривать в свете вариативности результатов полномасштабных испытаний и чувствительности модели.

Сравнение с ранее опубликованными данными полномасштабных испытаний.

Следует удостовериться, что при испытании сценарий, для которого проводится оценка, был смоделирован максимально приближенно. Например, входные данные для прогнозирования модели должны отображать фактические условия испытания, и для обеспечения точности сравнений может потребоваться некоторая нормализация данных.

Независимо от того, были ли проведены основные измерения или нет, оценка прогнозирующих способностей часто может быть выполнена путем сопоставления прогнозируемых значений и фактических значений наиболее важных переменных, путем сопоставления ключевых событий при пожаре и сравнения ключевых характеристик поведения, предсказанных моделью и рассчитанных в ходе моделирования.

При наличии данных, прогнозы модели следует рассматривать в свете вариативности результатов полномасштабных испытаний и чувствительности модели.

Сравнение с данными документированного пожарного опыта.

Статистические данные по пожарному опыту должны пройти оценку на предмет надежности.

Прогнозы модели могут быть сопоставлены со свидетельствами очевидцев реальных пожаров.

Прогнозы модели могут быть сопоставлены с известными данными о поведении материалов при пожарах (например, с показателями температуры плавления материалов).

Прогнозы модели могут быть сопоставлены с наблюдениями постпожарных условий, таких как известное поведение материалов при пожарах (например, температура плавления материалов), степень распространения пожара, приемлемые для жизни условия и т.д.

Сравнение с проверенными эталонными моделями.

Следует удостовериться, что *эталонная* модель оценивалась в соответствии со сценариями, представляющими интерес.

Оценка прогнозирующих способностей может быть выполнена путем сопоставления прогнозируемых значений наиболее важных показателей, путем сопоставления ключевых событий при пожаре, прогнозируемых обеими моделями, и путем сопоставления ключевых характеристик поведения, прогнозируемых обеими моделями.

При наличии данных, прогнозы модели следует рассматривать в свете вариативности чувствительности прогнозов обеих моделей.

Количественная оценка модели. Необходимый и предполагаемый уровень согласования для любой прогнозируемой величины зависит от типичного применения данной величины в контексте оцениваемого конкретного применения, характера сравнения и контекста сравнения в соотношении с другими проводимыми сравнениями.

При одноточечных сравнениях, таких как сравнение показателей времени до возникновения критических событий или достижения максимальных значений, результаты сравнения могут быть выражены в виде абсолютной разности (*значение модели – эталонное значение*), относительной разности (*значение модели – эталонное значение*)/*эталонное значение* или в виде другого сравнения при необходимости.

При сравнении двух кривых, зависящих от времени, соответствующие количественные сравнения зависят от характеристик кривых:

При сравнениях в установившемся режиме или практически установившемся режиме, сравнение может быть выражено в виде средней абсолютной разности или средней относительной разности.

Для прочих сравнений помимо установившегося режима:

(а) Сравнение может быть выражено в виде диапазона рассчитанной абсолютной разности или относительной разности; и

(б) Сравнение может быть выражено посредством сравнения интегрированного по времени значения интересующего показателя.

(в) Концепция нормы дает определение длины вектора. Расстояние между двумя векторами представляет собой длину вектора, получаемую из разности двух векторов. Условное обозначение выражено в виде $\|\vec{x}\|$, где \vec{x} – это обозначение n -мерного вектора $(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$. Все данные могут быть представлены вектором значений, \vec{E} , измеряемым 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 $\|\vec{E} - \vec{m}\|$. Наиболее наглядным примером расчета этой длины является евклидова норма:

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

Скалярное произведение двух векторов $\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$ представляет собой произведение длины двух векторов и косинуса угла между ними, или

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

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 дает 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 , такое, при котором $x(0)=0$, 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 при помощи 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 показатель чувствительности сравнения формы двух векторов. Отклонение скалярного произведения Хеллингера может быть определено, 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 $0 < p \leq 0.5$ определяет длину секущей. Предел скалярного произведения секущей в виде $p \rightarrow 0$ представляет собой интеграл Хеллингера. Для дискретных векторов данное уравнение может быть аппроксимировано аналогично геометрии Хеллингера:

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \frac{\sum_{i=s}^N (x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{t_i - t_{i-1}} \quad (11)$$

Когда $s=1$, определение секущей является эквивалентным дискретному скалярному произведению Хеллингера. В зависимости от значения p или s , скалярное произведение секущей и норма обеспечивают уровень выравнивания данных и, таким образом, более точно измеряют крупномасштабные различия между векторами. Для экспериментальных данных с присущим им незначительным шумом или прогнозов модели с численной неустойчивостью секущая обеспечивает фильтр для сравнения общей функциональной формы кривых без фонового шума. В результате, гибридная схема из евклидова скалярного произведения и скалярного произведения секущей обеспечивает баланс между порядком ранга евклидовой нормы и функциональной формы секущей. Исходя из приведенных выше аксиом, сумма двух скалярных произведений также является скалярным произведением. В настоящем руководстве рассмотрена простая взвешенная сумма евклидова скалярного произведения и скалярного произведения секущей:

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

Хотя как евклидова относительная разность, так и косинус имеют соответствующее ранжирование для всех моделей, косинус не обеспечивает достаточной дифференциации между прогнозируемыми результатами модели. Значения Хеллингера и секущей обеспечивают больший диапазон, поскольку они более точно сопоставляют функциональные формы эксперимента и моделей. Гибридная форма объединяет их лучшие характеристики. Значения гибридной нормы, составляющие меньше 0.3, и значения коэффициента гибридной формы, превышающие 0.9, удовлетворяют критериям, в соответствии с которыми две кривые согласуются.

Отчет об оценке модели

Отчет об оценке предназначен для того, чтобы предоставить пользователю достаточную информацию для самостоятельного проведения повторной процедуры оценки. Как минимум, должна быть предоставлена следующая информация:

Дата отчета об оценке;

Лицо или организация, ответственные за проведение оценки;

Особая справочная информация для отчета об оценке, включая ссылки на документацию о 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 для модели;

Описание математической и численной устойчивости модели;

Детали проведенного анализа чувствительности в соответствии;

Детали проведенного анализа прогнозирующих способностей модели в соответствии; и

Известные ограничения по применению оценки для других сценариев пожара.

Ключевые слова

Оценка; модель пожара; чувствительность; валидация.

Брошюра ASME и NAFEMS «Что такое валидация и верификация?»

Техническое моделирование включает три типа моделей, а именно концептуальную, математическую и расчетную, как показано на блок-схеме. По отношению к данным типам моделей широко распространенными определениями верификации и валидации (V&V) являются следующие:

- **Верификация:**

Процесс определения того, что расчетная модель в точности воспроизводит основополагающую математическую модель и ее решение.

- **Валидация:**

Процесс определения степени, в которой модель является точным воспроизведением действительности с точки зрения запланированного использования модели.

Иначе говоря, верификация это математическая область, а валидация – физическая область.

Верификация

Из определения следует, что необходимо удостовериться в расчетной модели с помощью выполнения двух фундаментальных процессов для сбора доказательств того, что:

- 1 Верификация программы – математическая модель и алгоритмы решения работают корректно.
- 2 Верификация расчета – численное решение математической модели является точным.

Верификация кода

В целом, верификация кода (алгоритма) программы относится к разработчикам программного обеспечения, которые, следует надеяться, используют современные методы обеспечения гарантии качества программного обеспечения наряду с проведением тестирования каждой выпускаемой версии программного обеспечения. Пользователи программного обеспечения также принимают участие в верификации кода, несмотря на то, что, как правило, они не имеют доступа к исходному коду программного обеспечения.

Среди методов верификации кода наиболее распространенным методом является сравнение выходных данных кода с аналитическими решениями, данный тип сравнения является основой регрессивного тестирования.

К сожалению, сложность наиболее доступных аналитических решений проигрывает по сравнению с даже довольно простыми приложениями большинства коммерческих программ.

Единственным методом верификации кода с потенциалом существенного увеличения количества и сложности аналитических решений является, как это именуется в литературе по верификации и валидации, синтетические решения.

Верификация расчета

Второй частью является, что называется, верификация расчета, или оценка ошибок в численном решении вследствие дискретизации. Однако, любое сравнение численных и аналитических результатов будет содержать некоторое количество ошибок, так как дискретное решение, по определению, представляет собой лишь приближение аналитического решения. Таким образом, целью верификации расчета является оценка количества ошибок в сравнении, которое может быть приписано дискретизации.

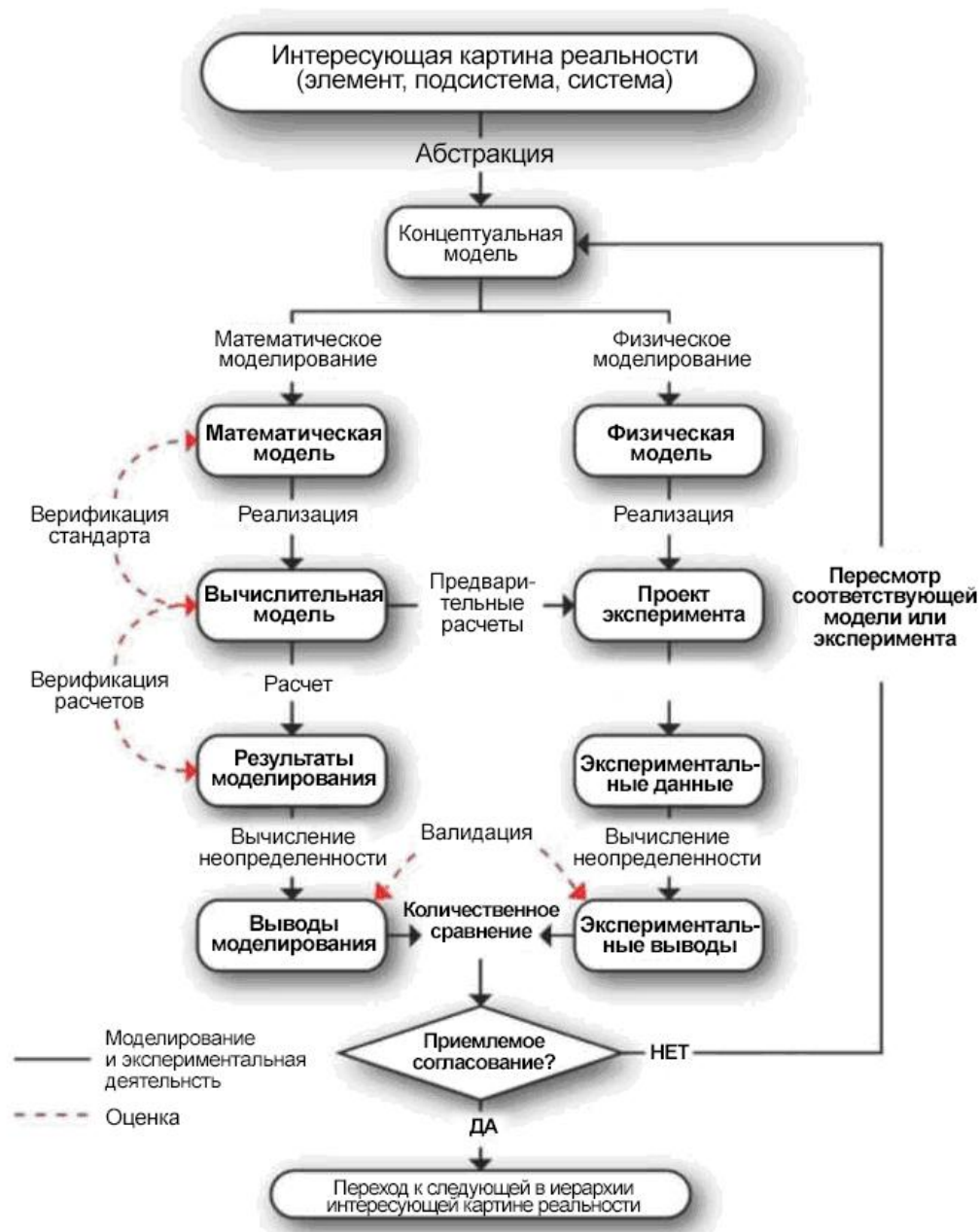
Погрешность дискретизации наиболее часто оценивается путем сравнения численных решений при более двух дискретизациях (сеток) с увеличивающимся разрешением сетки, то есть уменьшающимся размером элемента. Целью данных сравнений сетки к сетке является определение скорости сходимости решения.

Основная ответственность за верификацию расчета лежит на расчетчике или на пользователе программного обеспечения. Несмотря на то, что, безусловно, ответственностью разработчиков программного обеспечения является гарантирование того, что их алгоритмы внедряются корректно, они не могут гарантировать, что разработанная пользователем сетка отвечает всем требованиям для получения доступной алгоритмической точности, то есть значительные погрешности решения вследствие использования крупной (не разрешаемой) сетки вызваны ошибкой пользователя программного обеспечения. Наибольшее упущение в процессе верификации представляет собой отсутствие исследований по измельчению расчетной сетки в механике твердых тел. Это особенно вызывает тревогу, так как это относительно легко исправить с помощью имеющихся адаптивных методов зацепления.

Валидация

Ни частью проверки рассматривается вопрос о адекватности выбранных моделей для представления реальности интерес. Отвечая на вопрос достаточности является областью Проверка, т.е. являются механика (физика), включенные в моделях, достаточных для обеспечения достоверные ответы на вопросы, поставленные в постановке задачи.

Манера, в которой математика и физика взаимодействуют в процессе проверки и апробации иллюстрируется на блок-схеме. После выбора концептуальной модели, процесс верификации и валидации имеет две ветви: левая ветвь содержит элементы моделирования и правую ветвь физическое тестирование (экспериментальные) элементов.



Эта цифра намеренно разработана для иллюстрации первостепенную важность физических испытаний в процессе проверки и апробации, а, в конечном счете, это только через физические наблюдения (экспериментирования), что оценки об адекватности выбранных концептуальных и математических моделей для представления реальности интерес может быть сделано. Тесное сотрудничество между моделистов и экспериментатора требуется на всех этапах проверки и процесса валидации, пока экспериментальные результаты не будут получены. Тесное сотрудничество требуется, потому что часто математический и физический модель будет отличаться. Как считают примером фиксированной граничное условие, эти две группы будут иметь весьма разные взгляды на концептуальной модели, (зажат) границы для консольной балки в качестве примера. Математически это граничное условие довольно легко указать, но в лаборатории нет такого понятия, как «зажатой» границы. В общем, некоторые части концептуальной модели будет относительно легко включить в любой математической или физической модели, и другие более сложной. Диалог между моделистов и экспериментатора имеет решающее значение для решения этих различий. Чтобы помочь в этом диалоге, "перекрестные помехи" деятельность помечены как "Предварительные расчеты" в графике призван подчеркнуть цели, что оба численные модельеры и попытка экспериментатор моделировать ту же концептуальной модели.

Не менее важным является идея, что экспериментальные результаты не должны быть открыты для моделистов, пока они не завершили результаты моделирования. Главная причина сегрегации результатов заключается в повышении доверия к предсказательной способности модели. Когда экспериментальные результаты были доступны для моделистов до установления их результатов моделирования, человеческая

тенденция заключается в «настроить» модель с экспериментальными результатами для получения благоприятного сравнения. Эта тенденция снижает уровень доверия к способности модели, чтобы предсказать, и перемещает фокус к способности модели для имитации предоставленных экспериментальных результатов.

Наконец, роль неопределенности количественной (UQ), снова как для моделистов и экспериментаторов, подчеркивается. Это исключено, что, когда выполняется более одного эксперимента, они производят несколько разных результатов. Это роль UQ количественно "несколько" в значительной степени. Аналогично, каждый вычисление включает количественные, физические параметры, которые имеют диапазоны, и, вероятно, распределения, значений. Методы неопределенности количественного пытаются количественно повлиять этих вариаций параметров на результаты моделирования.

ASME V&V 20-2009 Валидация и верификация в вычислительной гидродинамике

В этом стандарте рассматривается верификация и валидация (V & V) в вычислительной гидродинамике и теплообмене. Задача верификации и валидации заключается в оценке точности вычислительного моделирования. Процедуры верификации и валидации, представленные в настоящем стандарте, могут быть применены к задачам по инженерному и научному моделированию, начиная по сложности от простых сосредоточенными массами, к 1-D устойчивых ламинарных потоков, чтобы 3-D нестационарного турбулентного химически реагирующих смесей газов. В верификации и валидации, конечной целью инженерных и научных интересов является валидация, которая определяется как процесс определения степени, в которой модель является точным представлением о реальном мире с точки зрения предполагаемых целей применения модели. Однако валидации должна предшествовать верификация норм и решений. Верификация норм устанавливает, что нормы точно решают математическую модель, включенную в нормы, то есть о том, что нормы не содержат ошибок для интересующего моделирования. Верификация решений оценивает численную точность конкретного расчета.

Оценка ряда, в пределах которого находится ошибка моделирования, является основной задачей процесса валидации и осуществляется путем сравнения результата моделирования (решения) с соответствующими экспериментальными результатами (данными) для указанных переменных валидации при указанном наборе условий. Валидация не может состояться без экспериментальных данных, с которыми необходимо сравнивать результаты моделирования. Как правило, попытки валидации будут охватывать целый ряд условий в интересующей сфере.

Как Американский институт аэронавтики и астронавтики (АИАА) так и Американское общество инженеров-механиков (ASME), опубликовали руководства по валидации и верификации, которые представляют философию и процедуры создания всеобъемлющей программы валидации, однако оба используют определения ошибки и неопределенности, которые не продемонстрированы в руководстве, чтобы обеспечить количественную оценку сравнения переменных валидации, спрогнозированные моделированием и определенных экспериментально. Например, ASME V & V 10-2006, определяет ошибку как «распознанную погрешность на любом этапе или действия моделирования или экспериментов, произошедшей не по причине недостатка знаний» и дает определение неопределенности как "потенциальной погрешности в любом этапе или действия моделирования, расчете или процессе эксперимента, который связан со свойственной изменчивостью или недостатком знаний».

В отличие от этих определений, настоящий стандарт представляет подход к верификации и валидации, основанный на понятиях и определениях ошибок и неопределенности, которые прошли международную кодификацию экспериментальным сообществом в течение нескольких десятилетий. В 1993 году Руководство по выражению неопределенности измерений было опубликовано Международной организацией по стандартизации (ISO) под своим именем и шести других международных организаций. Согласно предисловию к Руководству ИСО, «В 1977 году, признав отсутствие международного соглашения по выражению неопределенности в измерениях, высшим органам в мире в области метрологии, Международный комитет де мер и весов (CIPM), сделал запрос Международному бюро мер и весов (BIMP) для решения этой проблемы в сочетании с лабораториями национальных стандартов и сделать рекомендации». После нескольких лет попыток это привело к передаче обязанности технической консультативной группе ISO по метрологии, Рабочей группе 3, разработать руководящий документ. В результате было опубликовано Руководство ISO, которое было принято как международный стандарт де-факто для выражения неопределенности в измерениях.

Подход верификации и валидации, представленный в данном стандарте, применяет эти понятия к ошибкам и неопределенностям в экспериментальном результате, а также ошибок и неопределенности в результате от симуляции. Таким образом, неопределенность в экспериментально полученным значением и в значении моделирования рассматриваются используя тот же процесс. Используя подход Руководства ISO, для каждого источника ошибок (кроме ошибки имитационного моделирования) стандартный неопределенности, и, по оценкам, такие, что и есть стандартное отклонение генеральной совокупности возможных ошибок, из которых текущая ошибка является одной реализацией. Это позволяет оценка диапазоне, в пределах которого моделирование ошибка моделирование лежит.

Целью настоящего стандарта является спецификация проверки и апробирования подхода, который дает количественную оценку степени точности, выведенную из сравнения решения и данных для указанной переменной в заданной точке проверки. Сфера действия этого стандарта является количественная оценка

степени точности для случаев, в которых условия фактического эксперимента моделируются. Рассмотрение точности результатов моделирования в точках в пределах домена, кроме точек проверки (например, интерполяция / экстраполяция в области проверки) является предметом инженерной оценки, определенной для каждого семейства задач и выходит за рамки настоящего стандарта.

ASME PTC 19.1-2005 "Испытание неопределенности" рассматривается как сопроводительный документ к настоящему стандарту, и предполагается, что пользователь располагает необходимым множеством деталей для оценки неопределенности в результатах опытов, и они не приводятся здесь повторно. ASME PTC 19.1-2005 иллюстрирует применение методологии Руководства ISO в простых, а также в сложных опытах.

В идеале, как запускается программа верификации и валидации лица, ответственные за моделирование и ответственные за проведение опытов, должны участвовать совместно в разработке попыток верификации и валидации. Переменные значения валидации должны быть выбраны и определены с осторожностью. Каждый измеряемый параметр имеет неотъемлемое временное и пространственное разрешение, а также экспериментальный результат, который определяется из этих измеряемых параметров следует сравнить с прогнозируемым результатом, что обладает тем же пространственное и временное разрешение. Если это не будет сделано, такие концептуальные ошибки должны быть выявлены и устранены или приблизительно на начальных стадиях попыток верификации и валидации, или значительные ресурсы могут быть потрачены впустую, и все усилия могут быть нарушены.

Наконец, в качестве помощи читателю настоящего стандарта представлено следующее руководство к теме и обсуждениям каждого раздела. Рекомендуется, чтобы читатель перешел к началу стандарта в разделе 1 и последовательно читал каждый последующий раздел. Презентация в настоящем стандарте следующей процедуры, начиная с проверки (код и решение), положения параметра оценки неопределенности, экспериментальные оценки неопределенности, валидация моделирования, и заканчивая комплексным примером задачи. Как уже говорилось, настоящий стандарт следует общему порядку; однако, каждый раздел настоящего стандарта можно также рассматривать как отдельную часть по отдельной тематик. Цель настоящего документа состоит в проверке, в которой неопределенность определяется как для экспериментальных данных, так и для моделирования опытов. Однако материалы разделов 2, 3 и 4 могут изучаться независимо от остального документа, поскольку они имеют важную самостоятельную роль. Руководство для читателя построено следующим образом:

Раздел 1 представляет собой введение в концепции верификации и валидации, определений ошибок и неопределенности, и введение общей методологии проверки и подхода, как это определено в настоящем стандарте. Ключевыми понятиями данного раздела являются проверка ошибки сравнения и стандарт проверки неопределенности. Показано, что стандартная проверка неопределенности является функцией трех стандартных неопределенностей, связанных с ошибками из-за численного решения уравнений, в связи с входами моделирования, и в связи с экспериментальными данными.

Раздел 2 представляет две ключевые темы:

(а) детали метода для верификации норм, основанной на методе производимых решений

(б) детали метода для проверки решение, основанное на технике Индекса конвергенции сетки (расширенные данные экстраполяции Ричардсона).

Исход раздела 2 представляет собой метод оценки стандартной неопределенности, связанной с численными ошибками.

В разделе 3 представлены два различных подхода к оценке стандартной неопределенности, связанной с ошибками в моделировании входных параметров. Один подход оценивает отклик моделирования или системы в локальной окрестности входного вектора, а другой подход оценивает отклик в большем глобальной районе. Первый подход как правило называют, например, методом коэффициента чувствительности, второй подход, как правило, называют методом выборки или методом Монте-Карло.

Раздел 4 представляет краткий обзор метода, изложенного в ASME PTC 19.1-2005 Тест неопределенности стандарта для оценки неопределенности в экспериментальном результате. В заключение этого раздела, читатель будет иметь методы для оценки ключевых неопределенностей, необходимые для завершения оценки проверки.

Раздел 5 представляет два подхода к оценке стандартной проверки неопределенности учитывая оценки неопределенности, связанные с численными, ввод и экспериментальных ошибок в данных, разработанные в трех предыдущих разделах. В заключение этого раздела, читатель будет иметь необходимые инструменты для оценки стандартной проверки неопределенности и ошибки, связанные с математической моделью.

Раздел 6 представляет собой обсуждение интерпретации ключевых метрик проверки ошибок сравнения проверка и неопределенности проверки. Показано, что ошибка сравнения проверка является оценкой математического ошибки модели и, что неопределенность проверки является стандартная неопределенность оценки модели ошибки.

Раздел 7 объединяет методы, представленные в предыдущих разделах, реализуя их в всеобъемлющего например проблемы рабочей через каждый элемент общей процедуры и приводит к полной проверки оценки кандидата математической модели.

И, наконец, в данный стандарт включены несколько приложений. Некоторые из них рассматриваются как часть стандарта и как обязательные приложения. Другие приложения считаются необязательными или рассматриваются как дополнения и определены в качестве таковых.

ASME Верификация и валидация 20-2009 был утвержден Комитетом по верификации и валидации 20 (ранее PTC 61) 9 января, 2009 и одобрен Американским национальным институтом стандартов (ANSI) 3 июня, 2009.

Введение в методологию валидации

Общие положения

Настоящий стандарт обращается к верификации и валидации в вычислительной гидродинамике и вычислительная теплопередаче. Обеспокоенность верификации и валидации является оценка точности вычислительного моделирования. Проверка и процедуры проверки представлены в данном стандарте могут быть применены к инженерным и научно моделирования проблем, начиная по сложности от простых сосредоточенными массами в 1-D устойчивого ламинарного течет в 3-D нестационарного турбулентного химически реагирующих течений. В верификации и валидации, конечная цель инженерных и научных интересов является проверка, которая определяется как процесс определения степень, в которой модель дает точное представление о реальном мире с точки зрения целей применения модели. Однако проверка должна предшествовать проверка кода и проверки решения. Верификация устанавливает, что стандарт точно решает включенную в него математическую модель (т.е., стандарт не содержат ошибок для необходимого моделирования). Верификация решения оценивает численную точность конкретного расчета. Верификация стандарта, и верификация решения подробно рассмотрены в Главе 2.

Оценка ряда, в пределах которого находится ошибка моделирования, является основной задачей процесса валидации и осуществляется путем сравнения результата моделирования (решения) с соответствующим экспериментальным результатом (данных) для указанных переменных проверки на указанном наборе условий. *Валидация невозможна без экспериментальных данных, с которыми необходимо сравнивать результаты моделирования* (что подразумевает выражение «реальный мир», используемое в определении валидации). Как правило, попытки валидации охватывают целый ряд условий в интересующей области знаний.

Цели и область применения

Цель настоящего стандарта заключается в спецификации подхода верификации и валидации, который дает количественную оценку степени точности, выведенную из сравнения решения и данных для указанной переменной в заданной точке проверки. Подход, предложенный Коулман и Стерн [1], использует понятия из экспериментального анализа неопределенности [2-4] рассмотреть ошибки и неопределенности в решении и данных.

Область применения настоящего стандарта заключается в количественной оценке степени точности моделирования указанных переменных проверки в указанной точке валидации для случаев, в которых моделируются условия фактического эксперимента. Рассмотрение точности решения в точках в пределах домена, кроме точек проверки (например, интерполяция/экстраполяция в области проверки) является предметом инженерной оценки, определенной для каждого семейства задач и выходит за рамки настоящего стандарта.

Гидродинамика и теплообмен являются областями техники и науки, которые специально рассматриваются, но подход валидации применим в других областях. Обсуждение и примеры сосредоточены на моделях с использованием дифференциальных уравнений в частных, но более простые модели также входят в сферу компетенции подхода валидации.

Ошибки и неопределенность

Соответствующие определения из метрологии являются:

(а) ошибка (измерения), δ : " Результат измерения минус истинного значения измеряемой величины " [5]

(б) неопределенность (измерения), u : " параметр, связанный с результатом измерения, который характеризует дисперсию значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой " [5]

Эти концепции были расширены в [1], чтобы применить к значению переменной раствор из моделирования, а также измеренному значению переменной из эксперимента

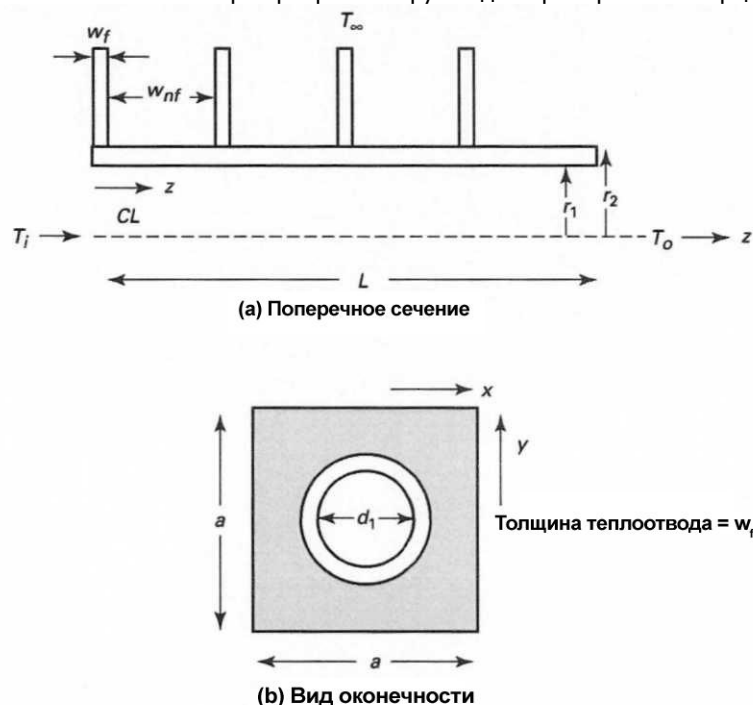
В этом контексте, то, об ошибке, S , является величиной, которая имеет особый знак и величину, а также конкретные ошибки, 5 ., Разница вызвана источника ошибок я между величиной (измеренной или смоделированные) и ее истинным значением. В подходе, описанном в данном стандарте, предполагается, что каждая ошибка которого Знак и величина известна была удалена коррекции. Любые оставшиеся ошибки, таким образом, неизвестной знака и величины², и неопределенности u оценивается с идеей, что $\pm u$ характеризует диапазон, содержащий S . В экспериментальной анализа неопределенности [2], и это стандартная неопределенность и соответствует концептуально к оценке стандартное отклонение, $< x$, родительского распределения, из которых 5 является одной реализация. Это важно отметить, что ни предположение о виде распределения родительской не связано с определением и.

² Есть асимметричные ошибки, которые, скорее всего, (или наверняка) имеют один знак, а не другой. Лечение этих либо "нулевой" центрирования или путем оценки неопределенностей асимметричные обсуждается в ссылках [3] и [4].

Понятия верификации и валидации используемых в настоящем стандарте, согласуются с определениями, используемыми в ранее опубликованных руководствах и текстов по верификации и валидации [6-8]. Понятия и определения для ошибок и неопределенности используется здесь отличаются от тех, в ранее опубликованных руководствах, однако. И Американский институт аэронавтики и астронавтики (AIAA) и Американское общество инженеров-механиков (ASME) опубликовало руководства по верификации и валидации [6, 7], что представить философию и процедуры для создания всеобъемлющей программы проверки, но оба определения использования ошибок и неопределенности, которые не продемонстрировали в руководстве, чтобы

обеспечить количественные оценки сравнения переменных проверки предсказанных моделирования и определяется экспериментально. ASME V & V 10-2006, например, определяет ошибку как "узнаваемый дефицит в любой фазе или активности моделирования или экспериментов, которая не из-за отсутствия знаний" и определяет неопределенность как "потенциальный дефицит в любой фазе или деятельности моделирования, расчет, или процесс экспериментирования, что связано с присущей изменчивости или отсутствие знаний".

Рис. 1-4-1 Схема сборки ребристой трубы для примера теплопередачи



Пример для номенклатуры валидации и подход

В процессе проверки, результат моделирования (раствор) по сравнению с экспериментальной результате (данных) для указанных переменных проверки на указанном наборе условий (точка проверки). В качестве примера (показанного на рис. 1-4-1), рассмотрим случай полностью развитого течения горячей жидкости внутри круглой трубы. Квадратные ребра прикреплены к наружной стенке трубы для повышения теплопередачу. Проверяющие переменные интересные вниз объемная температура жидкости, T , и скорость потери тепла, q , по длине трубы, L . описание проблемы, соответствующая имитационная модель, и номенклатура представлены подробно в обязательном Приложении I.

Этот пример обсуждается в контексте проверки в разделе 5 для случаев, в которых происходят в следующем.

1-4.1 Пример 1

Переменная проверки, T , непосредственно измеряется.

1-4.2 Пример 2

Переменная проверки, q , определяется с использованием уравнения сокращения данных, которая сочетает несколько переменных из эксперимента как

$$q = \rho Q C_p (T_i - T_o) \quad (1-4-1)$$

и T и T_o отдельно измеряется и не имеют общих источников ошибок.

1-4.3 Пример 3

Проверка такая же, как случай 2 в пункте. 1-4,2 выше, за исключением измерений T и T_o поделились источники ошибок.

Множество проверка точка находится на числа Рейнольдса определяется как

$$Re = \frac{4\rho Q}{\pi \mu d_1} \quad (1-4-2)$$

Рассмотрим случай 1 в пункте. 1-4.1 выше в качестве примера для описания номенклатуры подход проверки. В эксперименте переменная проверки, T , непосредственно измеряется. При моделировании экспериментально определенные значения T , T_a , Q , d_1 , L и эталонные величины ρ , μ , C_p , h , k , α , γ и w_{if} являются входами модели и значение T прогнозируется. конкретный пункт проверки Re рассчитывается по формуле. (1-4-2).

Метод валидации

Номенклатура, используемая в подходе проверки представленной в настоящем стандарте приведена на рис. 1-5-1 на примере передачи тепла, описанную в предыдущем пункте.

Обозначим прогнозируемое значение T с моделирования решения как S , стоимости, определенной на основе экспериментальных данных, как D и истинное (но неизвестный) значение как T . (Очевидно, относительных величин S , D и T будет отличаться среди случаев и не обязательно будет в порядке, показанном на рисунке.) Сравнение проверки ошибки³ E определяется как (³ Уравнение (1-5-1) на самом деле определяет E как расхождения, а не ошибкой в этой точке в развитии, но E Показано, что ошибка уравнением. (1-5-6).)

$$E = S - D \quad (1-5-1)$$

Ошибка в значении решения, S , представляет собой разницу между S и истинное значение T

$$\delta_s = S - T \quad (1-5-2)$$

и точно так же ошибка в экспериментальным значением D является

$$\delta_D = D - T \quad (1-5-3)$$

Используя формулы. (1-5-1) до (1-5-3), E можно представить в виде

$$E = S - D = (T + \delta_s) - (T + \delta_D) = \delta_s - \delta_D \quad (1-5-4)$$

Рис. 1-5-1 Схематическое изображение Номенклатура для валидации подхода



Сравнение проверки ошибок E , таким образом, сочетание всех ошибок в результате моделирования и экспериментального результата, а его знак и величина известны после того, как сравнение проверка производится.

ПРИМЕЧАНИЕ: "правда" является значение величины интереса, определенного наблюдателя и является абстракцией. Тем не менее, неполное определение количества приводит к дополнительным неопределенности [2]. В этом стандарте, эксперимент "как перспективе" определяется как реальности интерес (правда), и, таким образом условия фактического эксперимента "точка проверка", что моделируется.

Все ошибки в S может быть отнесен к одному из трех категорий [1]:

- (а) ошибка $S_{\text{model}} > !$ из-за допущений моделирования и приближений
- (б) ошибка S_{num} из-за численного решения уравнений
- (в) ошибка S_{input} в результате моделирования из-за ошибок во входных моделирование параметров

((T , T_x , Q , dv , d , L , p , ft , C_p , h_v , h_j , h_c , k_f , k_t , w_f и w_{lf} в примере теплопередачи)

Эти S будут определяться в последующих разделах.

Таким образом

$$\delta_s = \delta_{\text{model}} + \delta_{\text{num}} + \delta_{\text{input}} \quad (1-5-5)$$

Цель учений проверки является оценка (S_{model} в пределах диапазона неопределенности.

Ошибка сравнение может быть записана в виде

$$E = \delta_{\text{model}} + \delta_{\text{num}} + \delta_{\text{input}} - \delta_D \quad (1-5-6)$$

Этот подход показан схематически на фиг. 1-5-2, где источники ошибок приведены в овалов. Реорганизация экв. (1-5-6), чтобы изолировать S_{MODE} дает

$$\delta_{\text{model}} = E - (\delta_{\text{num}} + \delta_{\text{input}} - \delta_D) \quad (1-5-7)$$

Рассмотрим условия, на правой стороне уравнения. После того, как S и D определяются, знак и величина E известны из экв. (1-5-1). Тем не менее, знаки и величины SNUM, 8input и SD неизвестны. Стандартные неопределенности, соответствующие этим ошибкам являются WNum, и. J и OOH (где ип, например, является оценкой стандартного отклонения распределения родительской, из которого SD является одним реализация).

ПРИМЕЧАНИЕ: После того, как D и S были определены, их значения всегда отличаются тем же фиксированную сумму от истинного значения. То есть, все ошибки, влияющие на D и S стали "окаменелый" [4] и SD, S.npM, SNUM и Smi) дкл все систематические ошибки. Это означает, что неопределенности должен быть оценен (щ,, и, и ^ ввода пит IID) систематические стандартные неопределенности. В концептуальном подходе Руководства ИСО [2], нет никаких различий в математической обработки неопределенностей, которые являются "случайными" и те, которые являются «систематическое». Систематическая ошибка является одной реализация от некоторых родительской популяции возможных значений от систематического источника ошибки, и соответствующий систематическое стандартная неопределенность, и, является оценка стандартного отклонения, а, этого родительской популяции.

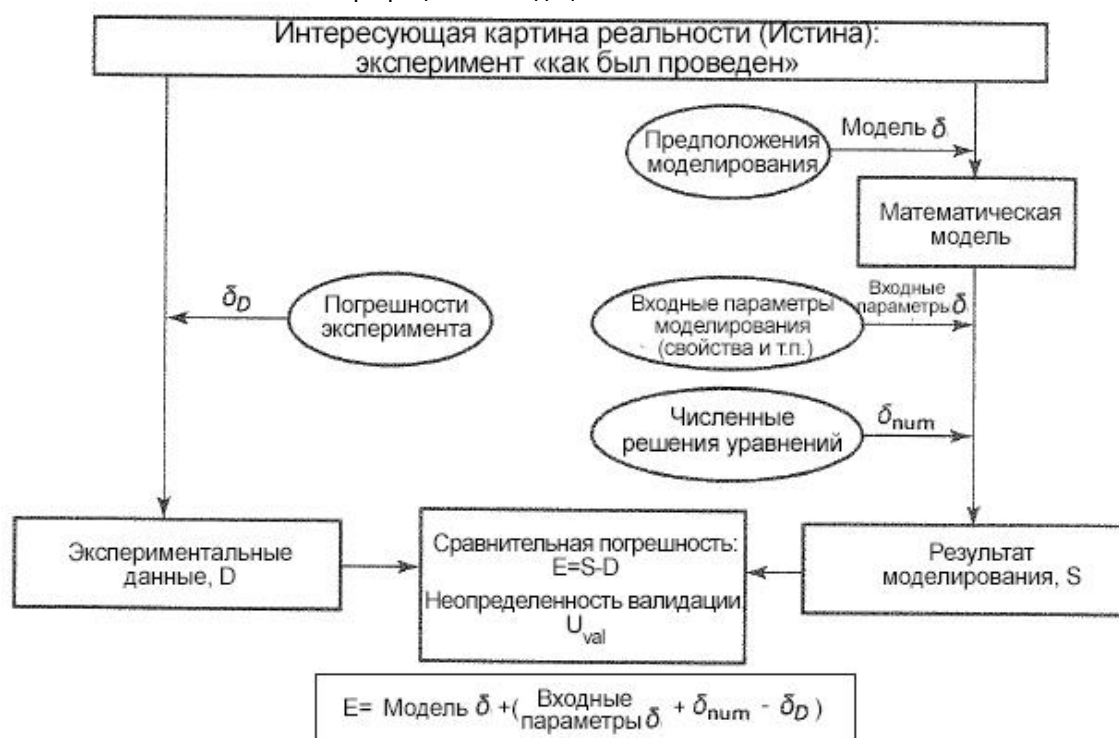
После ссылки [1], стандарт проверки неопределенность, и, может быть определена в качестве оценки стандартного отклонения генеральной совокупности комбинации ошибок (8num + 5Введите - 8d). Учитывая, показанное на экв. (1-5-7),

$$(E \pm u_{val}) \quad (1-5-8)$$

затем характеризует интервал, в течение которого 8,. падает, или

$$\delta_{model} \in [E - u_{val}, E + u_{val}] \quad (1-5-9)$$

Рис. 1-5-2 Обзор процесса валидации с источниками ошибки в овалах



Оценка u_{val} таким образом, в основе методологии, представленной в настоящем стандарте, и E, и «вал являются метрики проверки.

Если три ошибки на правой части уравнения. (1-5-7) фактически независимы, то

$$u_{val} = \sqrt{u_{num}^2 + u_{input}^2 + u_D^2} \quad (1-5-10)$$

Как будет подробно рассмотрен в разделе 5, когда переменная проверки непосредственно измеряется - как T в случае 1 (пункт 1-4.1) пример - предположение о эффективно независимых ошибок, как правило, разумно. Тем не менее, когда переменная проверки определяется с использованием уравнения сокращения данных - как d в случаях 2 и 3 (пункты 1-4,2 и 1-4.3) - экспериментальные QD и прогнозируемые QS значения могут быть функциями общих переменных и 8., и SD не являются независимыми. Эквивалентно уравнению. (1-5-10) показан для этих случаев в разделе 5.

Если, как показано в основной методологии в данном стандарте, неопределенности взносы в Xва | считаются, что принимать во внимание все источники ошибок в S, 'вход' 5 NUM и Sp, то 5model включает только ошибки, связанные с моделированием предположений и приближений ("модель формы" ошибки). На практике существует множество градаций, которые могут существовать в выборе того, какие источники ошибок учтены в < 5.pnut и какие источники ошибки определены как неотъемлемая часть S я модель.

Код, используемый часто имеют больше настраиваемых параметров или входных данных, чем аналитик может принять решение об использовании (например, для коммерческого кода). Решение, какие параметры

включать в определении компьютерного моделирования (концептуально отдельно от кода) несколько произвольно. Некоторые (даже All4) параметров доступны можно считать фиксированной для моделирования. (4 Если все значения параметров считаются фиксируется в модели, это предел того, что было названо сильным -модельный подход. См. Роуч [8] для дальнейшего обсуждения, истории и последствий для философии научного обоснования.) Для например, аналитик может решить для лечения параметры в пакете химии как фиксированные ("проводных") и, следовательно, не должны рассматриваться при оценке «вход», хотя эти параметры могли бы обращаться и были связаны неопределенности. Дело в том, что компьютерное моделирование, которое оценивается состоит из кода и выбранного количества входов моделирования, которые считаются частью моделирования, в то время как другие входы моделирования имеют неопределенности, которые учитываются в и.. и, таким образом не способствуют SMODE |. Смотреть Необязательные Приложение С для соответствующего обсуждения конкретных и общих смыслах модели и параметрических неопределенностей против модельных форм неопределенности.

Это имеет решающее значение в интерпретации результатов работы по аттестации, что эти источники ошибок, которые включены в 5.. и те модели, которые учитываются при оценке Увал быть определена точно и однозначно.

Обзор следующих глав

Учитывая, показанное на экв. (1-5-10), оценка функции и должны быть сделаны, чтобы получить оценку и, ; оценки должны быть сделаны из стандартных неопределенностей во всех входных параметров, которые способствуют и. и из стандартных неопределенностей в эксперименте, которые способствуют до.

Процессов проверки Код проверки и решения, которые обсуждаются в разделе 2, в результате оценки и. Проверка Код представляет собой процесс определения того, что код математически правильно для моделирования интереса (то есть, он может сходиться к правильному решению континуума как дискретизации уточняется). Проверка Код включает оценку ошибке от известного решения бенчмарка. Проверка Решение представляет собой процесс оценки численное неопределенность для конкретного решения проблемы, представляющей интерес. Проверка Решение включает в себя оценку ошибке, а не оценку от известного решения бенчмарка.

Методы оценки u_{input} , стандартной неопределенности в растворе S из-за стандартных неопределенностей в входных параметров моделирования, представлены в разделе 3. Очевидно, оценки стандартных неопределенностей все входных параметров не требуется. Тогда u_{pri} определяется из распространения на одно из следующих действий:

(а) с использованием коэффициента чувствительности метода (местные), требуется оценки коэффициентов чувствительности решение моделирование

(б) с использованием в Монте-Карло (выборки, глобальный) метод, который делает прямое использование стандартных неопределенностей входных параметров, что и стандартные отклонения в предполагаемых распределений родитель ошибок населения

Стандартная неопределенность в экспериментальных результатов UD определяется с использованием общепринятых методов [2-4, 9], разработанные международным сообществом в течение десятилетий, и будет обсуждаться в разделе 4 настоящего документа. Оценка UD является стандартная неопределенность подходит для D. Она включает в себя все эффекты усреднения, включает в себя все случайные и систематические составляющих неопределенности, и включает в себя эффекты любых коррелированные экспериментальных ошибок и любые другие факторы, которые влияют D и UD. Как объяснялось ранее, когда D и UD используются в сравнении проверки любые случайные составляющие неопределенности были окаменелые и UD является систематическим стандартная неопределенность.

Оценка UVA | для целого ряда практических ситуациях V & V демонстрируется в разделе 5, а также обсуждение интерпретации результатов работы по аттестации представлена в разделе 6.

Комплексный пример из конца применения методов, описанных в разделах 1 по 6 будет представлен и рассмотрен в разделе 7.

Список литературы

[1] Coleman, H. W. and Stern, R, "Uncertainties in CFD Code Validation," ASME J. Fluids Engineering, Vol. 119, pp. 795-803, Dec. 1997 / Коулман, HW и Стерн, R, " Неопределенности в CFD код проверки, " ASME J. жидкостей инженерии, Vol. 119, стр. 795-803, декабрь 1997 года.

[2] Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (corrected and reprinted, 1995), International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1995 / Руководство по выражению неопределенности измерений (с поправкой и перепечатано, 1995), Международная организация по стандартизации, Женева, Швейцария, 1995.

[3] ASME PTC 19.1-2005, Test Uncertainty, 2006 / ASME PTC 19.1-2005, испытания Неопределенность, 2006.

[4] Coleman, H. W. and Steele, W. G., Experimentation, Validation, and Uncertainty Analysis for Engineers, 3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 2009 / Коулман, HW и Стил, РГ, эксперименты, проверки и анализ неопределенности для инженеров, 3-е изд., John Wiley & Sons, Нью-Йорк, 2009.

[5] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology, 2nd ed., International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 1993 / Международный словарь основных и общих терминов в метрологии, 2-е изд., Международная организация по стандартизации, Женева, Швейцария, 1993.

[6] AIAA G-077-1998, Guide for the Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulations / АИАА G -077- 1998, Руководство по верификации и валидации вычислительной газовой динамики симуляторы.

[7] ASME V&V 10-2006, Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics / ASME V & V 10-2006, Руководство по верификации и валидации в вычислительной механике деформируемого твердого тела.

[8] Roache, P. J., Verification and Validation in Computational Science and Engineering, Hermosa Publishers, Albuquerque, 1998 / Роуч, PJ, верификации и валидации в области вычислительной науки и техники, Hermosa издателей, Альбукерке, 1998 года.

[9] Joint Committee for Guides in Metrology, "Evaluation of Measurement Data — Supplement 1 to the 'Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement' — Propagation of Distributions using a Monte Carlo Method," JCGM 101:2008, France, 2008 / Объединенный Комитет по Гиды в метрологии, "Оценка данных измерений - Дополнение 1 к " Руководства по выражению неопределенности измерений " - Распространение распределений с использованием метода Монте-Карло ", JCGM 101:2008, Франция, 2008.

Требования к программам и технической документации программ

В этом разделе приведены следующие стандарты:

- ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование;
- ASTM E 1472-07. Стандартное руководство по составлению документации для компьютерного программного обеспечения моделей пожаров.

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Требования к качеству и тестированию программ

Область применения

Настоящий стандарт применяется для пакетов программ. Например, для текстовых процессоров, электронных таблиц, программ баз данных, графических пакетов, программ, реализующих технические и научные функции, и для сервисных программ (утилит).

Стандарт устанавливает:

- требования к пакетам программ (требования к их качеству);
- инструкции по испытанию пакета программ на соответствие его установленным требованиям (инструкции по тестированию, в частности по тестированию третьей стороной).

Стандарт предназначен только для пакетов программ, являющихся объектами продажи и поставки. Стандарт не связан с процессом их производства (включая соответствующие работы и промежуточные продукты, например технические задания). Область применения настоящего стандарта не охватывает систему качества поставщика.

Примечание — Для некоторых программных средств необходимы дополнительные требования, например для программных средств, критичных по безопасности.

Пользователями настоящего стандарта являются:

- а) поставщики, когда они:
 - 1) определяют требования к пакету программ;
 - 2) проектируют формат для описания продуктов;
 - 3) оценивают собственные продукты;
 - 4) выпускают декларации о соответствии (Руководство ИСО/МЭК 22);
 - 5) обращаются за сертификатами или знаками соответствия (Руководство ИСО/МЭК 23);
- б) органы по сертификации, которые хотят применять схему сертификации третьей стороной (международные, региональные или национальные) (Руководство ИСО/МЭК 16, Руководство ИСО/МЭК 28 и Руководство ИСО/МЭК 44);
- в) испытательные лаборатории, которые желают соблюдать инструкции по тестированию при проведении тестирования для выдачи сертификата или знака соответствия (Руководство ИСО/МЭК 25);
- г) аккредитующие органы, проводящие аккредитацию органов по сертификации и испытательных лабораторий (Руководство ИСО/МЭК 40 и Руководство ИСО/МЭК 58);
- е) аудиторы испытательных лабораторий, проводящие оценку их компетентности (Руководство ИСО/МЭК 58);

- f) покупатели, которые могут:
- 1) сравнить свои требования с требованиями, описанными в настоящем стандарте;
 - 2) сравнить требования к конкретной рабочей задаче с информацией, приведенной в описаниях продуктов для существующих продуктов;
 - 3) искать сертифицированные продукты;
 - 4) проверить удовлетворение требований по другим аспектам;
 - g) пользователи, которые выбирают лучшие продукты.

Определения

В настоящем стандарте используют следующие термины с соответствующими определениями:

функция (function): Реализация в программе алгоритма, по которому пользователь или программа могут частично или полностью выполнять решаемую задачу.

Примечания

Пользователю нет необходимости вызывать функцию (например, автоматическое резервирование или сохранение данных).

Определение функции в настоящем стандарте уже, чем в ИСО/МЭК 2382-14 [9] (в части определений отказа, сбоя, эксплуатации и надежности), но шире аналогичных определений в ИСО 2382-2 [10] и ИСО 2382-15 [11].

нормативный документ (requirements document): Документ, содержащий любую комбинацию рекомендаций, требований или правил, которым должен удовлетворять пакет программ.

Примечание — Например, технический или эргономический стандарт, перечень требований (или типовое техническое задание) от какой-либо группировки (например, рыночного сектора, технической ассоциации или ассоциации пользователей), закон или указ.

описание продукта (product description): Документ, определяющий свойства пакета программ, основным назначением которого является оказание помощи потенциальным покупателям в оценке пригодности для них данного продукта до его приобретения.

Примечание — Данный термин является более конкретным, чем термин «описание системы» по ИСО/МЭК 2382-20 [12]. Назначением описания продукта является включение в него «информации на упаковке» по ГОСТ Р ИСО 9127 [13]. Описание продукта не является техническим заданием (или техническими условиями), оно имеет другое назначение.

документация пользователя (user documentation): Полный комплект документов, поставляемых в печатном или другом виде, который обеспечивает применение продукта, а также является его неотъемлемой частью продукта.

документация пакета (package documentation): Описание продукта и документация пользователя.

контрольный пример (test case): Документально оформленное руководство для испытателя, которое определяет, как должна или может быть протестирована функция или комбинация функций. Контрольный пример должен содержать информацию, охватывающую следующие вопросы:

- цель тестирования;
 - тестируемые функции;
 - среда тестирования и другие условия (уточнение конфигурации средств испытаний и подготовительная работа);
 - тестовые данные;
 - процедура;
 - ожидаемое поведение системы.
- сопровождение (maintenance): Составная часть сопровождения системы (см. п. «сопровождение системы» в приложении «определения из других нормативных документов»), которая связана с модификацией (изменением) пакета программ.

Требования к качеству

В следующих подразделах установлены:

- требования, согласно которым каждый пакет программ должен содержать описание продукта и документацию пользователя;
- требования к описанию продукта. В частности, требование, согласно которому описание продукта должно содержать конкретную информацию, а все приводимые в нем формулировки должны быть проверяемыми (контролируемыми) и корректными;
- требования к документации пользователя;
- требования к любым программам и данным, входящим в состав пакета программ.

Примечания

Требования к документации пользователя, программам и данным содержат много общих требований (независимо от требований, которые могут быть заявлены в описании продукта), но они не охватывают всех свойств продукта, которые могут требоваться пользователями.

Некоторые свойства, например «понятность» и «простота изучения» документации пользователя и программных сообщений, необходимы с точки зрения пользователя. Однако из-за трудности их тестирования с получением точных и воспроизводимых результатов в настоящем стандарте данные требования формулируются только в виде рекомендаций.

Требования расположены в том же порядке, что и характеристики в ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14].

Пакет программ соответствует настоящему стандарту, если он удовлетворяет всем требованиям, установленным в вышеизложенных подразделах. Рекомендации (указанные с использованием глаголов «может» или «следует») являются необязательными (факультативными).

Примечание 4 — Соответствие продукта требованиям может быть трудно или невозможно подтвердить. Однако испытание (включая проверку документов) согласно разделу 4 считают достаточным для подтверждения достоверности, требуемой для сертификата соответствия согласно Руководству ИСО/МЭК 2 [15].

Описание продукта

Каждый пакет программ должен содержать описание продукта. Описание продукта должно содержать характеристику продукта. Оно должно являться частью документации пакета для данного продукта. Оно должно содержать информацию по документации пользователя, программам и соответствующим данным.

Основными назначениями описания продукта являются:

- помощь пользователю или потенциальному покупателю при оценке ими пригодности продукта для их нужд. Для обеспечения этого описание продукта также должно содержать соответствующую торговую информацию;

- обеспечение основы для тестирования (см. раздел «Указания по тестированию»).

Описание продукта должно быть доступным для человека, заинтересованного в данном продукте.

Общие требования к содержанию

Описание продукта должно быть достаточно понятным, полным и простым при изучении, чтобы обеспечить помощь потенциальным покупателям при оценке ими пригодности данного продукта для их нужд до его покупки.

Данное описание должно быть внутренне непротиворечивым. Каждый термин должен иметь один и тот же смысл по всему документу.

Формулировки в описании продукта должны быть проверяемыми и корректными.

Примечание — Данное требование распространяется на формулировки в соответствующих внешних ссылочных нормативных документах (см. обозначения и указания, п. е).

Пункты определяют, что должно или может быть включено в описание продукта. В него могут быть включены дополнительные формулировки, относящиеся к продукту.

Обозначения и указания

а) *Обозначение описания продукта*

Описанию продукта должно быть присвоено индивидуальное обозначение как документу. Оно может иметь наименование, отличное от «описания продукта», например «Описание функциональных возможностей», «Информация о продукте», «Формуляр продукта».

б) *Обозначение продукта*

Описание продукта должно определять продукт. Обозначение продукта по крайней мере должно включать наименование продукта и обозначение его версии или даты выпуска. Если в описании продукта упомянуты два или несколько вариантов, то для каждого варианта по крайней мере должно быть установлено наименование продукта, наименование варианта и обозначение версии или даты его выпуска.

с) *Поставщик*

В описание продукта должны быть включены наименование и адрес по крайней мере одного поставщика.

Примечание — Наименование и адрес не обязательно включать в текст описания продукта, достаточно поставить на документ штамп (печать) соответствующего дилера.

д) *Рабочая задача*

В описании продукта должны быть определены целевые рабочие задачи, которые могут быть выполнены данным продуктом.

е) *Соответствие нормативным документам*

Из описания продукта могут быть даны ссылки на нормативные документы, которым удовлетворяет данный продукт, в этом случае должны быть указаны соответствующие редакции данных документов.

ф) *Необходимая система*

Должна быть определена система (технические и программные средства и их конфигурация), необходимая для ввода продукта в эксплуатацию, включая наименования изготовителей и обозначения типов всех ее частей, например:

- процессоры, включая сопроцессоры;
- объем основной (оперативной) памяти;
- типы и объемы (памяти) периферийных запоминающих устройств;
- расширяющие платы;
- оборудование ввода и вывода;
- сетевое оборудование;
- системные и прочие программные средства.

Могут быть определены различные необходимые системы, например для различных рабочих задач, различных граничных значений или различных требований к эффективности.

Формулировка «(или любое другое..., если оно совместимо)» может быть приведена в описании продукта, если предварительно было определено конкретное техническое или программное средство. Формулировка «или модернизированная версия, если она совместима» может быть приведена, если предварительно в описании продукта была определена соответствующая версия продукта. Может быть приведена формулировка «от версии X до версии Y», а формулировка «от версии X» приводиться не должна.

Примечание — Формулировка «от версии X» позже может стать ошибочной, например, при появлении версии X+3, под которой пакет программ будет работать со сбоями.

г) *Интерфейсы с другими продуктами*

Должны быть определены соответствующие интерфейсы или продукты, если в описании продукта имеются ссылки на интерфейсы с другими продуктами.

h) *Объекты поставки*

Должен быть определен каждый физический компонент поставляемого продукта, в частности все печатные документы и все носители данных.

Должен быть установлен вид поставляемых программ, например исходные программы, объектные (рабочие) модули или загрузочные модули.

Примечание — Указывать форматы носителей (например, форматы дискет) нет необходимости, потому что набор возможных форматов определяется необходимой системой (см. обозначения и указания, п. f).

і) *Ввод в действие (инсталляция)*

Должно быть указано, будет ли инсталляция продукта проводиться пользователем или нет. *Поддержка*

Должно быть указано, будет или не будет предлагаться поддержка при эксплуатации продукта, к) *Сопровождение*

Должно быть указано, будет или не будет предлагаться сопровождение продукта. Если сопровождение предусматривается, то должно быть установлено, что оно подразумевает. 3.1.3 Формулировки функциональных возможностей

а) *Обзор функций*

В описании продукта должен быть приведен обзор функций продукта, вызываемых пользователем, необходимых для них данных и предоставляемых средств.

Для каждой функции (особенно для ее опции или варианта) должно быть четко установлено, является ли она частью:

- продукта;
- расширения продукта, полностью описанного в описании продукта;
- расширения продукта, на которое дана ссылка в описании продукта;
- не гарантируемого (не обязательного) приложения.

Примечание — Нет необходимости упоминать каждую функцию, вызываемую пользователем, и приводить все подробности вызова описываемой функции.

б) *Граничные значения*

Если использование продукта ограничено конкретными граничными значениями для продукта, они должны быть указаны в описании продукта. Например:

- минимальные или максимальные значения;
- длины ключей;
- максимальное число записей в файле;
- максимальное число критериев поиска;
- минимальный объем выборки.

В случае, когда не возможно определить фиксированные граничные значения (например, когда они зависят от типа приложения или от исходных данных), тогда на них должны быть наложены соответствующие ограничения. Могут быть приведены допустимые комбинации значений и даны ссылки на более конкретную информацию из документации пользователя.

с) *Защита*

При необходимости в описание продукта должна быть включена информация по средствам предотвращения случайного или преднамеренного несанкционированного доступа к программам и данным.

3.1.4 Формулировки надежности

В описание продукта должна быть включена информация по процедурам сохранения данных.

Примечание— Данную информацию можно привести, указав, например, возможности резервирования данных с помощью функций операционной системы.

Могут быть описаны дополнительные характеристики продукта, которые обеспечивают его функциональные возможности. Например:

- проверки достоверности исходных данных;
- защита против серьезных последствий ошибки пользователя;
- восстановление при ошибках.

3.1.5 Формулировки практичности

а) *Интерфейс пользователя*

Должен быть назван тип интерфейса пользователя, например, строка команд, меню, окна, функциональная клавиша, функция подсказки.

б) *Требуемые знания*

Должны быть определены конкретные знания, которые необходимо усвоить пользователю для применения соответствующего продукта. Например:

- знание соответствующей технической области;
- знание операционной системы;
- знания, получаемые в результате специального обучения;
- знание языков, отличных от языка, на котором написано описание продукта.

Должны быть указаны все естественные языки, на которых написана документация пользователя и описан интерфейс пользователя (включая сообщения об ошибках и видимую информацию), как для самого пакета программ, так и для всех других продуктов, упомянутых в описании данного продукта.

Примечание — Данное требование строже, чем аналогичное требование 6.1.7 ГОСТ Р ИСО 9127 [13], согласно которому указание языка является необязательным.

с) *Адаптация к потребностям пользователя*

Если продукт может настраиваться (адаптироваться) пользователем, то должны быть указаны инструментальные средства для проведения такой настройки и условия их применения. Например:

- изменение параметров;
- изменение алгоритмов вычислений;
- назначение функциональных клавиш.

d) *Защита от нарушения авторских прав*

Если техническая защита от нарушения авторских прав может ухудшить практичность описываемого продукта, то в описании продукта должны быть указаны виды и средства такой защиты. Например:

- техническая защита от копирования;
- запрограммированные даты окончания использования продукта;
- интерактивные напоминания об оплате за копии.

e) *Эффективность применения и удовлетворение потребностей пользователя*

В описание продукта может быть внесена информация по эффективности применения продукта и удовлетворению им потребностей пользователя.

Примечание — Такая информация может быть описана в соответствии с рекомендациями, приведенными в ИСО 9241-11 [16].

Формулировки эффективности

В описание продукта может быть включена информация о характере поведения продукта во времени, например времени ответа и оценки производительности для заданных функций при установленных условиях (например, для заданных конфигураций системы и профилей загрузки).

Формулировки сопровождаемости

В описание продукта могут быть внесены формулировки требований (правил) по сопровождению продукта.

Формулировки мобильности (переносимости)

В описание продукта могут быть внесены формулировки требований (правил) по мобильности продукта.

Документация пользователя

Полнота (completeness)

Документация пользователя должна содержать информацию, необходимую для использования продукта. В документации пользователя должны быть полностью описаны все функции, установленные в описании продукта, и все вызываемые пользователем функции из программы.

Все граничные значения, заданные в описании продукта, должны быть продублированы в документации пользователя.

Если установка (инсталляция) продукта может быть проведена пользователем, то в документацию пользователя должно быть включено руководство по установке продукта, содержащее всю необходимую информацию (см. п. «Функциональные возможности» а, ниже). В руководстве могут быть указаны минимальные и максимальные объемы однократно устанавливаемых файлов.

Если сопровождение продукта может проводиться пользователем, то в документацию пользователя должно быть включено руководство по сопровождению программы, содержащее всю информацию, которая необходима для обеспечения данного вида сопровождения.

Правильность (correctness)

Вся информация в документации пользователя должна быть правильной. Кроме того, представление данной информации не должно содержать неоднозначных толкований и ошибок.

Непротиворечивость (consistency)

Документы, входящие в комплект документации пользователя, не должны противоречить сами себе, друг другу и описанию продукта. Каждый термин должен иметь один и тот же смысл во всех документах.

Примечание — Непротиворечивость программ и данных рассматривается в 3.3.1 d.

Понятность (understandability)

Документация пользователя должна быть понятной для сообщества пользователей, выполняющих указанную рабочую задачу, например посредством использования в ней соответствующим образом подобранных терминов, графических вставок, уточняющих пояснений и путем ссылок на полезные источники информации.

Простота обзора (ease of overview)

Документация пользователя должна быть достаточно проста для изучения пользователем, чтобы он мог выявить все описываемые в ней взаимосвязи компонентов продукта.

В каждый документ может быть включено оглавление и предметный указатель.

Если документ не поставляется в напечатанном виде, то должна быть определена процедура его распечатки с соответствующего носителя данных.

Программы и данные

Функциональные возможности

а) Установка (инсталляция)

Если установка пакета может быть выполнена пользователем, то при ее проведении должна быть обеспечена возможность успешной установки программ в соответствии с информацией, содержащейся в руководстве по установке. Каждая из необходимых систем, указанных в описании продукта, должна быть пригодной для установки программ.

В процессе установки должно быть определено, могут ли установленные программы функционировать, например путем использования поставленных с программами контрольных примеров или самотестирования с выдачей соответствующих сообщений.

б) Реализация функций

Все функции, указанные в документации пользователя, должны выполняться в виде, заданном в документации пользователя, на соответствующих средствах, с соответствующими характеристиками и данными, в рамках граничных значений, заданных там же.

Примечание — Так как все функции, указанные в описании продукта, должны быть отражены в документации пользователя, из этого следует, что данные функции так же должны выполняться.

с) Правильность

Программы и данные должны соответствовать всем обязательным формулировкам, приведенным в описании продукта и документации пользователя. Функции должны выполняться методом, соответствующим рабочей задаче. В частности, программы и данные должны удовлетворять всем требованиям из любого нормативного документа, на который дана ссылка в описании продукта.

д) Непротиворечивость

Программы и данные не должны противоречить сами себе, а также описанию продукта и документации пользователя. Каждый термин везде должен иметь один и тот же смысл.

Управление работой программы со стороны пользователя и соответствующая реакция программы (например, сообщения, выходные экранные форматы и печатные отчеты) должны быть единообразно структурированы.

Надежность

Система, включая технические средства, необходимые программные средства и те программы, которые входят в продукт, не должны приходить в такое состояние, чтобы пользователь не мог их контролировать, а данные не должны ни повреждаться, ни теряться.

Это требование должно одинаково удовлетворяться в случаях, когда:

- возможность реализуется при конкретных ограничениях;
- имеют место попытки реализации возможности вне заданных ограничений;
- неправильные исходные данные вводятся пользователем или от других программ, перечисленных в описании продукта;
- нарушаются инструкции, заданные в документации пользователя.

Исключаются только те возможности прерывания технических средств и операционной системы, которые не могут быть распознаны любой программой (например, клавиша или комбинация клавиш для сброса системы).

Программы должны обнаруживать нарушения синтаксических правил для исходных данных. В случае, когда программа определяет исходные данные как ошибочные или неопределенные, она не должна их обрабатывать как допустимые исходные данные.

Практичность

В отношении практичности продукта сторонам, заключающим соглашение на основе настоящего стандарта, рекомендуется изучить возможности применения последних редакций стандартов серии ИСО 9241 [16]—[29].

Примечание — В частности, следует принимать во внимание ИСО 9241 -10 [24] и ИСО 9241-13 [26].

а) Понятность

Запросы, сообщения и результаты выполнения программ должны быть понятными, например:

- путем соответствующего выбора терминов;
- путем графических представлений;
- путем представления исходной информации;
- путем пояснений из функции подсказки.

В сообщениях об ошибках должна содержаться подробная информация, разъясняющая причину или способ исправления соответствующих ошибок из-за неправильного применения продукта (например, путем ссылки на элемент документации пользователя).

б) Простота обозрения

На каждый носитель данных должно быть нанесено обозначение продукта, а если носителей несколько — различающий номер или текст.

Пользователю, работающему с программами, всегда должна быть предоставлена возможность выяснения, какая из функций выполняется.

Программы должны предоставлять пользователю информацию в таком виде, чтобы данная информация им легко воспринималась и читалась. Пользователь может руководствоваться соответствующими кодификаторами и классификаторами информации. При необходимости программы должны выдавать пользователю соответствующие уведомления.

Сообщения от программ следует проектировать таким образом, чтобы пользователь мог легко различать их типы, например:

- подтверждение приема;
- запросы от программ;
- предупреждения;
- сообщения об ошибках.

Форматы входных экранов, отчеты, а также другие исходные и выходные данные следует проектировать так, чтобы их можно было легко просматривать. Для этого могут быть использованы следующие возможности:

- алфавитно-цифровые поля и левостороннее выравнивание;
- числовые поля и правостороннее выравнивание;
- расположение в таблицах десятичных точек или запятых на одной вертикальной линии;
- распознаваемые ограничители полей;
- соответствующее распознавание полей, использование которых обязательно;
- указание ошибок ввода непосредственной засветкой на входном экране;
- привлечение внимания пользователя к изменению содержания экрана путем подачи визуального или звукового сигнала.

с) Простота использования

Исполнение функций, приводящих к серьезным последствиям при эксплуатации системы, должно быть обратимым, или программы должны выдавать четкие предупреждения о последствиях выполнения данных функций и запрашивать разрешающее подтверждение перед выполнением соответствующей команды. В частности, к серьезным последствиям могут привести стирание или перезапись данных, а также прерывания режима продолжительной обработки.

Если текст документа предоставляется в диалоговом режиме, то пользователю следует обеспечить возможность непосредственного доступа к отдельным структурным элементам текста (разделам, пунктам, абзацам и т.д.), например путем выбора данных элементов из отображенного на экране содержания документа или с помощью функции поиска по ключевым словам.

Эффективность

Ничего не требуется. Однако в описании продукта должны присутствовать соответствующие формулировки эффективности.

Сопровождаемость

Ничего не требуется. Однако в описании продукта должны присутствовать соответствующие формулировки сопровождаемое™.

Мобильность (переносимость)

Ничего не требуется. Однако в описании продукта должны присутствовать соответствующие формулировки мобильности.

Указания по тестированию

Указания, приведенные в 4.1—4.5, определяют порядок тестирования продукта на соответствие его требованиям к качеству. Данные указания охватывают как тестирование для характеристик, присущих всем аналогичным продуктам, так и тестирование для характеристик, продекларированных в описании продукта. Указания также охватывают как тестирование путем проверки документов, так и тестирование программ и данных по принципу «черного ящика».

Данные указания описывают функциональное тестирование (тестирование по принципу «черного ящика»). Структурное тестирование данными указаниями не охватывается, потому что для его проведения необходимо наличие исходного кода.

Рассматривают только тестирование продукта в необходимых для него системах. Эргономическую оценку на рабочем пространстве вычислительной системы в настоящем стандарте не рассматривают.

П р и м е ч а н и я :

1 Данные указания предназначены в первую очередь для тестирования, проводимого третьей стороной по некоей схеме сертификации (см. 1 с). При производстве дешевле и эффективнее использовать структурное тестирование.

2 В разделе 4 отсутствуют требования к пакетам программ (все данные требования приведены в разделе 3). Пакет программ может быть аттестован без проведения тестирования согласно разделу 4, а подобная процедура может оказаться неэффективной для выявления существующих в продукте несоответствий.

3 Так как необходимая система определяется в описании продукта, то любое несоответствие продукта в необходимой системе трактуется как несоответствие продукта.

4 Схема сертификации может предусматривать тестирование на соответствие необязательным рекомендациям.

5 Руководство по эргономической оценке приведено в ИСО 9241-11 [16].

Необходимые условия для тестирования

Наличие компонентов продукта

Для тестирования пакета программ должны иметься в наличии все его поставляемые компоненты (см. см. обозначения и указания, п. h), а также нормативные документы, указанные в описании продукта (см. обозначения и указания, п. e).

Наличие компонентов системы

Для тестирования пакета программ необходимо наличие составных частей всех вычислительных систем, указанных в описании продукта.

Обучение

Если в описании продукта указана необходимость соответствующего обучения, то испытатель (тестировщик) должен иметь доступ к учебным материалам и обучающим программам.

Работы по тестированию

Описание продукта, документация пользователя, программы и любые данные, поставляемые как части пакета программ:

- должны быть протестированы на соответствие требованиям раздела 3;
- могут быть протестированы на соответствие рекомендациям раздела 3.

Цели тестирования должны быть определены исходя из требований раздела 3 и должны охватывать все эти требования (полноту, непротиворечивость и т.д.).

Если в описании продукта упомянуты другие продукты, то их необходимо протестировать только по требованиям, предъявленным к ним в описании тестируемого продукта.

Подробные формулировки из описания продукта, документации пользователя, функций и данных для продукта тестировать нет необходимости, если по оценке тестировщика:

- они оказывают незначительное влияние на соответствие названной рабочей задаче;
- они могут быть протестированы в принципе, но с неоправданными затратами ресурсов.

Те подробные формулировки, которые не были протестированы, должны быть указаны в протоколах тестирования и в отчете о тестировании. Причины, по которым они не были протестированы, должны документироваться в протоколах тестирования.

Описание продукта

Должно быть протестировано выполнение соответствующих требований раздела 3, а выполнение рекомендаций раздела 3 может быть протестировано.

Документация пользователя

Должно быть протестировано выполнение соответствующих требований раздела 3, а выполнение рекомендаций раздела 3 может быть протестировано.

Программы и данные

Должно быть протестировано выполнение соответствующих требований раздела 3, а выполнение рекомендаций раздела 3 может быть протестировано.

Программы должны быть протестированы во всех вычислительных системах, указанных в описании продукта.

При наличии нескольких вариантов программы должен быть протестирован каждый из них. Каждая из функций, которые в соответствии с описанием продукта и документацией пользователя одинаковы в ряде вариантов, может быть протестирована в одном из вариантов.

Поставляемые программы и данные должны быть протестированы с использованием контрольных примеров, разработанных на основе описания продукта и документации пользователя. Другие материалы (например, исходные программы) не проверяют, за исключением случаев, когда это необходимо при тестировании формулировок из описания продукта или документации пользователя.

Контрольные примеры должны быть методологически и систематически проработаны.

П р и м е ч а н и е — Допускается использование методологии тестирования с применением случайных кодов.

Если в документации пользователя приведены примеры, то они должны быть использованы в качестве контрольных, но проводимое тестирование не должно быть ограничено только этими примерами.

Могут быть использованы контрольные примеры, предоставляемые поставщиком программного пакета, но проводимое тестирование не должно быть ограничено только этими примерами.

а) Установка (инсталляция)

Если в соответствии с описанием продукта установка пакета может быть выполнена пользователем, должна быть проверена возможность инсталляции программ и протестирована возможность успешной установки пакета согласно описанию, приведенному в руководстве по установке.

Любым способом должно быть обеспечено, чтобы техническая и программная среда, в которой установлены программы, соответствовала формулировкам из описания продукта в части рассматриваемой вычислительной системы.

б) Выполнение программы

Контрольные примеры должны охватывать все функции, приведенные в описании продукта и документации пользователя, а также должны учитывать комбинации функций, характерные для рабочей задачи.

Программы должны быть протестированы по всем граничным значениям (в соответствии с описанием продукта и документацией пользователя) в необходимой системе, для которой заданы эти значения.

При тестировании должны быть использованы исходные данные и последовательности команд, которые в документации пользователя явно не рекомендуются или объявляются запрещенными (см. п. «Надежность» выше).

Протоколы тестирования

Протоколы по каждому тесту должны содержать информацию, достаточную для повторения теста (Руководство ИСО/МЭК 25 [6]). Данная информация должна включать:

- план тестирования или технические требования (спецификацию) к тестированию, содержащие контрольные примеры (для каждого контрольного примера указаны его цели);
- все результаты, связанные с контрольными примерами, включая все ошибки, выявленные при выполнении теста;
- штат персонала, вовлеченного в тестирование.

Отчет о тестировании

В отчете о тестировании должны быть суммированы цели и результаты тестирования (описанные в протоколах тестирования для каждого теста). Отчет о тестировании должен иметь следующую структуру.

- 1 Обозначение продукта.
- 2 Вычислительные системы, использованные при тестировании (технические средства, программные средства и их конфигурация).
- 3 Использованные документы (включая их обозначения).
- 4 Результаты тестирования описания продукта, документации пользователя, программ и данных.
- 5 Перечень несоответствий требованиям.
- 6 Либо перечень несоответствий рекомендациям, либо перечень не учтенных в продукте рекомендаций, либо формулировка того, что продукт не был протестирован на соответствие рекомендациям.
- 7 Дата окончания тестирования.
- 8 раздел отчета о тестировании (Результаты тестирования) должны быть включены формулировки, соответствующие наименованию каждого соответствующего пункта.

В разделе 6 отчета о тестировании дополнительно к формулировке, что продукт не был протестирован на соответствие рекомендациям, может быть приведен перечень замеченных несоответствий рекомендациям.

Обозначение отчета о тестировании (испытательная лаборатория, обозначение продукта, дата выпуска отчета о тестировании) и общее число его страниц должны проставляться на каждой странице отчета о тестировании. Отчет о тестировании должен включать:

- формулировку, что результаты тестирования относятся только к протестированным компонентам продукта;
- формулировку, что полная копия отчета о тестировании не может быть изготовлена без письменного разрешения соответствующей испытательной лаборатории (Руководство ИСО/МЭК 25 [6]).

Отчет о тестировании должен соответствовать положениям Руководства ИСО/МЭК 25 [6], относящимся к отчетам о тестировании.

Дополнительное тестирование

Когда продукт, который уже был протестирован, тестируется повторно (с учетом результатов предыдущего тестирования), тогда:

- все измененные части документов, функций и данных должны быть протестированы как новый продукт;
- все неизмененные части, на которые могут влиять измененные части или изменения в необходимой системе (в соответствии с опытной оценкой тестировщика), должны быть протестированы как новый продукт;
- все другие части должны быть по крайней мере выборочно протестированы.

Определения из других нормативных документов

В настоящем приложении приведены некоторые термины и определения, используемые в настоящем стандарте, но описанные в других нормативных документах. К моменту публикации настоящего стандарта действуют редакции нормативных документов, указанные в приложении С.

Общие термины

программное средство (software): Все или часть программ, процедур, правил и любой соответствующей документации системы обработки информации. (ИСО/МЭК 2382-1 [30], без примечания).

пакет программ (software package): Полный и документально оформленный набор программ, поставляемый отдельным пользователям для реализации общих приложений или функций (ИСО/МЭК 2382-20 [12], без примечания).

системное программное средство (system software): Независимое от приложения программное средство, которое обеспечивает выполнение прикладного программного средства (ИСО/МЭК 2382-20 [12]).

сервисная программа (utility routine, utility program): Программа (машинная программа), которая обеспечивает общие, часто используемые услуги для пользователей компьютера и обслуживающего персонала (ИСО/МЭК 2382-7 [31], без примеров).

функциональный модуль (functional unit): Объект технических или (и) программных средств, имеющий конкретное назначение (ИСО/МЭК 2382-1 [30]).

(машинная) программа [(computer) program]: Синтаксический блок, соответствующий правилам конкретного языка программирования и формирующий описания и операторы или команды, необходимые для решения (выполнения) некоторой функции, задачи или проблемы (ИСО/МЭК 2382-1 [30]).

интерфейс (interface): Общая граница между двумя функциональными блоками, определяемая различными характеристиками, относящимися к функциям, физическим соединениям, обменам сигналами, и другими соответствующими характеристиками блоков (ИСО/МЭК 2382-9 [32], без примечания).

интерфейс пользователя (user interface): Интерфейс, обеспечивающий возможность обмена информацией между пользователем (человеком) и компонентами технических или программных средств вычислительной системы (АНСИ/ИИИЭ Стд 610.12 [33]).

конфигурация (configuration): Способ организации и взаимосвязи технических и программных средств системы обработки информации (ИСО/МЭК 2382-1 [30]).

Характеристики продукта

функциональные возможности (functionality): Набор атрибутов, относящихся к сути набора функций и их конкретным свойствам. Функциями являются те, которые реализуют установленные или предполагаемые потребности (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14], без примечаний).

надежность (reliability): Набор атрибутов, относящихся к способности программного средства сохранять свой уровень качества функционирования при установленных условиях за установленный период времени (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14], без примечаний).

практичность (usability): Набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для использования и индивидуальной оценки такого использования определенным или предполагаемым кругом пользователей (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14], без примечаний).

эффективность (efficiency): Набор атрибутов, относящихся к соотношению между уровнем качества функционирования программного средства и объемом используемых ресурсов при установленных условиях (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126, без примечания).

сопровождаемость (maintainability): Набор атрибутов, относящихся к объему работ, требуемых для проведения конкретных изменений (модификаций) (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14], без примечания).

мобильность (portability): Набор атрибутов, относящихся к способности программного средства быть перенесенным из одного окружения (среды) в другое (ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126 [14], без примечания).

Данные

данные (data): Представление информации в формализованном виде, пригодном для передачи, интерпретации или обработки (ИСО/МЭК 2382-1 [30], без примечаний).

носитель данных (data medium): Материал, в котором или на котором данные могут быть записаны и с которого они могут быть восстановлены (ИСО/МЭК 2382-1 [30]).

Тестирование

тестирование (test): Техническая операция, которая заключается в определении одной или нескольких характеристик данного продукта, процесса или услуги по соответствующей процедуре (Руководство ИСО/МЭК 2 [15]).

тестовые (контрольные) данные (test data): Данные, используемые для контрольной задачи (ИСО/МЭК 2382-8 [34]).

контрольная задача (check problem): Задача с известным решением, используемая для того, чтобы определить, правильно ли функционирует функциональный модуль (ИСО/МЭК 2382-8 [34]).

метод тестирования (test method): Конкретная техническая процедура для проведения тестирования (Руководство ИСО/МЭК 2 [15]).

план тестирования, план тестирования и оценки системы (test plan, system test and evaluation plan): План, в котором устанавливаются уточненные требования, критерии, общая методология, обязанности и проводится общее планирование тестирования и оценки системы (ИСО/МЭК 2382-20 [12]).

отчет о тестировании (test report): Документ, в котором представляются результаты тестирования и другая информация, относящаяся к тестированию (Руководство ИСО/МЭК 2 [15]).

Прочие термины

руководство по сопровождению программы (program maintenance manual): Документ, в котором приводится вся информация, необходимая для сопровождения программы (ИСО/МЭК 2382-20 [12]).

сопровождение системы (system maintenance): Изменение (модификация) системы в целях корректировки ошибок, повышения производительности или адаптации системы к изменившимся условиям среды эксплуатации или к изменившимся требованиям (ИСО/МЭК 2382-20 [12]).

рабочая задача (work task): Предусмотренный результат функционирования рабочей системы (ИСО 6385 [35]).

рабочая система (work system): Рабочая система охватывает сочетание людей и оборудования, участвующих совместно в процессе выполнения рабочей задачи на рабочем месте в рабочей среде при условиях, налагаемых рабочей задачей (ИСО 6385 [35]).

Пример описания продукта

Пример, приведенный в настоящем приложении, описывает в соответствии с настоящим стандартом простой гипотетический пакет программ, для того чтобы показать наличие информации, которая должна быть представлена в каждом описании продукта.

Карта описания продукта «ФЕЙЕРВЕРК» Версия 2.6

ФЕЙЕРВЕРК — программа предохранения экрана и парольной защиты.

Программа ФЕЙЕРВЕРК будет предохранять экран путем изображения великолепного, а для цветных экранов — разноцветного, фейерверка, пока вы не работаете на своем компьютере. Если вы введете пароль, то будете уведомлены, что в ваше отсутствие кто-то пытался использовать ваш компьютер.

ФЕЙЕРВЕРК резидентно устанавливается в оперативной памяти. Он будет самопроизвольно активизироваться, если вы в течение некоторого (регулируемого) времени не будете нажимать любую клавишу и двигать «мышь». Он остановится, как только вы нажмете любую клавишу или двинете «мышь». Однако если вы установили пароль, ФЕЙЕРВЕРК будет ожидать, пока вы наберете пароль.

Вы можете установить нужные вам параметры для:

- времени ожидания ФЕЙЕРВЕРКа до его самоактивизации (от 1 до 999 мин) или запретить его самоактивизацию;

- числа одновременно вспыхивающих фейерверков (от 1 до 19). Для этого в ФЕЙЕРВЕРКе будет использована диалоговая строка или окно (так же, как это делается в вашей операционной системе для изменения системной даты и времени).

Таким же образом вы можете определить пароль (от 6 до 45 символов). Если ФЕЙЕРВЕРК остановился при наборе произвольного символа или работает после набора пароля, то можно прервать ФЕЙЕРВЕРК и повторно запустить его без пароля или с другим паролем.

Можно создать резервные копии программы и провести ее настройку с помощью вашей операционной системы. При этом пароль не сохраняется.

Некоторые технические подробности:

- ФЕЙЕРВЕРК работает на персональном компьютере типа Quince Hardcore 119xi (или на совместимых с ним компьютерах), имеющем не менее 1 Мбайт оперативной памяти и накопитель на 90- или 130-миллиметровых (3,5 или 5,25 дюйма) гибких магнитных дисках (дискетах) емкостью не менее 720 Кбайт. Наличие жесткого диска не обязательно. Пакет может управляться «мышью» типа Mini-RAT с последовательным или параллельным интерфейсом (или любой другой «мышью», совместимой с ней), но наличие «мыши» необходимо;

- для ФЕЙЕРВЕРКа необходима графическая плата типа Hercules DeLuxe или PowerEGA 16+ (или любая другая плата, совместимая с ними);

- ФЕЙЕРВЕРК работает под управлением операционной системы типа B.I.T.S 1.01 или Gnome 3.0 (или любой другой операционной системы, совместимой с одной из заданных). При заказе ФЕЙЕРВЕРКа следует указать:

- желаете ли вы получить вариант для B.I.T.S или для Gnome;

- желаете ли вы получить ФЕЙЕРВЕРК на 90- или 130-миллиметровой (3,5 или 5,25 дюйма) дискете. Пакет состоит из программы (загрузочного модуля) на одной дискете брошюры с документацией, включающей руководство по установке. Важно следующее:

- вам не нужны какие-то специальные знания для установки или использования ФЕЙЕРВЕРКа;

- программные сообщения и документация написаны на английском языке;

- ФЕЙЕРВЕРК полностью соответствует ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 *Информационная технология.*

Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование.

Поддержка эксплуатации продукта и его сопровождение не обеспечиваются. Получить ФЕЙЕРВЕРК можно по адресу:

PyroManiac Klaus P Schmidt Ltd 33 Bell Street Bergheim, SU 53844 Telephone (022) 845 3902

ASTM E 1472–07 Составление документации программ 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 документаций.

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, воспроизводить 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, имени 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, 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.

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 практической, 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 предоставлена методология для систематической оценки моделей пожара, которая может использоваться при оценке пожарной опасности.

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 предпочтение отдается той или иной последовательности загрузки, требуется указать и объяснить причину.

Требования к выполнению расчетов

В этом разделе приведены документы, которые описывают методологию использования моделей при выполнении компьютерных расчетов в какой-либо ответственной сфере деятельности – приводят требования к квалификации специалистов-расчетчиков, рекомендации какие модели использовать, какие программы для этого выбирать и как проверять результаты расчета на достоверность и необходимую для дальнейшего использования точность.

- NAFEMS QSS 001:2007 Инженерное моделирование – Системы менеджмента качества – Требования;
- SAFESA - Руководство по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов.

NAFEMS QSS 001:2007 Инженерное моделирование – Системы менеджмента качества – Требования

Документ NAFEMS QSS 001 является дополнением к документам, посвященным системе менеджмента качества в инженерном моделировании, и соответствует общепризнанному международному стандарту качества ISO 9001:2000. Надлежащее применение документа QSS 001 позволит внедрить принципы качества в процесс моделирования на фундаментальном уровне, что облегчит оценку и контроль качества на каждом этапе этого процесса и обеспечит проведение инженерного моделирования в соответствии с профессиональными стандартами.

Широкое применение систем менеджмента привело к увеличению необходимости для организаций, занимающихся инженерным моделированием, убедиться в том, что они действуют в рамках структуры менеджмента качества, установленных положениями документа NAFEMS QSS 001 и стандарта ISO 9001. NAFEMS QSS 001 содержит требования, которым должны соответствовать организации, занимающиеся инженерным моделированием, желающие продемонстрировать, что они применяют общепризнанную систему менеджмента качества, обладают технической компетентностью и способностью вырабатывать технически достоверные результаты. Настоящий документ может использоваться внутренними и внешними сторонами, включая органы по сертификации, с целью оценки способности организации выполнять требования потребителей, регламентов и собственные требования. Решение о внедрении системы менеджмента качества для проведения инженерного моделирования должно являться стратегическим решением, которое остается на усмотрение высшего руководства организации.

При разработке QSS 001 уделялось внимание интерпретации и применению всех требований стандарта ISO 9001, связанных с соблюдением требований профессиональных стандартов в процессе моделирования. В разделе приведены требования к технической компетентности, остальные разделы содержат требования, выполнение которых обеспечит грамотную систему менеджмента. Соответствие системы менеджмента качества требованиям стандарта ISO 9001 само по себе не свидетельствует о том, что организация обладает необходимой компетенцией для проведения технически достоверного моделирования. В свою очередь соответствие положениям QSS 001 не является гарантией того, что были соблюдены все требования стандарта ISO 9001. Следовательно, организациям, которые придерживаются положений документа QSS 001, следует осуществлять свою деятельность в соответствии со стандартом ISO 9001. Органы по сертификации могут использовать документ QSS 001 и стандарт ISO 9001 для проведения совместной оценки и сертификации с целью подтверждения компетентности организаций, занимающихся инженерным моделированием.

Общие положения

В настоящем документе QSS 001 были учтены принципы менеджмента качества, установленные в стандарте ISO 9000 «Системы менеджмента качества - Основные положения и терминология», стандарте ISO 9001:2000 «Системы менеджмента качества – Требования» и стандарте ISO 9004 «Системы менеджмента качества – Рекомендации по улучшению эффективности производства».

Требования системы менеджмента качества, описанные в документе QSS 001, представляют собой дополнение к требованиям стандарта ISO 9001 (см. п. 2.1). Информация, обозначенная как «ПРИМЕЧАНИЕ», является методическим указанием по пониманию или разъяснению соответствующего требования.

Процессный подход

Для успешного функционирования организация должна определить и осуществлять менеджмент многочисленных взаимосвязанных видов деятельности, составляющих процесс инженерного моделирования. Документ QSS 001 основан на «процессном подходе» стандарта ISO 9001:2000, используемом для разработки, внедрения и улучшения системы менеджмента качества с целью повышения удовлетворенности потребителей путем систематического выполнения их требований. Преимущество процессного подхода состоит в непрерывности управления, которое он обеспечивает на стыке отдельных процессов в рамках их системы.

Приведенная на рис. модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе, иллюстрирует связи между процессами, представленными в разделах настоящего документа. Эта модель показы-

вает, что потребители играют существенную роль при определении входных данных. Мониторинг удовлетворенности потребителей требует оценки информации о восприятии потребителями выполнения их требований. Приведенная на рис. модель охватывает все основные требования дополнения QSS 001, не детализируя их.



Рис. Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе

Связь с ISO 9001

Документ, NAFEMS QSS 001:2007, предназначен для использования в качестве дополнения к стандарту качества ISO 9001:2000, поэтому он имеет аналогичную стандарту ISO 9001 структуру.

Стандарт ISO 9001 устанавливает требования к системе менеджмента качества, которые могут использоваться организациями в целях проведения сертификации и заключения контрактов или с целью внутреннего применения, не подлежащего сертификации. Он направлен на результативность системы менеджмента качества при выполнении требований потребителя.

Документ QSS 001:2007 опирается на стандарт ISO 9001:2000 в отношении менеджмента качества инженерного моделирования с использованием вычислительных методов при оценке объектов инженерного моделирования. Он дополняет стандарт ISO 9001, но не вносит в него изменений. Задача настоящего документа заключается в том, чтобы обеспечить интерпретацию требований стандарта ISO 9001 в контексте инженерного моделирования. Нумерация разделов QSS 001 аналогична нумерации, используемой в стандарте ISO 9001, однако названия разделов в некоторых случаях были изменены. Документ QSS 001 разработан NAFEMS при содействии органов обеспечения качества и безопасности и может быть использован в целях проведения сертификации или заключения контрактов.

Область применения

Документ QSS 001 устанавливает требования, дополняющие стандарт ISO 9001, для системы менеджмента качества в сфере инженерного моделирования с использованием вычислительных методов. Он предназначен для использования в случаях, когда организация, проводящая моделирование, желает продемонстрировать свою способность обеспечить инженерное моделирование в соответствии с требованиями потребителей и действующих регламентов, а также с целью повышения удовлетворенности потребителей посредством эффективного применения системы менеджмента качества, включая процессы, направленные на постоянное улучшение.

Должна быть определена область применения инженерного моделирования.

Различают три категории важности, в соответствии с которыми моделирование классифицируется как «Критически важное», «Важное» и «Рекомендательное».

Настоящий документ предназначен для того, чтобы представить требования к менеджменту, процессам, программному обеспечению и персоналу в контексте инженерного моделирования. В случае если требования или разделы стандарта ISO 9001 в настоящем документе не снабжены ссылкой (или намеренно оставлен пробел), данную информацию следует рассматривать как часть стандарта ISO 9001.

Документ QSS 001 не отменяет и не заменяет собой другие обязательные требования, относящиеся к объекту инженерного моделирования.

Применение

Требования настоящего документа QSS 001 предназначены для всех организаций, использующих вычислительные методы для инженерного моделирования, независимо от вида и размера. Если какое-либо требование (я) настоящего документа нельзя применить ввиду специфики организации и сферы ее деятельности, допускается исключение. При сделанных исключениях заявления о соответствии настоящему документу приемлемы, если эти исключения попадают под требования, приведенные в разделе 7, и не влияют на способность или

ответственность организации выполнять моделирование, отвечающее требованиям потребителей заказчика и соответствующим обязательным требованиям.

Организации, выполняющие инженерное моделирование, должны убедиться в том, что их система менеджмента качества обладает необходимыми свойствами, которые определены в настоящем документе для следующих (и не только) случаев, когда:

- Безопасность объекта инженерного моделирования в значительной степени зависит от результатов моделирования, или
- Неправильное функционирование объекта инженерного моделирования может полностью или частично зависеть от результатов моделирования, или
- Приемочный контроль, стандарты или критерии по условиям приемки продукции, влияющие на безопасность, зависят от результатов моделирования, или
- Моделирование играет значительную роль при оценке объекта, поскольку ошибка может привести к финансовым затруднениям для потребителя.

Документ QSS 001 должен использоваться только в сочетании со следующим нормативным международным стандартом ISO 9001:2000: «Системы менеджмента качества – Требования».

Термины и определения

В настоящем документе используются термины и определения, представленные в стандарте ISO 9001:2000 (см. п. 2.1). Приведенные ниже термины, используемые в настоящем первом издании QSS 001 для описания цепи поставок, были заимствованы из предыдущего издания QSS (Версии 2.0) и изменены для отражения применяемого в настоящее время словаря терминов стандарта ISO 9001:2000.

поставщик → организация → потребитель

Термин «организация» заменяет термин «поставщик», используемый в стандарте ISO 9001:1994, т.е. организация является поставщиком услуг по проведению моделирования. Термин «поставщик» используется по отношению к поставщикам средств моделирования, например, поставщикам программного обеспечения, консультантам, субподрядчикам и т.д., а термин «продукция» относится к результату процесса инженерного моделирования. Термин «потребитель» относится к поставщику объекта инженерного моделирования. В настоящем документе используются следующие термины и определения:

Расчетчик (*analyst*) лицо, отвечающее за формулирование задачи, подготовку данных, проектирование, выполнение и обработку моделирования, а также за подробное описание требований к решению.

Тип задачи (*application type*) тип задачи, например, атомная электростанция, самолет, мост и т.д.

Категория важности (*category of importance*) важность **инженерного моделирования** для оценки объекта инженерного моделирования и для последствий нарушения работы объекта, с точки зрения риска для жизни людей или материального ущерба. См. Приложение А.

Вычислительные методы (*computational methods*) методы численного расчета, используемые для проведения моделирования.

Инженерная задача (*engineering application*) любой существующий или еще не построенный спроектированный объект, который подлежит моделированию. В настоящем документе в значении термина «инженерная задача» также используется термин «задача».

Инженерная оценка (*engineering assessment*) процесс, приемлемый для **организации** и одобренный органами контроля и надзора, и позволяющий продемонстрировать, что **инженерная задача** безопасна и функционально надежна в допустимых пределах.

Инженерное моделирование (*engineering simulation*) процессы **идеализации задачи, численной аппроксимации**, выполнения расчетов и **интерпретации результатов**, проводимые в технических целях. В настоящем документе в значении термина «инженерное моделирование» также используются термины «моделирование» и «продукт».

Численная аппроксимация (*numerical approximation*) дискретное представление непрерывной математической модели.

Организация (*organisation*) предприятие, ответственное за проведение **инженерного моделирования** с использованием **вычислительных методов** для **инженерной оценки** объектов инженерного моделирования.

Идеализация задачи (*problem idealisation*) процесс формулирования инженерной задачи в виде концептуальной математической модели.

Аттестация процедур (*procedure qualification*) процесс демонстрации того, что документированные процедуры, применяемые во всех операциях, управляемых расчетчиком, включая выполнение процессов программного обеспечения, соответствуют данной **категории важности** и своей задаче.

Продукция (*product*) результат **инженерного моделирования**, включающий полученные результаты, их интерпретацию, отчетную документацию и итоговые материалы, оговоренные в контракте.

Аттестованная процедура (*qualified procedure*) документированная процедура, аттестованная по результатам **контрольного моделирования** или серии процессов моделирования на схожих объектах инженерного моделирования, использующих данную процедуру. Она включает в себя все виды деятельности, управляемые пользователем, включая выполнение процессов программного обеспечения. В частности она включает в себя все виды деятельности, связанные с менеджментом качества, свойственные данной процедуре. Такая процедура предназначена для проведения регулярного моделирования. В настоящем документе термин «процедура» используется в значении «аттестованная процедура».

Аттестованный процесс (*qualified process*) процесс, для которого была продемонстрирована способность выполнять его установленные требования.

Регистрация данных качества (*quality records*) используется для описания регистрационных записей, которые создаются в процессе моделирования и затем сохраняются в течение и после завершения рабочего процесса. Данные протоколы регистрации данных показывают, что организация придерживается требований системы менеджмента качества и удовлетворяет требованиям контракта. Протоколы регистрации данных также включают в себя описание средств восстановления или возобновления рабочего процесса, или являющихся основой для проведения модифицированной формы моделирования или похожих форм моделирования.

Контрольное моделирование (*reference simulation*) моделирование существующего объекта, подвергаемого заданной нагрузке, для которого путем независимых исследований могут быть определены параметры, соответствующие назначению данного объекта. Данный тип моделирования применим ко всем подходящим этапам моделирования (например, охватывающим **идеализацию задачи, численную аппроксимацию, интерпретацию результатов**), а также применению программного обеспечения. Контрольное моделирование служит для аттестации процедуры моделирования с учетом схожих инженерных объектов, находящихся в аналогичных условиях.

Интерпретация результатов (*results interpretation*) процесс толкования выходных данных, полученных при моделировании, проводимом в технических целях.

Область аттестации (*scope of qualification*) область применимости документированной процедуры или процесса. В нее входит, в числе прочего, тип **инженерной задачи**, процесс нахождения решения, используемое программное обеспечение или другие факторы, влияющие на применение процедур или процессов, особенно в отношении контрольного моделирования, на котором они основаны. В частности, должны быть определены границы области применимости процесса или процедуры.

Средства моделирования (*simulation tools*) программное обеспечение для моделирования, компьютерное оборудование, консультанты и субподрядчики, участвующие в проведении моделирования.

Тип моделирования (*simulation type*) метод нахождения решения, связанного с моделированием, например, линейная статическая модель или нелинейная динамическая модель.

Поставщик (*supplier*) поставщик **средств моделирования**.

Валидация (*validation*) в настоящем документе – подтверждение того, что все соответствующие процедуры **верификации** были успешно завершены, и установленные требования, предназначенные для предполагаемого использования или назначения моделирования, были выполнены (в допустимых пределах). Валидация моделирования включает в себя ряд процедур верификации в отношении **идеализации задачи, данных, численной аппроксимации и интерпретации результатов**.

Верификация (*verification*) в настоящем документе – подтверждение посредством предоставления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены (в допустимых пределах). Например, верификация программного обеспечения требует демонстрации того, что программное обеспечение, предназначенное для моделирования, имеет достаточно прочную теоретическую основу и соответствует установленным в документации функциональным требованиям.

Система менеджмента качества

Организация, внедряющая систему менеджмента качества в соответствии с требованиями настоящего документа QSS 001, должна определить процессы, связанные с инженерным моделированием, и определить их последовательность и взаимодействие. Организация должна определить критерии и методы, необходимые для обеспечения результативности как при осуществлении, так и при управлении этими процессами, обеспечить наличие ресурсов и информации, необходимых для поддержки этих процессов и их мониторинга и принять меры, необходимые для достижения запланированных результатов и постоянного улучшения процессов инженерного моделирования. Данные процессы должны регулироваться в соответствии с требованиями настоящего документа QSS 001 и стандарта ISO 9001.

Если организация решает передать сторонним организациям выполнение какого-либо процесса, идущего вразрез с установленными требованиями, она должна обеспечивать со своей стороны контроль за таким процессом. Управление им должно быть определено в системе менеджмента качества.

Внедрение системы менеджмента качества

Организация должна создать, документировать, внедрять систему менеджмента качества в области инженерного моделирования, поддерживать функциональность этой системы и постоянно повышать ее результативность в соответствии с требованиями настоящего документа QSS 001 и стандарта ISO 9001.

Объем работ

Руководство организации должно определить объем работ по моделированию и категории важности, которые организация квалифицирована выполнять в соответствии с настоящим документом QSS 001 и стандартом ISO 9001.

ПРИМЕЧАНИЕ: Вышеупомянутые процессы, выполнение которых необходимо для внедрения системы менеджмента качества, должны включать процессы управления, обеспечения ресурсами и обработки и мониторинга процесса моделирования.

Требования к документации

Документация системы менеджмента качества организации должна быть опубликована в виде руководства по качеству, которое должно включать положения о политике и целях в области качества, включать или ссылаться на документированные процедуры, требуемые настоящим документом QSS 001 и стандартом

ISO 9001, для обеспечения эффективного планирования, осуществления процессов моделирования и управления ими. Должны вестись записи, требуемые настоящим документом QSS 001 и стандартом ISO 9001.

Термин «документированная процедура», встречающийся в настоящем документе, используется для описания установленной, аттестованной, документально оформленной и внедренной процедуры, поддерживаемой в рабочем состоянии.

Степень документированности системы менеджмента качества одной организации может отличаться от другой в зависимости от размера организации и вида деятельности.

Документация может быть в любой форме и на любом носителе.

Система менеджмента качества организации должна включать документацию по контрольному моделированию и аттестованным процедурам. При необходимости, документированные процедуры должны быть доступны как для управленческих, так и для технических аспектов работы.

Руководство по качеству

Организация должна разработать и поддерживать в рабочем состоянии руководство по качеству, содержащее область применения системы менеджмента качества, включая подробное описание и обоснование любых исключений.

Руководство организации по качеству должно содержать или ссылаться на документированные процедуры и описание взаимодействий между процессами системы менеджмента.

Управление документацией

Документами системы менеджмента качества необходимо управлять. На разных этапах использования документов должны быть доступны их соответствующие версии, которые должны оставаться четкими и легко идентифицируемыми. Необходимо обеспечить идентификацию документов внешнего происхождения и управление их рассылкой. Во избежание непреднамеренного использования устаревших документов должна применяться соответствующая идентификация таких документов, оставленных в организации с какой-либо целью. Записи – специальный вид документов и ими надо управлять согласно требованиям, изложенным в пункте ниже «управление записями».

Для определения необходимых средств управления должна быть разработана документированная процедура, предусматривающая проверку на адекватность документов до их выпуска, анализ и актуализацию, при необходимости, и повторное утверждение документов, а также обеспечение идентификации изменений и статуса пересмотра документов.

Утверждение и выпуск документации

Процессы моделирования должны вноситься в управляемую документацию для обеспечения их перемещения, возобновления или внесения изменений. Эта документация должна включать в себя контракты, планы моделирования, нормативно-техническую документацию, отчеты, файлы компьютерных данных, квалифицированные процедуры и контрольное моделирование, и должна обеспечивать направление аудита и документацию, подлежащую аудиторской проверке. Требования к поддержанию записей в рабочем состоянии представлены пункте ниже «управление записями».

Документация программного обеспечения, разработанная организацией и используемая в квалифицированных процедурах, должна вестись в соответствии со стандартами, применяемыми к приобретенному программному обеспечению.

Средства хранения информации и их местонахождение должны соответствовать характеру информации, категории важности моделирования и необходимости обновления информации с учетом будущих изменений в средствах технического обеспечения (например, обновлений компьютерных систем).

Срок хранения документации должен быть определен в зависимости от характера работы, категории важности моделирования и действующего законодательства. Срок эксплуатации объекта инженерного моделирования должен рассматриваться при определении срока хранения документации.

Записи могут быть необходимы в случаях возникновения правовых притязаний.

Документы, подлежащие сохранению, включают в себя документы, перечисленные в пункте выше, и изменения должны быть внесены в них посредством формального процесса управления.

Управление записями

Записи должны вестись и поддерживаться в рабочем состоянии для представления свидетельств соответствия требованиям и результативности функционирования системы менеджмента качества. Они должны оставаться четкими, легко идентифицируемыми и восстанавливаемыми.

Необходимо разработать документированную процедуру для определения средств управления, требуемых при идентификации, хранении, защите, восстановлении, определении сроков сохранения и изъятия записей.

Записи, подлежащие сохранению, включают документацию, перечисленную в разделе 4.2.3.2, кроме того, к ним относятся записи параметров, которые могут использоваться при планировании или выполнении аналогичных операций в будущем и записи, демонстрирующие соответствие требованиям контракта.

Ответственность руководства

Обязательства руководства

Высшее руководство должно обеспечить наличие свидетельств принятия обязательств по разработке и внедрению системы менеджмента качества, а также постоянному улучшению ее результативности. Оно

должно разработать политику в области качества и обеспечить выполнение целей в области качества посредством проведения анализа эффективности управления. Руководство также должно обеспечить наличие необходимых ресурсов и довести до сведения организации важность выполнения требований потребителя, а также законодательных и обязательных требований.

Ориентация на потребителя

Высшее руководство должно обеспечивать определение и выполнение требований потребителей для повышения степени их удовлетворенности

Политика в области качества

Высшее руководство должно обеспечивать, чтобы политика в области качества соответствовала предоставляемому продукту моделирования. Политика в области качества должна включать в себя обязательство соблюдения требований и постоянного повышения результативности системы менеджмента качества. Она должна создавать основы для постановки и анализа целей в области качества, которые должны быть доведены до сведения персонала организации и понятны ему.

Организации, проходящие сертификацию в соответствии с настоящим документом QSS 001, должны: быть идентифицируемыми;

а) иметь систему менеджмента качества и достаточный технический опыт, удовлетворяющие требованиям настоящего документа QSS 001 и стандарта ISO 9001;

б) обладать соответствующими системами внутреннего контроля качества, которые позволяют приобретать, разрабатывать и верифицировать используемые организацией средства моделирования в соответствии с требованиями этих стандартов.

Планирование

Цели в области качества

Высшее руководство должно обеспечивать, чтобы цели в области качества, включая те, которые необходимы для выполнения требований к процессу моделирования, были установлены в соответствующих подразделениях и на соответствующих ее уровнях. Цели в области качества должны быть измеримыми и согласуемыми с политикой в области качества.

Руководство должно определить и документировать цели в области качества для обеспечения надежности моделирования. Политику в области качества следует анализировать, внедрять и соблюдать при проведении всех категорий важности моделирования.

Планирование создания и развития системы менеджмента качества

Высшее руководство должно обеспечивать планирование создания и развития системы менеджмента качества для выполнения требований, приведенных в п. 4.1, а также для достижения целей в области качества, и сохранение целостности системы менеджмента качества при планировании и внесении в нее изменений.

Ответственность, полномочия и обмен информацией

Ответственность и полномочия

Высшее руководство должно обеспечивать определение и доведение до сведения персонала организации ответственности и полномочий.

Ответственность и полномочия

В рамках управления должна быть определена и документирована установленная ответственность за техническое руководство процессом моделирования. Взаимодействия и полномочия персонала, осуществляющего руководство, проведение и верификацию процесса моделирования также должны быть определены и документированы. В частности, ответственность за техническое руководство должно включать:

а) отбор и верификацию средств моделирования, разработку и аттестацию процедур;

б) обеспечение выполнения управляемого и соответствующего требованиям процесса моделирования;

в) подготовку планов проведения моделирования, распределение задач, утверждение нормативно-технической документации, а также мониторинг, формальный анализ и утверждение всех процессов моделирования.

Представитель руководства

Высшее руководство должно назначить представителя из состава руководства, который независимо от других обязанностей должен нести ответственность и иметь полномочия, распространяющиеся на обеспечение разработки, внедрения и поддержания в рабочем состоянии процессов, требуемых системой менеджмента качества. Представитель руководства должен представлять высшему руководству отчеты о функционировании системы менеджмента качества и необходимости ее улучшения, а также содействовать распространению понимания требований потребителей по всей организации.

Внутренний обмен информацией

Высшее руководство должно обеспечивать разработку в организации соответствующих процессов обмена информацией, в том числе по вопросам результативности системы менеджмента качества.

Анализ со стороны руководства

Общие положения

Высшее руководство должно выполнять плановый анализ системы менеджмента качества организации с целью обеспечения ее постоянной пригодности, адекватности и результативности. Данный анализ должен включать в себя оценку возможностей улучшения и потребности в изменениях в системе менеджмента качества, в том числе в политике и целях в области качества. Записи об анализе со стороны руководства должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Анализ со стороны руководства организации должен опираться на требования, приведенные в настоящем документе QSS 001.

Входные данные для анализа

Данные для анализа со стороны руководства должны включать информацию о результатах аудиторской проверки, обратную связь от потребителей, функционирование процессов, соответствие процессов моделирования требованиям и статус предупреждающих и корректирующих действий. Последующие действия, вытекающие из предыдущего анализа со стороны руководства должны рассматриваться наряду с любыми изменениями, которые могли бы повлиять на систему менеджмента качества, и любыми рекомендациями по улучшению.

Выходные данные анализа

Выходные данные анализа со стороны руководства должны включать все решения и действия, относящиеся к повышению результативности системы менеджмента качества, ее процессов и потребности в ресурсах, а также к улучшению качества продукта моделирования относительно его соответствия требованиям заказчика.

Менеджмент ресурсов

Обеспечение ресурсами

Организация должна определить и обеспечивать ресурсы, требуемые для внедрения и поддержания в рабочем состоянии системы менеджмента качества для постоянного повышения ее результативности, а также повышения удовлетворенности потребителей путем выполнения их требований.

Человеческие ресурсы

Общие положения

Персонал, выполняющий работу, влияющую на качество моделирования, должен обладать достаточной компетенцией в соответствии с полученным образованием, подготовкой, навыками и опытом.

Организация должна определить требования к персоналу и обеспечивать соответствующие ресурсы для назначения подготовленного персонала по техническому руководству, проведению моделирования, процедурам верификации и валидации и внутреннему аудиту качества.

Компетентность, осведомленность и подготовка

Организация должна определять необходимую компетентность персонала, выполняющего работу, которая влияет на качество продукта моделирования, посредством проведения подготовки или других действий с целью удовлетворения этих потребностей. Она также должна оценивать результативность предпринятых мер, и обеспечивать осведомленность своего персонала об актуальности и важности его деятельности и вкладе в достижение целей в области качества. Организация должна поддерживать в рабочем состоянии соответствующие записи об образовании, подготовке, навыках и опыте.

Персонал, участвующий в инженерном моделировании, должен иметь подходящую квалификацию, подготовку и опыт, в соответствии с объемом и важностью моделирования и с применяемым программным обеспечением. Организация должна назначить компетентных расчетчиков с грамотным подходом к процессу моделирования на протяжении всего процесса моделирования.

Расчетчики должны быть осведомлены о допущениях, присущих используемым вычислительным методам, и взаимосвязях между процессом моделирования и объектом моделирования. Они должны обладать соответствующим опытом в области применения вычислительных методов и знанием применяемых систем программного обеспечения и оборудования, особенно в отношении их ограничений.

Должны быть установлены процессы выявления и обеспечения потребности подготовки персонала, проводящего моделирование. Компетенция персонала, участвующего в моделировании, должна демонстрироваться:

- а) наличием официальных академических или профессиональных аттестаций;
- б) опытом работы с данным типом инженерной задачи;
- в) опытом в области моделирования и решения инженерных задач в зависимости от типа моделирования;
- г) знанием и пониманием ограничений конкретного используемого программного обеспечения.

Уровень квалификации, подготовки и соответствующего опыта, требуемый от персонала, проводящего инженерное моделирование, должны соответствовать его роли команде проектирования, а также объему и важности моделирования. Рекомендации приведены Приложении В. Записи о квалификации, подготовке и опыте персонала должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Квалификация подрядчиков

Если моделирование или его отдельные этапы выполняются по договору подряда с привлечением подрядчиков, должны применяться требования настоящего документа QSS 001.

Выходные данные моделирования, выполненного по договору подряда, включая квалификации подрядчиков, должны быть верифицированы перед их использованием.

ПРИМЕЧАНИЕ: Требования к подготовке персонала основаны на информации, представленной в [92] Списка Литературы.

Инфраструктура

Организация должна определять, обеспечивать и поддерживать в рабочем состоянии инфраструктуру, необходимую для достижения соответствия требованиям к моделированию. Инфраструктура может включать рабочее пространство, средства моделирования, оборудование для процессов и службы обеспечения.

Организация должна обеспечивать наличие соответствующих компьютерных средств моделирования.

Производственная среда

Организация должна определять, создавать и поддерживать производственную среду, необходимую для соответствия требованиям к моделированию.

Организация должна создавать условия оказания профессиональной поддержки, в которой персонал соответствующей квалификации, работающий в общей системе управления, имеет возможность обратиться к компетентным сотрудникам-профессионалам, а также использовать компьютерные средства моделирования.

Создание продукта

Планирование создания продукта

Организация должна планировать и разрабатывать процессы, необходимые для создания продукта моделирования. Планирование процессов моделирования должно быть согласовано с требованиями к другим процессам системы менеджмента качества.

При планировании процессов моделирования организация должна определить цели в области качества и требования к моделированию, установить перечень необходимых процессов и документации и обеспечить ресурсами, необходимыми для создания продукта моделирования.

Организация должна установить необходимую деятельность по мониторингу, контролю, испытаниям, верификации и валидации для конкретного моделирования, а также критерии приемки продукта моделирования. Организация также должна определить записи, необходимые для обеспечения свидетельства того, что процессы и продукт моделирования соответствуют заданным требованиям. Результат этого планирования должен быть представлен в виде, соответствующем практике организации.

ПРИМЕЧАНИЕ: Документ, определяющий системы менеджмента качества (включая процессы моделирования) и ресурсы, которые предстоит применять к конкретному проекту моделирования или контракту, может рассматриваться как план качества.

Процессы, связанные с потребителем

Определение требований, относящихся к продукции

Организация должна определить требования к продукту моделирования, установленные потребителями, включая требования к поставке и деятельности после поставки. Она должна также определить требования, не определенные потребителем, но необходимые для конкретного или предполагаемого использования моделирования, а также законодательные и другие обязательные требования, относящиеся к моделированию, и любые дополнительные требования, определенные организацией.

Для каждого отдельного моделирования должна быть подготовлена и утверждена нормативно-техническая документация, в которой должны быть определены:

- а) назначение моделирования и требования к его выходным данным,
- б) категория важности моделирования,
- в) источники достоверных входных данных,
- г) процессы и процедуры, которые подлежат выполнению,
- д) процессы проверки результатов, определенные в плане проекта моделирования, которые подлежат выполнению,
- е) требования к ресурсам.

Анализ требований, относящихся к продукции

Организация должна анализировать требования, относящиеся к моделированию, до принятия ею обязательства поставлять продукт моделирования потребителю. Она должна также обеспечивать определение требований к продукту и согласование требований контракта, отличающихся от ранее сформулированных, и обеспечивать способность организации выполнять определенные требования. Записи результатов анализа и последующих действий, вытекающих из анализа, должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Если потребители не выдвигают документированных требований, организация должна подтвердить их у потребителя до принятия к исполнению. Если требования к продукту моделирования изменены, организа-

ция должна обеспечить, чтобы соответствующие документы были исправлены, а заинтересованный персонал был поставлен в известность об изменившихся требованиях.

Оценка риска

Организация должна согласовать с потребителем, внимательно рассмотрев соответствующие требования безопасности:

- а) категорию важности моделирования для каждого моделирования, которое будет проводиться,
- б) метод и степень аттестации процедуры, соответствующие данной категории важности моделирования.

Если такое согласование не выполняется, моделирование должно быть определено как «Рекомендательное»

Обзор контракта

Процессы для анализа согласований с потребителем или формальных контрактов должны применяться, чтобы обеспечить выполнение работ по моделированию в соответствии с установленными требованиями, определяющими ключевые аспекты работы. Изменения в этих соглашениях или официальных контрактах должны быть документированы, и их воздействие на выполненное моделирование должно быть определено. В случае необходимости, должно быть проведено повторное моделирование.

Связь с потребителями

Организация должна определять и осуществлять эффективные меры по поддержанию связи с потребителями, касающиеся информации о продукте, прохождения запросов, контракта или заказа, включая поправки, и обратной связи от потребителей, включая жалобы потребителей.

Проектирование и разработка

Планирование проектирования и разработки

Организация должна планировать и управлять проектированием и разработкой продукции. В ходе планирования проектирования и разработки организация должна устанавливать стадии проектирования и разработки, проведение анализа, верификацию и валидацию, соответствующих каждой стадии проектирования и разработки, а также ответственность и полномочия в области проектирования и разработки.

Организация должна управлять взаимодействием между различными группами, занятыми проектированием и разработкой, с целью обеспечения эффективной связи и четкого распределения ответственности. Результаты планирования должны актуализироваться, если это целесообразно, по ходу проектирования и разработки.

Допущения

Если моделирование используется для разработки инженерной задачи, допущения в идеализации задачи, данных, численной аппроксимации и интерпретации результатов должны быть четко сформулированы, а последствия их использования должны рассматриваться при оценке альтернативных подходов.

Организация деятельности

Персонал, обладающий необходимой коллективной компетенцией, должен быть назначен или предоставлен для обеспечения консультации по каждому проекту моделирования. Предоставляемый уровень компетенции должен соответствовать объему и категории важности моделирования. Техническое руководство должно обеспечивать, чтобы опыт расчетчиков соответствовал уровню технической сложности моделирования. Рекомендации, касающиеся требований к минимальным уровням компетенции персонала, представлены в Приложении.

Идентификация

Планы по проектированию и разработке должны включать идентификацию:

- а) наблюдаемых критических показателей и результатов, которые могут привести к необходимости внесения изменений в планы и задачи по проектированию и разработке,
- б) количественных оценок, расчетов, анализа и соотношений, используемых для проверки результатов отдельных проектов моделирования.

Входные данные для проектирования и разработки

Входные данные, относящиеся к требованиям к моделированию, должны быть определены, а записи должны поддерживаться в рабочем состоянии. Входные данные должны включать функциональные и эксплуатационные требования, соответствующие законодательные и обязательные требования. Там, где это целесообразно, должна быть также определена информация, взятая из предыдущих аналогичных проектов моделирования и другие важные требования. Требования к входным данным должны анализироваться на достаточность, они должны быть полными, недвусмысленными и непротиворечивыми.

Требования к входным данным моделирования должны оцениваться на соответствие в ходе всего процесса моделирования.

Выходные данные проектирования и разработки

Выходные данные проектирования и разработки должны быть представлены в форме, позволяющей провести верификацию относительно входных требований к проектированию и разработке, а также должны быть утверждены до их последующего использования. Выходные данные проектирования и разработки должны соответствовать входным требованиям к проектированию и разработке, обеспечивать соответствующей информацией по закупкам, производству и обслуживанию, содержать критерии приемки продукта или ссылки на них и определять характеристики моделирования, существенные для его безопасного и правильного использования.

Отчетная документация должна быть подготовлена и детально излагать все критические элементы и результаты с оценкой их точности и технической значимости.

Анализ проекта и разработки

На тех стадиях, где это целесообразно, должен проводиться систематический анализ проекта и разработки в соответствии с запланированными мероприятиями с целью оценки способности результатов проектирования и разработки соответствовать требованиям, а также с целью выявления любых проблем и внесения предложений по необходимым действиям. В состав участников такого анализа должны включаться представители подразделений, имеющих отношение к анализируемым стадиям проектирования и разработки. Записи результатов анализа и всех необходимых действий должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Анализ продукта моделирования должен проводиться персоналом, не зависящим от лиц, несущих прямую ответственность за выполнение работы, и имеющим соответствующую подготовку в области проведения анализа.

Верификация проекта и разработки

Верификация должна осуществляться в соответствии с запланированными мероприятиями с целью обеспечения соответствия выходных данных проектирования и разработки входным требованиям. Записи результатов верификации и всех необходимых действий должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Валидация проекта и разработки

Валидация проекта и разработки должна осуществляться в соответствии с запланированными мероприятиями с целью обеспечения соответствия конечного продукта моделирования требованиям к установленному использованию данного объекта инженерного моделирования или его предполагаемому использованию, определенным объектом инженерного моделирования или требованиям, относящимся к использованию этого объекта по назначению. Где это практически целесообразно, валидация моделирования должна быть завершена до поставки или применения продукта моделирования. Записи результатов валидации и всех необходимых действий должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Валидация моделирования должна проводиться персоналом, не зависящим от лиц, несущих прямую ответственность за выполнение работы, и имеющим соответствующую подготовку в области проведения валидации.

В ходе проведения валидации моделирования должно быть продемонстрировано, что идеализация задачи, данные, численная аппроксимация и интерпретация результатов являются действительными (в допустимых пределах). Наряду с этими действиями результаты должны подтверждаться какими-либо независимыми средствами. Подтвержденные результаты, как правило, могут быть получены из физических испытаний, опыта обслуживания, исследований причин разрушения или посредством проведения альтернативного моделирования или независимой оценки.

Управление изменениями проекта и разработки

Изменения продукта моделирования должны быть идентифицированы, а записи должны поддерживаться в рабочем состоянии. Изменения должны быть проанализированы, верифицированы и подтверждены соответствующим образом, а также согласованы до внесения. Анализ изменений должен включать в себя оценку влияния изменений на составные части моделирования и уже поставленные продукты моделирования. Записи результатов анализа изменений и любых необходимых действий должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Изменения в планах и нормативно-технической документации моделирования должны быть внесены посредством проведения процессов официального управления изменениями и выпуска пересмотренной документации. Предлагаемые изменения должны быть тщательно проанализированы перед их принятием.

Закупки

Процесс закупок

Организация должна обеспечивать соответствие закупленных или арендованных средств моделирования установленным требованиям, в частности, в отношении к типу моделирования. Тип и степень управления, применяемые по отношению к поставщику и средствам моделирования должны зависеть от воздействия этих средств на последующие процессы создания продукта моделирования.

Организация должна оценивать и выбирать поставщиков на основе их способности поставлять средства моделирования в соответствии с требованиями организации. Должны быть разработаны критерии отбора и оценки. Записи результатов оценки и любых необходимых действий, вытекающих из оценки, должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Организация должна требовать от разработчиков программного обеспечения предоставления убедительных свидетельств, подтверждающих качество системы программного обеспечения, а также убедиться в результативности средств управления качеством системы.

Информация по закупкам

Информация по закупкам должна описывать заказанную продукцию, включая, где это необходимо, требования к утверждению средств моделирования, требования к квалификации персонала и другие требования к системе менеджмента качества. Организация должна обеспечивать адекватность установленных требований к закупкам до их сообщения поставщику.

Требования к программному обеспечению

Приобретая программное обеспечение для использования в целях проектирования и разработки, организация должна определить, где это возможно, технические требования, включая испытания или условия, демонстрирующие выполнение этих требований.

Документация к программному обеспечению

Документы, относящиеся к приобретенному программному обеспечению должны поддерживаться в рабочем состоянии. Такая документация должна утверждаться уполномоченным персоналом до ее выпуска и включать в себя, помимо прочего:

- а) теоретическую основу, включая численные алгоритмы;
- б) руководство пользователя, включая область применимости программного обеспечения, ограничения и допущения;
- в) руководство по программированию, где это применимо;
- г) задачи верификации программного обеспечения;
- д) записи и уведомления об ошибках;
- е) записи и уведомления о новых версиях программного обеспечения.

Документация должна полностью соответствовать версии программного обеспечения, используемого с целями моделирования.

Верификация закупленной продукции

Организация должна разработать и осуществлять контроль или другую деятельность, необходимую для обеспечения соответствия закупленной продукции установленным требованиям к закупкам.

Входной контроль и испытание

Организация должна обеспечивать, чтобы средства моделирования, и, в особенности, программное обеспечение для моделирования, не использовались в процессах моделирования до их верификации, и чтобы частота проведения проверок была определена.

Производство и обслуживание

Управление производством и обслуживанием

Организация должна планировать и проводить моделирование в управляемых условиях. Управляемые условия должны включать наличие информации, описывающей процесс моделирования, наличие рабочих инструкции, проведение мониторинга и осуществление выпуска, поставки и действий после поставки продукции.

Валидация процессов производства и обслуживания

Организация должна подтверждать все процессы моделирования, результаты которых нельзя проверить посредством последовательного мониторинга или измерения. К ним относятся все процессы, недостатки которых становятся очевидными только после завершения процесса моделирования или в ходе эксплуатации объекта инженерного моделирования. Аттестация должна продемонстрировать способность этих процессов достигать запланированных результатов. Организация должна разработать меры по этим процессам, включая определенные критерии для анализа и утверждения процессов, утверждение средств моделирования и квалификации персонала, применение конкретных методов и процедур моделирования, требования к записям и повторной валидации процессов.

Управление процессами

Все этапы моделирования, поддерживающие оценку объекта моделирования, должны использовать аттестованные процессы, в том числе, в целях применения программного обеспечения для моделирования.

Аттестованные процессы должны включать:

- а) задачу, рассматриваемую в ходе проведения процессов, ее определяющие характеристики и требования;
- б) средства программного обеспечения для моделирования и процессы, которые предстоит использовать;
- в) все управляемые расчетными процессами и, в частности, подробное описание идеализации задачи, численной аппроксимации и интерпретации результатов моделирования для выполнения инженерной оценки;
- г) управление качеством в ходе выполнения процессов;
- д) область применимости процессов, в частности, в отношении ограничений по их применению;
- е) идентификацию документированного контрольного моделирования, используемого при аттестации процессов;
- ж) высшую категорию важности моделирования, в которой могут использоваться данные процессы (см. Приложение).

Область применимости процесса должна ограничиваться рядом типов объектов инженерного моделирования, типов моделирования и результатами, используемыми при его аттестации. Степень аттестации и область применимости процесса должны отображать категорию важности моделирования, в которой может применяться данный процесс.

Идентификация и прослеживаемость

Организация должна идентифицировать продукт моделирования и его статус на всех стадиях его разработки по отношению к требованиям мониторинга, а также управлять специальной идентификацией продукта моделирования и регистрировать его.

Собственность потребителей

Организация должна проявлять заботу о собственности потребителя, пока она находится под управлением или используется ею. Организация должна идентифицировать, верифицировать, защищать и сохра-

нять собственность потребителя, предоставленную для использования в процессе моделирования. Если собственность потребителя утеряна, повреждена или признана непригодной для использования, потребитель должен быть об этом извещен, а записи должны поддерживаться в рабочем состоянии.

ПРИМЕЧАНИЕ: Собственность потребителя может включать в себя интеллектуальную собственность.

Средства моделирования, предоставленные потребителем, должны проходить соответствующие проверки, включая верификацию.

Сохранение соответствия продукта

Организация должна сохранять соответствие продукта моделирования в ходе внутренней обработки и в процессе поставки к месту назначения. Это сохранение должно включать идентификацию, погрузочно-разгрузочные работы, упаковку, хранение и защиту. Сохранение должно также применяться к составным частям процесса моделирования.

Архивное хранение

Порядок процессов должен быть установлен для защиты и резервного копирования данных, процедур завершения работы и архивного хранения информации. Если информация хранится на электронных носителях, должны быть предусмотрены меры восстановления этой информации на случай повреждения, порчи или устаревания носителя.

Управление устройствами для мониторинга и измерений

Организация должна определить способы проведения мониторинга и верификации средств моделирования, а также подход, необходимый для обеспечения свидетельства соответствия средств моделирования установленным требованиям. Организация должна разработать процессы для подтверждения того, что способ мониторинга и верификации средств моделирования совместим с установленными требованиями.

Там, где необходимо обеспечивать имеющие законную силу результаты, средства моделирования должны проходить проверку через установленные периоды времени, или перед их применением, в соответствии с установленными стандартами. При отсутствии таких стандартов, основные принципы верификации должны быть зарегистрированы. Средства моделирования должны быть отрегулированы или повторно отрегулированы, по мере необходимости, а также идентифицированы с целью установления статуса верификации, защищены от регулировок, которые сделали бы недействительными результаты верификации, и защищены от повреждения и ухудшения состояния в ходе эксплуатации, обслуживания и хранения.

Кроме того, организация должна оценить и зарегистрировать правомочность предыдущих результатов моделирования, если обнаружено несоответствие средств моделирования установленным требованиям. Организация должна предпринять соответствующее действие в отношении таких средств моделирования и любых процессов моделирования, на которые было оказано влияние. Записи результатов мониторинга и верификации должны поддерживаться в рабочем состоянии. Способность этих средств выполнять моделирование объекта должна быть подтверждена до начала применения и повторно подтверждена по мере необходимости.

Идентификация программного обеспечения для моделирования

Порядок процессов должен быть установлен для идентификации всех документов, записей и данных с целью разработки и верификации программного обеспечения. Выпуск программного обеспечения, предназначенного для использования в области моделирования, должен предусматривать четкую совместимость с используемыми аппаратными средствами, операционной системой и версией программного обеспечения.

Верификация программного обеспечения для моделирования

Порядок процессов должен быть установлен для приемки и выпуска программного обеспечения. Данные процессы должны включать испытания в соответствии с объектами моделирования, используемые разработчиком программного обеспечения для проведения процедуры верификации, а также в соответствии с контрольными прогонами для аттестации процессов моделирования.

Такие испытания должны проводиться на основе типа компьютерной системы, предназначенного для выполнения моделирования. Изменения в системе программного обеспечения или аппаратных средствах должны требовать проведения повторных приемочных испытаний.

Верификация программного обеспечения должна быть спланирована, выполнена и документально оформлена до его применения в моделировании или в разработке процессов моделирования. Такие проверочные испытания должны соответствовать техническим требованиям к моделированию и, в частности, в отношении к его типу. Испытания должны включать, помимо прочего:

- а) фундаментальную теорию и условия, требуемые в соответствии с данной теорией;
- б) установленные критерии;
- в) соответствующие четко сформулированные задачи и установленные методы их решения;
- г) испытания на отклонение необоснованных задач или решений.

Измерение, анализ и улучшение

Общие положения

Организация должна планировать и применять процессы мониторинга, измерения, анализа и улучшения, необходимые для демонстрации соответствия требованиям к продукту моделирования и обеспечения соответствия системы менеджмента качества, а также для постоянного повышения результативности системы менеджмента качества.

Мониторинг и измерение

Удовлетворенность потребителей

Организация должна проводить мониторинг информации, касающийся восприятия потребителями соответствия организации требованиям потребителей, как одного из способов измерения работы системы менеджмента качества. Должны быть установлены методы получения и использования этой информации.

Внутренние аудиты (проверки)

Организация должна проводить регулярные внутренние аудиты (проверки) с целью установления того, что система менеджмента качества соответствует запланированным мероприятиям (см. выше), требованиям настоящего документа QSS 001 и стандарта ISO 9001 и требованиям системы менеджмента качества, разработанным организацией, и внедрена результативно и поддерживается в рабочем состоянии.

Программа аудитов (проверок) должна планироваться с учетом статуса и важности процессов и участков, подлежащих аудиту, а также результатов предыдущих аудитов. Критерии, область применения, частота и методы аудитов должны быть определены. Выбор аудиторов и проведение аудитов должны обеспечить объективность и беспристрастность процесса аудита. Аудиторы не должны проверять свою собственную работу. Руководство, ответственное за проверяемые области деятельности, должно обеспечивать, чтобы действия предпринимались без излишней отсрочки для устранения обнаруженных несоответствий и вызвавших их причин. Последующие действия должны включать верификацию предпринятых мер и отчет о результатах верификации (см. далее).

Ответственность за и требования к планированию и проведению аудитов (проверок) и представлению полученных результатов и поддержанию записей в рабочем состоянии (см. выше) должны быть определены в документированной процедуре.

Внутренние аудиты должны включать мониторинг требований к подготовке персонала, участвующего в проведении моделирования, и такой мониторинг должен быть документально оформлен.

Мониторинг и измерение процессов

Организация должна применять подходящие методы для мониторинга и измерения процессов системы менеджмента качества. Эти методы должны демонстрировать способность процессов достигать запланированных результатов. Если запланированные результаты не достигнуты, то, когда это целесообразно, должны предприниматься соответствующие корректирующие действия для обеспечения соответствия продукта моделирования заданным требованиям.

Мониторинг и измерение продукции

Организация должна осуществлять мониторинг и измерять характеристики моделирования с целью проверки соблюдения требований к продукту моделирования. Это должно осуществляться на соответствующих стадиях процесса моделирования согласно запланированным мероприятиям (см. выше). Свидетельства соответствия продукта моделирования критериям приемки должны поддерживаться в рабочем состоянии. Записи должны указывать лица, санкционировавшие выпуск продукта моделирования. До завершения всех запланированных мероприятий выпуск продукта моделирования и его поставка потребителю не должны осуществляться, если иное не утверждено соответствующим уполномоченным лицом или потребителем.

Проверка и испытания процесса моделирования

Организация должна выполнять процессы периодического анализа результатов моделирования и проверять, чтобы эти результаты соответствовали нормативно-технической документации по моделированию.

Итоговый контроль и испытания

Организация должна осуществлять процессы верификации и валидации и проверять, чтобы работа по моделированию соответствовала установленной категории важности до поставки продукта моделирования.

Записи о контроле и испытаниях

Вся деятельность по аттестации, верификации и валидации должна быть полностью документирована.

Управление несоответствующей продукцией

Организация должна обеспечивать, чтобы продукт моделирования, который не соответствует требованиям, был идентифицирован и управлялся с целью предотвращения непреднамеренного использования или поставки.

Организация должна решать вопрос с несоответствующим продуктом моделирования одним или несколькими следующими способами: осуществлять действия с целью устранения обнаруженного несоответствия; санкционировать его использование, выпуск или приемку, если имеется разрешение на отклонение от соответствующего полномочного органа или потребителя; или осуществлять действия с целью предотвращения его первоначального предполагаемого использования или применения.

Записи о характере несоответствий и любых последующих предпринятых действиях, включая полученные разрешения на отклонения, должны поддерживаться в рабочем состоянии. Когда несоответствующий продукт моделирования исправлен, он должен быть подвергнут повторной верификации для подтверждения соответствия установленным требованиям. Если несоответствующий продукт моделирования выявлен после поставки или начала, организация должна предпринять действия, адекватные последствиям (или потенциальным последствиям) несоответствия.

Средства управления и ответственность и полномочия для работы с несоответствующим продуктом моделирования должны быть определены в документированной процедуре.

Несоответствующие требованиям элементы включают результаты, средства и процессы моделирования, которые не прошли валидацию, верификацию и, соответственно, не были аттестованы. Они могут использоваться исключительно для работы с «Рекомендательной» категорией важности моделирования.

Анализ данных

Организация должна определить, собирать и анализировать соответствующие данные для демонстрации пригодности и результативности системы менеджмента качества, а также оценивания, в какой области можно осуществлять постоянное повышение результативности системы менеджмента качества. Анализ данных должен предоставлять информацию по удовлетворенности потребителя, соответствию требованиям к продукту моделирования, характеристикам и тенденциям процессов, включая возможности предупреждающих действий, и поставщикам.

Улучшение

Постоянное улучшение

Организация должна постоянно повышать результативность системы менеджмента качества посредством использования политики и целей в области качества, результатов аудитов, анализа данных, корректирующих и предупреждающих действий, а также анализа со стороны руководства.

Корректирующие действия

Организация должна предпринимать корректирующие действия с целью устранения причин несоответствий для предупреждения их повторного возникновения. Корректирующие действия должны быть адекватными последствиям выявленных несоответствий.

Должна быть разработана документированная процедура для определения требований к анализу несоответствий (включая жалобы потребителей), установлению причин несоответствий, и оцениванию необходимости действий, чтобы избежать повторения несоответствий. Должна быть разработана документированная процедура для определения и осуществления необходимых корректирующих действий, а также для анализа и записей результатов предпринятых действий.

Ошибки системы программного обеспечения

Корректирующие действия должны включать создание отчетов об ошибках системы программного обеспечения, предоставляемых разработчику, а также мониторинг корректирующих действий. Документированные процедуры создания отчетов и корректировки ошибок системы программного обеспечения должны быть определены.

Предупреждающие действия

Документированная процедура должна быть разработана для выявления потенциальных несоответствий и их причин, а также для действий с целью предупреждения появления этих несоответствий. Документированная процедура должна быть разработана для анализа и записи результатов предпринятых действий. Предупреждающие действия должны быть соизмеримы с последствиями потенциальных проблем.

Документированная процедура должна быть разработана для определения предупреждающих действий, включая управление изменениями.

Категории важности моделирования

Категория моделирования 1 — «Критически важная» (Общественное бедствие)

Чтобы отнести моделирование к данной категории, необходимо наличие двух условий: объект моделирования должен иметь такие свойства, чтобы нарушение его работы или его разрушение представляло угрозу для жизни людей или подвергало опасности собственность или окружающую среду в масштабах общественного бедствия; моделирование должно являться неотъемлемой частью инженерной оценки. Примеры инженерных задач и ситуаций нарушения их работы, относящиеся к категории моделирования 1, включают:

- а) крушение кораблей или самолетов, приводящее к затоплению, механическому разрушению или аварийной посадке;
- б) обрушение мостов, зданий или других значимых сооружений общественного пользования, угрожающее жизни людей;
- в) взрывы, повреждения или утечка из сосудов высокого давления, создающие прямую угрозу для жизни людей или высвобождающие физически или химически вредные вещества за пределы четко установленной зоны безопасности;
- г) обрушение земляных сооружений, плотин, трубопроводов, сетей водоснабжения и линий электропередач и т.д., приводящее к высвобождению воды, газов, потере электроэнергии и т.д. в масштабах, представляющих значительную и прямую угрозу для собственности или жизни людей;
- д) разрушение значимых общественных сооружений (например, приливных плотин, волноломов и т.д.), которое может причинить прямой или косвенный ущерб, выходящий за пределы ответственности поставщика инженерного объекта.

Примеры случаев, когда моделирование составляет неотъемлемую часть инженерной оценки, включают:

- а) технические характеристики объекта моделирования демонстрируются только с помощью моделирования, т.е. при отсутствии утвержденных подробных норм и правил, или подтверждающих испытаний;
- б) моделирование используется в качестве главного связующего звена для передачи сведений о пове-

дении всего объекта в данные испытаний, которые демонстрируют технические характеристики отдельных его частей;

в) моделирование используется, чтобы расширить применение общепринятых норм и правил инженерной оценки в областях, где отсутствует уполномоченный компетентный орган оценки.

Категория моделирования 2 — «Важная»

Вторая категория моделирования определяется одним из следующих условий:

а) объект моделирования может иметь такие свойства, что его обрушение, по меньшей мере, приведет к возникновению серьезной угрозы для жизни людей или причинит прямой или косвенный ущерб, выходящий за пределы ответственности поставщика объекта моделирования;

б) обрушение объекта моделирования может представлять угрозу на уровне категории моделирования 1, однако моделирование не является единственной мерой инженерной оценки.

Примеры ситуаций нарушения работы объектов моделирования, относящихся к категории моделирования 2, включают:

а) аварии с участием частных транспортных средств (например, семейных автомобилей, и т.п.), которые могут представлять угрозу для жизни людей;

б) особые типы разрушений (например, износ самолета) важных транспортных систем или общественных сооружений, которые, как правило, могут быть предотвращены путем соблюдения общепринятых мер безопасности, но которые могут привести к серьезным нарушениям в этих системах;

в) крупные заводы или строительные сооружения, разрушение которых не представляет прямой угрозы для жизни людей, но потребует реконструкции или нового строительства, и стоимость которых поставщик объекта, как правило, не в состоянии понести.

Примеры частичного использования моделирования

Существует возможность для объекта инженерного моделирования, по всем показателям относящегося к категории моделирования 1, быть отнесенным в категорию более низкой важности моделирования 2, в случае, если моделирование не является незаменимой частью инженерной оценки. Это может произойти при условиях, если:

а) моделирование выполняется при наличии установленных норм и правил (например, для зданий, судов и т.д.), которые обычно принимаются за основу безопасного проектирования;

б) моделирование сопровождается комплексной программой полномасштабных испытаний для демонстрации выполнения требований соответствующего органа контроля и безопасности;

в) моделирование проводится исключительно для первоначальной инженерной оценки или в целях специального расследования и впоследствии будет дополнено независимыми, утвержденными процессами оценки.

Категория моделирования 3 — «Рекомендательная»

Данная категория моделирования применяются в ситуациях, не подпадающих под описание предыдущих категорий, но в случаях, когда моделирование вносит значительный вклад в инженерную оценку и разрушение объекта моделирования может вызвать финансовый ущерб для его поставщика или послужить причиной возникновения нарушений в его системах.

Компетентность персонала

Общая информация

Лицо или лица в составе организации, ответственные за выполнение моделирования, должны обладать квалификацией, которая удовлетворяет требованиям раздела (см. [92]) в отношении:

Официальных академических или профессиональных квалификаций (см. далее).

Знания типа инженерной задачи (см. далее).

Опыта моделирования и решения инженерных задач в зависимости от типа моделирования (см. далее).

Знания и понимания ограничений конкретного используемого программного обеспечения. (см. далее).

Принято выделять три четко определенные роли, которые может выполнять персонал, участвующий в моделировании:

«Расчетчик» - лицо, напрямую ответственное за формулирование задачи, подготовку данных, планирование и проведение моделирования и обработку его результатов, а также за определение требований к методу решения.

«Управляющий» - лицо, ответственное по прямому порядку подчиненности за регулирование работы расчетчика, в той степени, в которой она связана с инженерной задачей, для которой предстоит проводить моделирование. (Если расчетчик несет персональную ответственность за инженерную задачу, то он может быть назначен лицом, исполняющим обязанности управляющего).

«Консультант» - лицо, обладающее знанием в области моделирования и опытом использования соответствующего программного обеспечения в целях инженерной оценки. Консультант может быть сотрудником данной организации или сторонним сотрудником, действующим в организации на основе договора.

Требования к персоналу

Научная или профессиональная квалификация

Как определено лица, принимающие участие в моделировании, должны обладать квалификацией, соответствующей академическим стандартам в соответствующих областях техники, физики, информатики или математических наук. Соответствие данным стандартам определяется наличием соответствующей ученой степени, или наличием профессиональной квалификации и занимаемой должности, которые признаны профессиональным сообществом эквивалентными этой степени. В случае если ученая степень или профессиональная квалификация специально не предусматривают знания прикладной механики, требуется, по меньшей мере, один год опыта работы (или официальной переподготовки) в соответствующей технической области.

Примечание: Более подробные рекомендации представлены в работе NAFEMS, «Программа для квалифицированного расчетчика» («Registered Analyst Scheme») (см. список литературы [92]).

Соответствующий опыт моделирования

Расчетчик или управляющий, как определено, должны обладать минимальным опытом в области моделирования инженерных задач с целью проведения инженерной оценки в соответствии с разделом В.2.5. Лица, отвечающие данному требованию, должны быть в полной мере осведомлены с нормами и правилами, методами проектирования и стандартами, относящимися к данным задачам.

Примечание: Особые условия должны быть предусмотрены для новых сфер проектирования, где, как предполагается, ни одна из организаций не может в достаточной мере выполнять данные требования.

Математическое моделирование и решение задач

Лица, соответствующие данному требованию, должны обладать минимальным опытом, установленным для каждого типа моделирования в соответствии с разделом. Официальная подготовка с последующим опытом работы или предшествующий опыт в соответствующих типах моделирования, могут позволить удовлетворять данному требованию.

Официальная подготовка предполагает посещение продолжительных курсов обучения в области моделирования в целях инженерной оценки, наряду с минимальным опытом решения задач (определение технических условий, подготовка данных и оценка результатов), в соответствии с таблицей раздела.

Предшествующий опыт включает в себя практику выполнения работ объема и характера, соответствующих целям и области применения инженерной оценки. Требования к минимальному опыту в соответствующих категориях моделирования представлены в таблице.

Применение программного обеспечения в целях моделирования

Лица, соответствующие данному требованию, должны:

Пройти официальную подготовку и/или обучение на рабочем месте использованию программного обеспечения в целях моделирования для выполнения инженерной оценки сроком не менее трех месяцев.

Быть знакомы с документацией программного обеспечения и продемонстрировать руководителю понимание содержания документации и ее ограничений в отношении инженерной оценки.

Выполнить или руководить выполнением решения, по меньшей мере, пяти задач в области инженерной оценки в соответствии с требованиями управляющего или потребителя.

Иметь успешный опыт использования соответствующих компонентов системы и процессов в предшествующей практике или в ходе подготовки к текущему объему задач.

Иметь налаженный контакт с разработчиком программного обеспечения для моделирования или уполномоченной системной службой.

Минимальный рекомендуемый уровень опыта (см. таблицу).

Варианты выполнения требований к квалификации

Существует два способа выполнения вышеупомянутых требований:

Моделирование выполняется и руководится одним и тем же лицом, соответствующим всем требованиям, изложенным в разделе.

Моделирование выполняется группой сотрудников, в которой расчетчик или прямой управляющий соответствуют требованиям, а остальные требования выполняются наличием квалификаций у одного или нескольких членов активной группы. Данное требование может выполняться сторонним специалистом, при условии, что он является консультантом, действующим на основании договора. В большинстве случаев второй вариант является предпочтительным, поскольку некоторые члены группы (по возможности) могут быть назначены специалистами в соответствии с данными требованиями, что позволит смягчить последствия в случае кадровых изменений.

	Опыт инженерной практики	Моделирование и решение задач	
	В.2.2	В.2.3.1 или В.2.3.2	
Категория моделирования	Опыт решения соответствующей инженерной задачи	Опыт моделирования после официальной подготовки	Выполнение соответствующих работ
Категория 1 «Критически важная»	5 лет	6 месяцев	Выполнение 2-х моделирований категории 1 под руководством управляющего ИЛИ 5-ти моделирований категории 2, прошедших аудиторскую проверку
Категория 2 «Важная»	2 года	2 месяца	Проведение 1-го процесса моделирования категорий 1 или 2 под руководством управляющего ИЛИ 3-х процессов моделирования категории 3, прошедших аудиторскую проверку
Категория 3 «Рекомендательная»	1 год	1 месяц	Моделирование контрольных задач (например, контрольных задач NAFEMS)

Таблица. Минимальные рекомендуемые уровни опыта

Документация

Записи, представляющие объективные свидетельства о квалификации, подготовке и опыте каждого сотрудника, участвующего в процессе моделирования, должны поддерживаться в рабочем состоянии.

Вышеупомянутые свидетельства должны быть обобщены в подписанном сертификате компетентности, указываемом в документации для любого моделирования, попадающего в область его применения.

Срок действия и обновление

Любая оценка компетентности имеет ограниченный срок действия, и новая оценка и сертификат должны быть получены в следующих случаях:

Область применения моделирования значительно изменяется в отношении типа объекта моделирования, используемых системных средств, или категории важности моделирования.

Состав рабочей группы изменяется таким образом, что общая квалификация лиц первоначально назначенных для выполнения соответствующих функций перестает отвечать всем установленным требованиям.

Вводится абсолютно новое (для организации) программное обеспечение, т.е. не новая версия или обновление существующего программного обеспечения.

По прошествии трех лет при любых обстоятельствах.

SAFESA – Руководство по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов

Введение

Целью документа является краткий обзор современной практики по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов. Несмотря на то, что оценка конструкций может проводиться на основе испытаний, опыта или расчета (или их сочетания) настоящий документ, главным образом, касается аналитических подходов, по возможности, основанных на испытаниях и опыте.

«Руководство SAFESA по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов» в основном касается вопросов менеджмента и технических вопросов. Настоящий документ составлен в соответствии со стандартом ISO 9001 и документом NAFEMS QSS, которые касаются менеджмента качества расчета методом конечных элементов. На рис. ниже отражено, каким образом стандарт ISO 9001, документ NAFEMS QSS и «Руководство SAFESA по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов» дополняют друг друга. Так, в стандарте ISO 9001 содержится 20 основных пунктов, большинство из которых

трактуются в документе NAFEMS QSS, в то время как настоящий документ вплотную касается только двух пунктов, а именно: «Контроль над проектированием» и «Контроль над процессом».

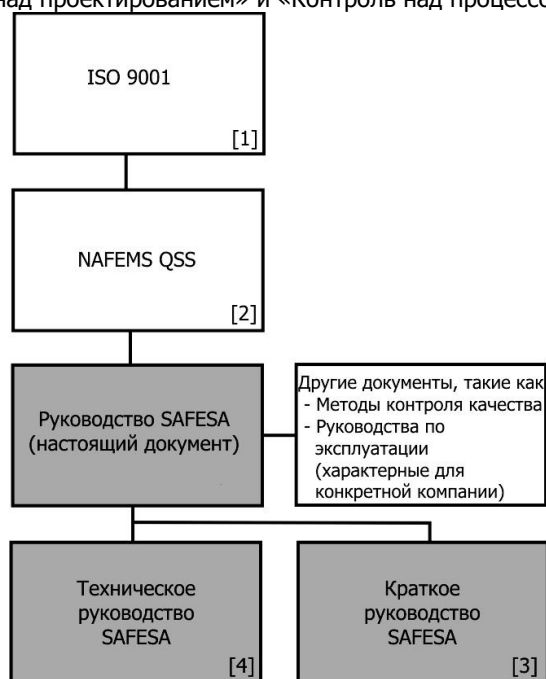


Рис. Взаимосвязь документов SAFESA с другими документами

Под термином «конструкция» подразумевается объект, спроектированный с целью выдерживать нагрузки, который может быть как новым (т.е. еще не построенным) или существующим (т.е. уже построенным). Конструкция считается ненадежной, если велика вероятность смертельных случаев при ее обрушении, что соответствует категории 1 (критически важная) согласно документу NAFEMS QSS. Оценка конструкции – это определение пригодности конструкции для выполнения ее функции с учетом способности выдерживать нагрузки. Она может охватывать как проектирование на стадии до начала строительства и/или на стадии эксплуатации. (В целях настоящего документа термины «проектирование» и «экспертиза» считаются равнозначными термину «оценка»).

Ресурсы

Общие положения

Для успешного проведения оценки конструкций с использованием метода конечных элементов необходимо правильно сочетать ряд ресурсов. К этим ресурсам относятся:

- расчетчик, имеющий хорошее понимание процесса оценки конструкций и методологии расчета;
- компьютерные средства;
- профессиональное окружение, оказывающее поддержку.

В настоящем документе под «расчетчиком» подразумевается специалист, обладающий необходимым уровнем компетентности согласно документу NAFEMS QSS. Помимо компетентности в проведении расчета методом конечных элементов, расчетчик также должен учитывать следующие моменты:

- a) разницу между верификацией, валидацией и оценкой;
- b) разницу между реальной конструкцией, описанием реальной конструкции и моделью конструкции;
- c) разницу между неопределенностью и погрешностью, и то, как с ними следует обращаться.

Методология расчета

Грамотная методология расчета должна учитывать информацию из подпунктов (a) - (c). Кроме того, она должна учитывать неотъемлемую сложность валидации расчета методом конечных элементов и необходимость наилучшим образом сочетать расчет, испытания и опыт. Одним из таких примеров является методология, представленная в «Техническом руководстве SAFESA». В целом, грамотная методология расчета входит в общую структуру процесса проведения оценки конструкции, как показано на рис. ниже (адаптировано из «Пособия по оценке целостности конструкции»).

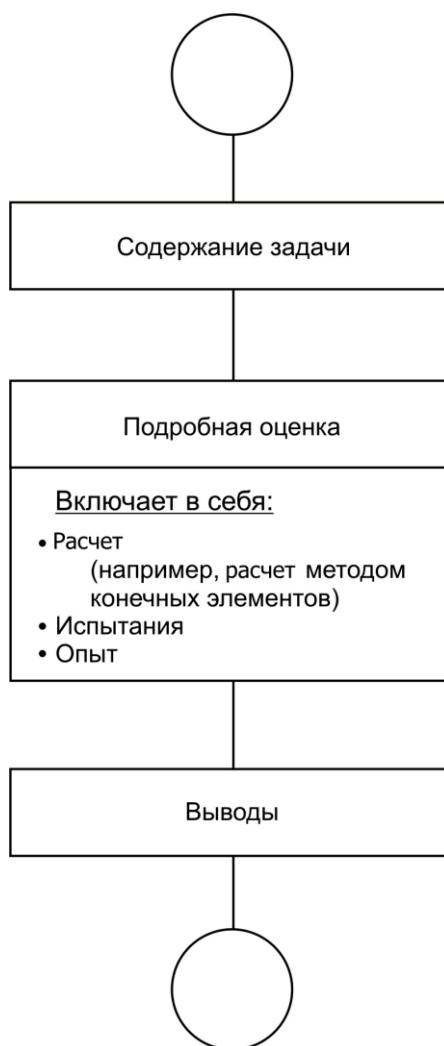


Рис. Процесс оценки конструкции (три основных этапа)

Компьютерные средства

При проведении расчета методом конечных элементов к компьютерным средствам относят пакет ПО метода конечных элементов (в который входит программное обеспечение, документация и средства поддержки), аппаратные средства и операционные системы. Стандарты по применению данного пакета приведены в документе NAFEMS QSS.

Профессиональное окружение, оказывающее поддержку

Под профессиональным окружением, оказывающим поддержку, подразумевается группа компетентных коллег, относящихся к одной системе менеджмента. Подробные требования к компетентности персонала приведены в приложении С документа NAFEMS QSS, а грамотная система менеджмента описана в стандарте ISO 9001 и документе NAFEMS QSS. (Обратите внимание, что профессиональное окружение, оказывающее поддержку, необязательно связано с одной организацией, но может включать в себя, например, профессиональные клубы или научные общества.)

Сочетание ресурсов

Расчетчик, методология, компьютерные средства и профессиональное окружение, оказывающее поддержку, в совокупности могут быть представлены в виде концепции как на рисунке, приведенном ниже.



Рис. Необходимые ресурсы и связь между ними

Роль испытаний и опыта

Выше шла речь о необходимости наилучшим образом сочетать расчет (в данном случае методом конечных элементов) с результатами испытаний и опытом. Оценка конструкций, значимых с позиции их надежности, с применением расчета методом конечных элементов рекомендуется только в том случае, когда эта конструкция соответствует тем конструкциям, для которых практическое применение метода конечных элементов доказало свою надежность. В иных случаях рекомендуется применение испытаний, подтверждающих надежность конструкции. Необходимость проведения испытаний и их масштаб определяются на основе обращения к современной практике в соответствующей отрасли промышленности (например, см. «Будущее испытаний конструкций», материалы коллоквиума, проведенного в центре Берволс (Бристольский Университет) в мае 1988 года, МакГроу-Хилл, 1990 год, ISBN 0-07-707380-0 и «Объединенные нормы летной годности управления гражданской авиации»: «Испытание конструкции»; АСК 25307 «Испытание конструкции», пояснительные материалы); JAR 25305 «Прочность и деформация».

Верификация, валидация и оценка

Общие положения

В контексте данного документа важно различать верификацию, валидацию и оценку. Эти термины отражены на рис. ниже в контексте применения пакета программного обеспечения для оценки конструкции.

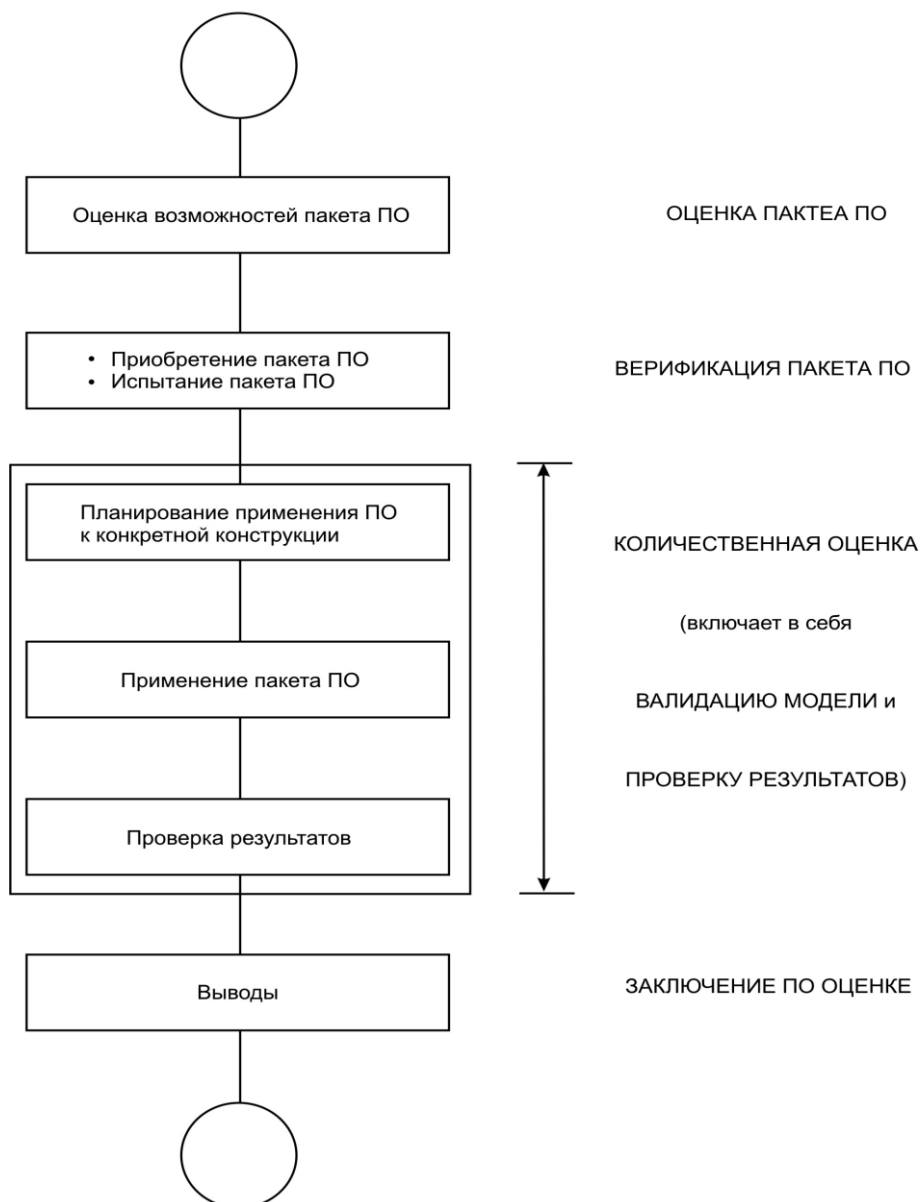


Рис. Применение пакета ПО для проведения оценки конструкции

В настоящем документе под программным обеспечением подразумеваются программы, процедуры, а также любая сопутствующая документация, относящиеся к работе системы обработки данных. В отличие от разрабатываемого программного обеспечения, расчетчик строительных конструкций использует пакет ПО метода конечных элементов, включающий в себя документацию пользователя и магнитные носители, имеющие отношение к работе программы метода конечных элементов.

Верификация

Под верификацией пакета программ здесь подразумевается демонстрация того, что программное обеспечение метода конечных элементов создает модель (или модели) и обеспечивает правильное ее решение в соответствии с техническим условием, независимо от того, действительно ли модель отражает реальный мир. Иными словами, дает ли программное обеспечение в соответствии с руководством пользователя и соответствующей документацией правильное решение уравнений?

Валидация

Термин «валидация» применяется в основном к модели конструкции, иными словами к отражению поведения конструкции через совокупность численных уравнений. Таким образом, валидацией модели конструкции называют подтверждение, как правило, с помощью иных независимых средств, что модель конструкции пригодна для поддержки выводов по оценке. Иными словами, решаются ли правильные уравнения?

Оценка и валидация модели конструкции

Определение оценки конструкции было дано ранее в третьем абзаце п.1. При создании модели конструкции для выполнения оценки расчетчику, применяющему метод конечных элементов, необходимо осуществлять экстраполяцию или интерполяцию из состояния «известно» в «неизвестно». Эта экстраполяция/интерполяция должна быть достаточно небольшой, чтобы модель для конкретной оценки оставалась в пределах современного опыта. После экстраполяции/интерполяции расчетчик должен ответить на вопрос: «Достаточно ли эффективна/достоверна модель для поддержания моих выводов по оценке?» Таким образом, расчетчик учтет диапазон верификационных испытаний ПО, выполненных разработчиком, и опыт проведения других расчетов, прошедших валидацию, что в комплексе может обеспечить дополнительную уверенность в полученных результатах. Это схематично отражено на рис.

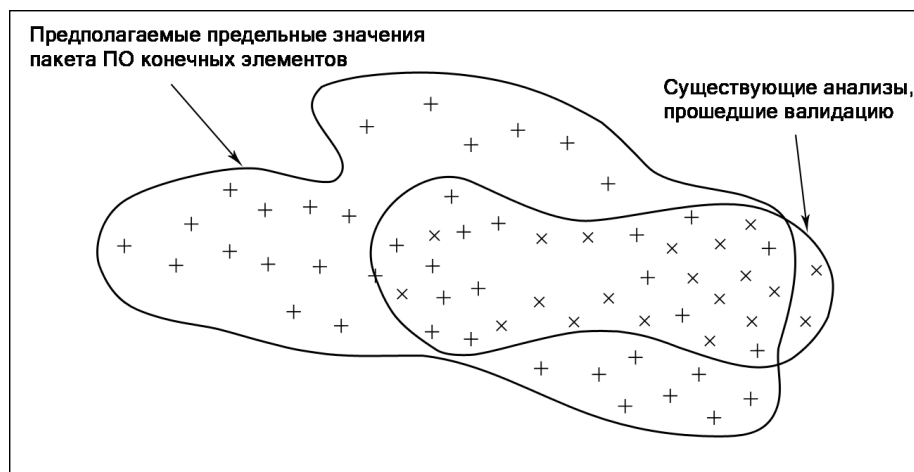


Рис. Диапазон верификационных испытаний ПО, проведенных разработчиком модели, и расчетов, прошедших валидацию

Обозначения:

+ Верификационное испытание ПО, проведенное разработчиком

x Расчет, прошедший валидацию ранее

Примечание: границы, изображенные вокруг этих точек, в реальности нечеткие и многомерные и могут быть многосвязными, неправильными и мало заполненными.

Реальная конструкция, описание реальной конструкции и модель конструкции

Общие положения

Важно понимать разницу между реальной конструкцией, ее описанием, которое используется при оценке конструкции, и моделью, которая создается на основе этой конструкции. При использовании данных терминов также необходимо понимание различий между «неопределенностью» и «погрешностью».

Неопределенность и погрешность

В случае, если нет возможности точно определить значение параметра, в нем существует неопределенность. Это неизбежно влияет на возникновение некоторых различий в поведении между реальной конструкцией, в том виде, в котором она фактически существует, и результатами расчета. В связи с этим большинство источников неопределенности должны быть выявлены на раннем этапе оценки.

За остальные различия в поведении между реальной конструкцией и результатами расчета отвечает погрешность. Количество источников погрешности, а, следовательно, возможности ее возникновения явным образом увеличивается в ходе проведения оценки конструкции.

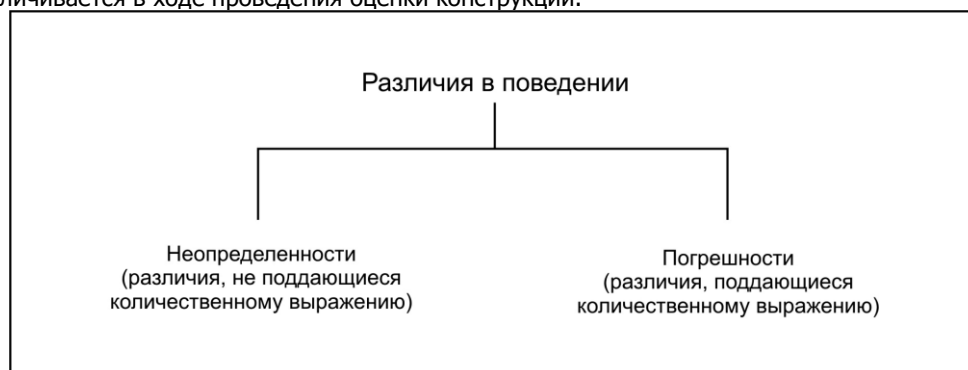


Рис. Различия в поведении

«Неопределенность» в описании реальной конструкции неизбежно приведет к различиям в поведении между реальной конструкцией и результатами, полученными в ходе расчета. Эти различия, вызванные «неопределенностью» в физическом описании реальной конструкции, следует отличать от «погрешности». Погрешность главным образом ассоциируется с тем способом, которым в дальнейшем обрабатывается физическое описание реальной конструкции с целью выполнения расчета. Основной целью любого плана проведения оценки является учет и сведение к минимуму всех источников «неопределенности» и «погрешности».

Реальная конструкция, ее описание и влияние на модель конструкции

В данном документе под реальной конструкцией понимается проектируемая или оцениваемая конструкция, которая уже существует или будет существовать в реальном мире. Она характеризуется всеми присущими ей «неопределенностями» и неизвестными значениями.

Часть процесса по формированию реальной конструкции в обязательном порядке включает в себя выявление и, в некоторых случаях, устранение источников неопределенности. На описание напрямую влияют критерии оценки. В связи с этим неопределенность часто подробно описана в нормах по проведению оценки. Тем не менее, не всю неопределенность можно устранить или учесть при описании реальной конструкции, и бывает, что иные источники неопределенности становятся очевидными только в процессе идеализации.

В процессе идеализации продолжается разработка описания реальной конструкции, отражающего то, как практикующие инженеры, опираясь на нормы по проведению оценки и опыт, рассматривают реальность. В итоге в процессе идеализации происходит переход от реальной конструкции к модели конструкции, которая затем становится предметом расчета методом конечных элементов. Эта последовательность представлена на рис. ниже, на котором отражены связи между приведенными выше терминами.

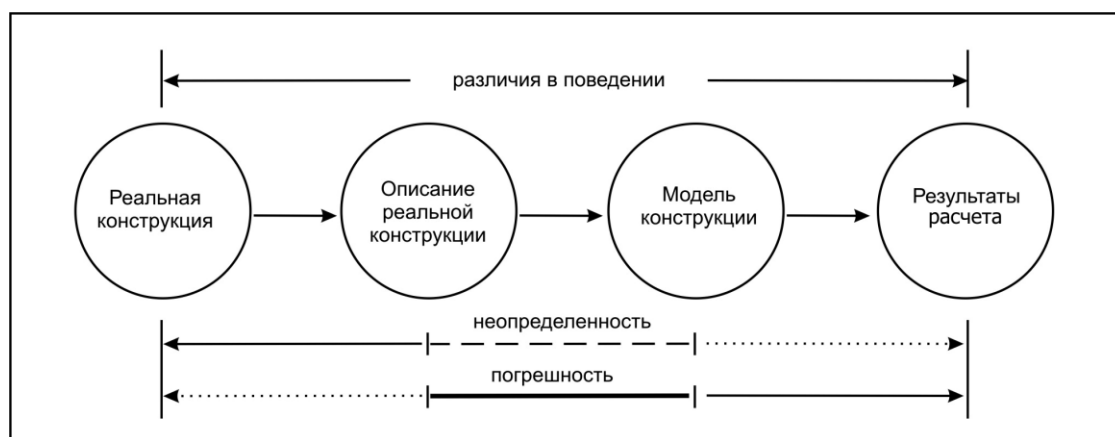


Рис. Неопределенность и погрешность

(Примечание: на каждом этапе используются аппроксимации и допущения)

Таким образом, валидация относится к переходу от «описания реальной конструкции» к «модели конструкции», а верификация касается перехода от «модели конструкции» к «результатам расчета».

Анализ источников неопределенности и погрешности

В процессе оценки конструкции необходимо рассмотреть как источники неопределенности, так и источники погрешности. В нормах по проведению оценки рассматриваются многие основные неопределенности, но необязательно все. Погрешности обычно не рассматриваются в нормах по проведению оценки, их должен учитывать сам расчетчик, осуществляющий расчет методом конечных элементов. Один из возможных методов учета погрешностей рассматривается в «Техническом руководстве SAFESA».

Типы неопределенности включают в себя: физическую неопределенность (от естественных источников), неопределенность измерений (собственные погрешности), ограниченность познаний (недостаток информации, например, предельных случаев) и неопределенность модели идеализации. При завершении этапа определения задач неопределенности оцениваются, например, на основе опыта (экспертной оценки/независимой сторонней оценки/испытаний), с помощью вероятностных методов или анализа чувствительности.

В ходе подробной оценки могут быть выявлены иные источники неопределенности. Одновременно с этим, могут быть выявлены источники погрешности и применена утвержденная процедура работы с ними для их снижения до допустимого уровня, например, процедура, описанная в «Техническом руководстве SAFESA». Таким образом, вычисленные характеристики модели конструкции будут иметь соответствующую границу, или связанный с ними предел достоверности. Заключение по проведенной оценке сводится к одному из двух результатов: конструкция «соответствует требованиям» или «не соответствует требованиям».

Метод SAFESA по работе с погрешностями

Возможный метод работы с погрешностями описан в «Кратком руководстве SAFESA» и в «Техническом руководстве SAFESA». Основной областью, рассматриваемой в руководствах SAFESA, является погрешность

идеализации, главными источниками которой считаются: лежащая в основе математическая модель, домен, граничные условия, свойства нагружения и материалов. Работа с погрешностями проводится с использованием различных методов, включая применение опыта, простых вычислений, сравнений с результатами испытаний/известными результатами, иерархического моделирования и анализа чувствительности.

Список действий, необходимых для соблюдения «Руководства SAFESA по оценке конструкций с помощью расчета методом конечных элементов»

Необходимо учитывать следующие моменты:

- а) расчет методом конечных элементов проводится в составе общего процесса оценки конструкции);
- б) разработанная модель конструкции должна пройти соответствующую валидацию для подтверждения выводов оценки
- с) в процессе оценки должна быть учтена неопределенность
- д) в процессе оценки должны быть учтены погрешности
- е) для параметров модели конструкции должны быть определены границы или предельные достоверные значения

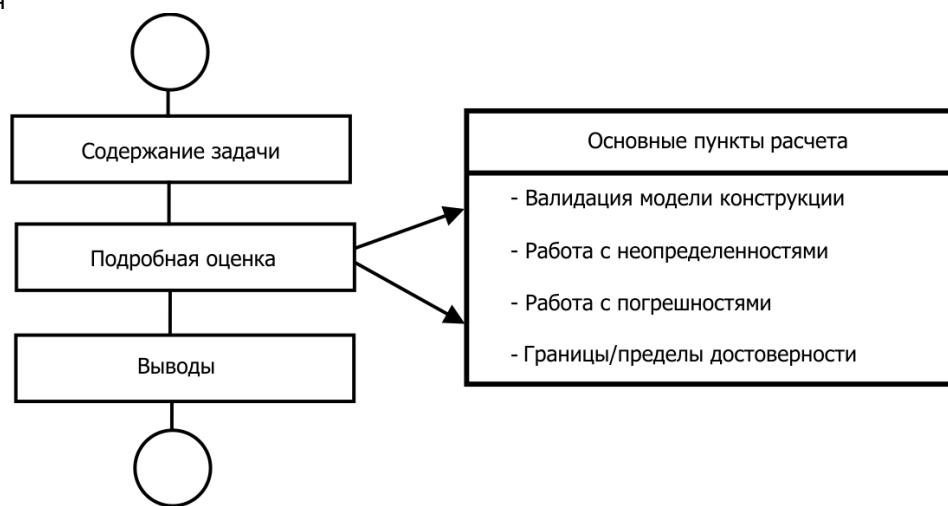


Рис. Процесс оценки, включая основные пункты расчета

Сокращения и обозначения

ASME – American Society of Mechanical Engineers – Американское общество инженеров-механиков

ASTM – American Society for Testing and Materials – Американское общество по испытаниям и материалам

IEC – International Electrotechnical Commission – Международная электротехническая комиссия

ISO – International Standardization Organization – Международная организация по стандартизации

ISO /TR – International Standardization Organization/Technical Report – Международная организация по стандартизации/Технический отчет

NAFEMS – National Agency for Finite Element Methods and Standards – Национальное агентство по стандартам и методам конечных элементов

NIST – National Institute of Standards and Technology – Национальный институт стандартов и технологий

SAFESA – **SAFE** Structural Analysis – Расчет Безопасных Конструкций

V&V – Validation and Verification – Валидация и верификация

ИСО – Международная организация по стандартизации – ISO

МЭК – Международная электротехническая комиссия – IEC

Список литературы

- [1] Руководство ИСО/МЭК 22—82 Информация в декларации изготовителя о соответствии стандартам или другим техническим требованиям. (Примечание — Такая декларация в настоящее время называется «декларация поставщика»).
- [2] Руководство ИСО/МЭК 23—82 Методы указания соответствия стандартам для систем сертификации третьей стороной
- [3] Руководство ИСО/МЭК 16—78 Кодирование правил для систем сертификации третьей стороной и соответствующие стандарты
- [4] Руководство ИСО/МЭК 28—82 Общие правила для модели систем сертификации продукции третьей стороной
- [5] Руководство ИСО/МЭК 44—85 Общие правила для международных схем сертификации продукции третьей стороной по ИСО или МЭК
- [6] Руководство ИСО/МЭК 25—90 Общие требования к оценке технической компетентности испытательных лабораторий
- [7] Руководство ИСО/МЭК 40—83 Общие требования к приемке органов по сертификации
- [8] Руководство ИСО/МЭК 58—93 Системы проверки и аккредитации испытательных лабораторий. Общие требования к функционированию и признанию
- [9] ИСО/МЭК 2382-14—97 Информационная технология. Словарь. Часть 14. Надежность, ремонтпригодность и работоспособность
- [10] ИСО 2382-2—76 Обработка данных. Словарь. Часть 02. Арифметические и логические операции
- [11] ИСО 2382-15—85 Обработка данных. Словарь. Часть 15. Языки программирования
- [12] ИСО/МЭК 2382-20—90 Информационная технология. Словарь. Часть 20. Разработка системы
- [13] ГОСТ Р ИСО 9127—93 Системы обработки информации. Документация пользователя и информация на упаковке для потребительских программных пакетов
- [14] ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126—93 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению
- [15] Руководство ИСО/МЭК 2—91 Общие термины и определения в области стандартизации и смежных видов деятельности
- [16] ИСО 9241-11—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 11. Руководство по практичности
- [17] ИСО 9241-1—97 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 1. Общие инструкции
- [18] ИСО 9241-2—92 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 2. Руководство по требованиям к задачам
- [19] ИСО 9241-3—92 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 3. Руководство по требованиям к дисплеям
- [20] ИСО 9241-4—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 4. Требования к клавиатуре
- [21] ИСО 9241-5—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 5. Требования к компоновке и расположению рабочей станции
- [22] ИСО 9241-7—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 7. Требования к дисплеям с отражениями
- [23] ИСО 9241-8—97 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 8. Требования к отображаемым цветам
- [24] ИСО 9241-10—96 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 10. Принципы диалога
- [25] ИСО 9241-12—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 12. Представление информации
- [26] ИСО 9241-13—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 13. Руководство пользователя

- [27] ИСО 9241-14—97 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 14. Диалоги типа меню
- [28] ИСО 9241-15—97 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 15. Диалоги типа команд
- [29] ИСО 9241-17—98 Эргономические требования к работе с дисплейными терминалами (VDTs). Часть 17. Диалоги типа организации файла
- [30] ИСО/МЭК 2382-1—93 Информационная технология. Словарь. Часть 1. основополагающие термины
- [31] ИСО/МЭК 2382-7—89 Информационная технология. Словарь. Часть 7. Программирование компьютеров
- [32] ИСО/МЭК 2382-9—95 Информационная технология. Словарь. Часть 9. Передача данных
- [33] АНСИ/ИИИЭ Стд 610.12—90 Стандартный словарь ИИИЭ по терминологии в области программной инженерии
- [34] ИСО/МЭК 2382-8—98 — Информационная технология. Словарь. Часть 8. Защита [35] ИСО 6385-81 Эргономические принципы проектирования рабочей системы
- [35] ИСО 6385-81* Эргономические принципы проектирования рабочей системы
- [36] ASTM E1591-07, Standard Guide for Obtaining Data for Deterministic Fire Models (ASTM, Philadelphia) / ASTM E1591-07, Стандартное руководство для получения данных для детерминированных моделей пожара (ASTM, Филадельфия)
- [37] Beard, A., The Limitations of Computer Models, Fire Safety Journal, 18, pp. 375-391, 1992 / Биард, А., Ограничения компьютерных моделей, Журнал пожарной безопасности, 18, стр. 375-391, 1992
- [38] Beard, A., Evaluation of Deterministic Fire Models: Part I — Introduction, Fire Safety Journal, 19, pp. 295-306, 1992 / Биард, А., Оценка детерминированных моделей пожара: Часть I - Введение, Журнал пожарной безопасности, 19, стр. 295-306, 1992
- [39] Wierzbicki, A., Models and Sensitivity of Control Systems, Wiley and Sons, New York, 1984 / Вержбицкий, А., Модели и чувствительность систем управления, изд-во «Уайли и сыновья», Нью-Йорк, 1984
- [40] Iman, R.L. and Helton, J.C., An Investigation of Uncertainty and Sensitivity Analysis Techniques for Computer Models, Risk Analysis, 8, No. 1, pp. 71-90, 1988 / Иман, Р.Л. и Хелтон, Дж.С., Исследование неопределенности и методы анализа чувствительности для компьютерных моделей, анализа риска, 8, № 1, стр. 71-90, 1988
- [41] Peacock, R., Reneke, P. and Forney, C., Issues in Evaluation of Complex Fire Models, and M. Kostreva, Fire Safety Journal, 30, p. 103, 1998 / Пикок Р., Ренеке, П. и Форни, С., Проблемы в оценке сложных моделей пожара, и М. Кострева, Журнал пожарной безопасности, 30, с. 103, 1998
- [42] Taylor, B.N. and Kuyatt, C.E., Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results, NIST Technical Note 1297 / Тейлор, Б.Н. и Куятт, С.Е., Руководящие принципы для оценки и выражения неопределенности результатов измерений NIST, Техническое примечание NIST 1297
- [43] Patankar, S.Y., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere, Washington, 1980 / Патанкар, С.Ю., Численная теплопередача и расход жидкости, Сфера, Вашингтон, 1980
- [44] Mandel, J., The Statistical Analysis of Experimental Data, Interscience-Wiley Publishers, New York, NY, 1964 (out of print; corrected and reprinted, Dover Publishers, New York NY, 1984) / Мандел, Дж., Статистический анализ экспериментальных данных, Уайли Паблишерс, Нью-Йорк, НЙ, 1964 (из печати; исправлены и переизданы, Довер Паблишерс, Нью-Йорк НЙ, 1984)
- [45] Natrella, M.G., Experimental Statistics, NBS Handbook 91, U.S. Government Printing Office, Washington DC, 1963; reprinted October, 1996 / Натрелла, М., Экспериментальная статистика, Справочник NBS 91, Типография правительства США, Вашингтон, 1963; перепечатано в октябре 1996
- [46] BOX, G.E.P., HUNTER, W.G. and HUNTER, J.S., Statistics for Experimenters, John Wiley & Sons, New York, NY, 1978 / БОКС, Дж.И.П., ХАНТЕР, В.Дж. и ХАНТЕР, Дж.С., Статистика для экспериментаторов, Джон Уайли и сыновья, Нью-Йорк, НЙ, 1978
- [47] Kreyszig, E., Introductory Functional Analysis with Applications, John Wiley and Sons, New York, pp. 63-64, 1989 / Крейсциг Е., Вводный курс функционального анализа с приложениями, Джон Уайли и сыновья, Нью-Йорк, 63-64, 1989
- [48] Babrauskas, V., Upholstered Furniture Room Fires — Measurements, Comparison with Furniture Calorimeter Data, and Flashover Predictions, J. Fire Sci., 4, pp. 5-19, 1984 / Бабраускас, В., Пожары в помещениях с мебелью с мягкой обивкой - Измерения, сравнение с данными калориметра мебели и предсказания вспышки, Дж. Пожарная наука, 4, стр. 5-19, 1984

- [49] Lee, B. T., Effect of Wall and Room Surfaces on the Rates of Heat, Smoke, and Carbon Monoxide Production in a Park Lodging Bedroom Fire, Natl. Bur. Stand.(U.S), NBSIR 85-2998, 78 pp., 1985 / Ли, Б.Т., Влияние поверхностей стен и помещения на скорость выделения тепла, дыма, и угарного газа в жилой зоне спальни, Национальный стандарт по горению (США), NBSIR 85-2998, 78 стр., 1985
- [50] Heskestad, G. and Hill, J.P., Propagation of Fire and Smoke in a Corridor, Proceedings of the 1987 ASME:JSME Thermal Engineering Joint Conference 1987, Honolulu, HI, pp. 371-379 / Хескестад, Г. и Хилл, Д.П., Распространение огня и дыма в коридоре, Заседание 1987 ASME:JSME Совместной конференции по теплоэнергетике 1987, Гонолулу, Гавайи, стр. 371-379
- [51] Klote, J.H., Fire Experiments of Zoned Smoke Control at the Plaza Hotel in Washington DC, Natl. Inst. Stand. Technol., NISTIR 90-4253, 75 pp., 1990 / Клоут, Дж.Х., Пожарные эксперименты по зонному контролю дыма в отеле Плаза в Вашингтоне, NIST, NISTIR 90-4253, 75 стр., 1990
- [52] Peacock, R.D., Jones, W.W. and Bukowski, R.W., Verification of a Model of Fire and Smoke Transport, Fire Safety Journal, 21, pp. 89-129, 1999 / Пикок, Р.Д., Джонс, В.В. и Буковски, Р.В., Верификация модели огня и переноса дыма, Журнал пожарной безопасности, 21, стр. 89-129, 1999
- [53] Jones W. W., Peacock R.D., Forney G.L., Reneke P.A.CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) Technical Reference Guide, NIST Special Publication 1029 (2006) / Джонс У.У., Пикок Р.Д., Форни Дж.Л., Ренеке П.А. «CFAST – Объединенная модель роста пожара и распространения дыма (версия 6), Техническое руководство», Специальная публикация NIST 1029 (2006)
- [54] Peacock R.D., Jones W.W., Reneke P.A., Forney G.P.CFAST - Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6) User's Guide," National Institute of Standards and Technology, NIST Special Publication 1041 (2005) / Пикок Р.Д., Джонс У.У., Ренеке П.А., Форни Дж.П. «CFAST – Объединенная модель роста пожара и распространения дыма (версия 6), Руководство пользователя», Национальный институт стандартов и технологий, Специальная публикация NIST 1041 (2005)
- [55] Verification & Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications. Volume 5: Consolidated Fire Growth and Smoke transport Model (CFAST). U.S. Nuclear Regulatory Commission and Electric Power Research Institute, Office of Nuclear Regulatory Research 3412 Hillview Avenue, Washington, DC 20555-0001, NUREG-1824 Final Report (2007) / «Верификация и валидация ряда моделей пожаров для использования на АЭС. Часть 5: Объединенная модель роста пожара и распространения дыма (CFAST)». Комиссия по ядерному регулированию США и Научно-исследовательский институт электроэнергетики, Управление научных исследований по ядерному регулированию 3412 Хиллвью авеню, Вашингтон, округ Колумбия 20555-0001, NUREG - 1824 Заключительный доклад (2007)
- [56] Peacock R. D., McGrattan K.B., Klein B., Jones W. W., Reneke P. A.CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6): Software Development and Model Evaluation Guide, NIST Special Publication 1086 (2008) / Пикок Р.Д., МакГреттан К.Б., Клейн Б., Джонс У.У., Ренеке П.А. «CFAST – Объединенная модель роста пожара и распространения дыма (версия 6): Разработка программного обеспечения и модель руководства по оценке», Специальная публикация NIST 1086 (2008)
- [57] ISIS 2.0.0 Validation guide. IRSN Technical Report, 2010. <https://gforge.irsn.fr/gf/project/isis/> / ISIS 2.0.0 Руководство по валидации. Технический отчет IRSN 2010. <https://gforge.irsn.fr/gf/project/isis/>
- [58] ISIS 2.0.0., Physical Modelling. IRSN Technical Report, 2010 / ISIS 2.0.0., Физическое моделирование. Технический отчет IRSN 2010
- [59] Verification and validation of the ISIS CFD code for fire simulation, S. Suard, L. Audouin, F. Babik, L. Rigollet, J.-C. Latché, Fire Safety Engineering - Examples on Assessment, Verification and Validation of Calculation Methods. Southwest Research Institute, USA, April 2006 (ISO/TC 92/SC 4 Workshop on Assessment of Calculation Methods in FSE) / Верификация и валидация кода вычислительной гидродинамики CFD ISIS для моделирования пожара, С. Сюар, Л. Одуан, Ф. Бабик, Л. Риголет, Дж.-К. Латче, Пожарная безопасность – Примеры по оценке, верификации и валидации методов расчета. Юго-западный научно-исследовательский институт, США, апрель 2006 (ISO/TC 92/SC 4 Семинар по оценке методов расчета в FSE)
- [60] An L2-stable approximation of the Navier–Stokes convection operator for low-order nonconforming finite elements, G. Ansanay-Alex, F. Babik, J. C. Latché and D. Vola. Int. J. Numer Methods Fluids Article first published online: 4 MAR 2010. DOI: doi:10.1002/fld.2270 / Стабильное приближение L2 оператора конвекции Навье-Стокса для младших несоответствующих конечных элементов, Г. Ансанай-Алекс, Ф. Бабик, Дж.К. Латче и Д. Вола. Инт. Дж. Статья о численных методах жидкости, впервые опубликованная онлайн: 4 марта 2010. DOI: DOI: 10.1002/fld.2270
- [61] On two fractional step finite volume and finite element schemes for reactive low Mach number flows, F. Babik, T. Gallouët, J.-C. Latché, S. Suard and D. Vola, The International Symposium on Finite Volumes for Complex Applications IV - Problems and Perspectives, Marrakech (2005) / О второй стадии фракционного конечного объема и схемах конечных элементов для реактивных потоков низкого числа Маха, Ф. Бабик, Т.

Галозт, Ж.-К. Латче, С. Сюар и Д. Вола, Международный симпозиум по конечным объемам для сложных применений IV - проблемы и перспективы, Марракеш (2005)

[62] Sensitivity Analysis of a Fire Field Model in the Case of a Large-Scale Compartment Fire Scenario, S. Suard, C. Lapuerta, A. Kaiss, B. Porterie, Numerical Heat Transfer. Part A. 2 013, 63 (12) pp. 879–905 / Анализ чувствительности пожара полевой модели в случае сценария крупномасштабного пожара в помещении, С. Сюар, К. Лапуэрта, А. Каисс, Б. Портри, Численный теплообмен. Часть А. 2 013, 63 (12), стр 879-905

[63] Validation process of the ISIS CFD software for fire simulation, C. Lapuerta, F. Babik, S. Suard, L. Rigollet, Experimental Validation and Application of CFD and CMFD, Codes to Nuclear Reactor Safety Issues, Washington DC (États-Unis), 14-16 September, OECD NEA IAEA, 2010 / Процесс проверки программного обеспечения CFD ISIS для моделирования пожара, С. Лапуэрта, Ф. Бабики, С. Сюар, Л. Риголлет, Экспериментальная валидация и применение CFD и CMFD, кодов в вопросах безопасности ядерных реакторов, Вашингтон, округ Колумбия (США), 14-16 сентября, OECD NEA IAEA МАГАТЭ, 2010

[64] Fuel Mass-Loss Rate Determination in a Confined and Mechanically Ventilated Compartment Fire Using a Global Approach, Nasr, A., Suard, S., El-Rabii, H., Gay, L. and Garo, J. P, Combustion Science and Technology, 2011, 183:12, pp. 1342-1359 / Определение расхода топлива потери массы в ограниченных помещениях и помещениях с искусственной вентиляции при пожаре, используя глобальный подход, Наср, А., Сюар, С., Эль - Рабии, Н., Джэй, Л. и Гаро, Дж. П., Наука горения и технологии, 2011, 183:12, стр. 1342-1359

[65] Quantifying differences between computational results and measurements in the case of a largescale well-confined fire scenario, L. Audouin, L. Chandra, J-L Consalvi, L. Gay, E. Gorza, V. Hohm, S. Hostikka, T. Ito, W. Klein-Hessling, C. Lallemand, T. Magnusson, N. Noterman, J.S. Park, J. Peco, L. Rigollet, S. Suard, P. Van-Hees. Nucl. Eng. Des. 2011, 241 pp. 18–31 / Количественные различия между результатами расчетов и измерений в случае сценария крупномасштабного пожара с хорошим проветриванием, Л. Одуан, Л. Чандра, Дж.Л. Консалви, Л. Джэй, Е. Гонза, В. Хом, С. Хостикка, Т. Ито, В. Клейн-Хесслинг, С. Лаллеманд, Т. Магнуссон, Н. Нотерман, Дж.С. Парк, Дж. Пеко, Л. Риголлет, С. Сюар, П. Ван-Хеес. Ядерная энергетика 2011, 241 стр. 18-31

[66] Steckler K.D., Quintiere J.G., Rinkinen W.J. "Flow induced by fire in a compartment", NBSIR 82-2520. National Bureau of Standards, 1982 / Стеклер К.Д., Квантьер Дж.Г., Ринкинен У.Дж. "Поток, индуцированный пожаром в помещении", NBSIR 82-2520. Национальное бюро стандартов, 1982

[67] Lewis M.J., Moss J.B., Rubini P.A. CFD Modelling Of Combustion and Heat Transfer In Compartment Fires. Fire Safety Science. 1997, 5 pp. 463–474 / Льюис М.Дж., Мосс Дж.Б., Рубини П.А. CFD моделирование горения и теплообмена в пожарах в помещениях. Наука пожарной безопасности. 1997, 5 стр. 463-474

[68] Kuzmin D., Mierka O., Turek S. On the implementation of the k-epsilon turbulence model in incompressible flow solvers based on a finite element discretization. Ergebnisberichte Angew. Math. 345, University of Dortmund, 2007. Int. J. Comp. Sci. Math. 1 (2007) no. 2/3/4, 193-206 / Кузьмин Д., Миерка О., Турек С. О реализации модели турбулентности k-эпсилон в решателях несжимаемых потоков на основе дискретизации конечных элементов. Ergebnisberichte Angew. Mathematik 345, Университет Дортмунда, 2007. Инт. Дж. Математика компьютерной науки 1 (2007) № 2/3/4, 193-206

[69] Bénichou N., & Sultan M.A. Design considerations for fire resistance performance of lightweight framed assemblies, CSCE 2003 Annual Conference (Moncton, New Brunswick, June 04, 2003), pp. 567–1 - 567–10, June 01, 2003 / Бенишу Н., и Султан М.А. «Особенности проектирования для обеспечения огнестойкости легких рамных конструкций», СБСЕ 2003 ежегодной конференции (Монктон, Нью-Брансуик, Июнь 04, 2003), стр 567-1 - 567-10, 01 июня 2003 года

[70] Bénichou N., & Morgan D. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies — User Manual, Research Report, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, (129), pp. 34, April 01, 2003 / Бенишу Н., и Морган Д. «Модель реакции конструкции для деревянных каркасных стен - Руководство пользователя», Исследовательский отчет, Институт исследований в строительстве, Национальный исследовательский совет Канады, (129), стр. 34, 1 апреля 2003

[71] Fahy R .F., & Proulx G. Toward Creating a Database on Delay Times to Start Evacuation and Walking Speeds for Use in Evacuation Modeling", Proceedings of the 2nd International Conference on Human Behaviour in Fire 2001, Interscience Communications Ltd., London, 2001 / Фахи Р. Ф., Пру Г. «Попытки создания базы данных времени задержки до начала эвакуации и скорости движения для целей моделирования эвакуации», Труды 2-й международной конференции по поведению людей при пожаре 2001, Междисциплинарные научные коммуникации Лтд., Лондон, 2001

[72] Bratley P., Fox B.L., Schrage L.E. A Guide to Simulation. Springer-Verlag, New York, Second Edition, 1987 / Братлей П., Фокс Б. Л., Шраге Л. Е. Руководство по моделированию. Спрингер-Верлаг, Нью-Йорк, второе издание, 1987

[73] Hillier F.S., & Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. Holden-Day, Inc, Oakland, California, Third Edition, 1980 / Хиллер Ф.С., Либерман Г. Дж. Введение в исследование операций. Холден-Дей, Инк., Окленд, Калифорния, Третье издание, 1980

[74] Kuligowski EG, & Peacock RD A Review of Building Evacuation Models - Technical Note 1451, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, July 2005 / Кулиговский И. Г., Пикок Р. Д. Обзор модели эвакуации здания - Техническое примечание 1451, Национальный институт стандартов и технологий, Гейтерсбург, Мэриленд, июль, 2005

[75] Kuligowski E.G., & Milke J.A. A Performance-based Egress Analysis of a Hotel Building using Two Models. J. Fire Prot. Eng. 2005, 15 (4) pp. 287–305 / Кулиговский И. Г., Мильке Дж. А. Функционально-ориентированный расчет эвакуации здания гостиницы с использованием двух моделей. Проектирование пожарной безопасности. 2005, 15 (4), стр. 287-305

[76] Fahy R.F. Update on the Features and Demonstrated Predictive Capability of EXIT89. Engineered Fire

Protection Design...Applying Fire Science to Fire Protection Problems, International Conference. Proceedings. Co-organized by: Society of Fire Protection Engineers (SFPE) and National Institute of Standards and Technology (NIST). June 11-15, 2001, San Francisco, CA, 303-314 pp, 2001 / Фахи Р. Ф. Обновление параметров и продемонстрированной возможности прогнозирования EXIT89. Проектирование противопожарной защиты... Применение науки о пожарах к задачам противопожарной защиты, Международная конференция. Труды. Совместно организовано: Обществом инженеров противопожарной защиты (SFPE) и Национальным институтом стандартов и технологий (NIST). 11-15 июня, 2001 год, Сан-Франциско, Калифорния, 303-314 стр., 2001

[77] Fahy R.F. Modelling Contra Flows During Building Evacuations. Volume 2; Interscience Communications Ltd.; Building Research Establishment; National Fire Protection Association; National Institute of Standards and Technology; Society of Fire Protection Engineers; and Swedish National Testing and Research Institute. Interflam 2001. (Interflam '01). International Interflam Conference, 9th Proceedings. Volume 2. September 17-19, 2001, Edinburgh, Scotland, Interscience Communications Ltd., London, England, 887-897 pp, 2001 / Фахи Р. Ф. Моделирование встречных потоков во время эвакуации здания. Часть 2; Междисциплинарные научные коммуникации Лтд.; Институт исследований в строительстве; Национальная ассоциация противопожарной защиты; Национальный институт стандартов и технологий; Общество инженеров противопожарной защиты, и Шведский национальный научно-исследовательский институт. Интерфлам, 2001 год. Международная конференция Интерфлам, Труды 9. Часть 2. 17-19 сентября, 2001, Эдинбург, Шотландия, Междисциплинарные научные коммуникации Лтд., Лондон, Англия, 887-897 стр., 2001

[78] Proulx G., Tiller D., Kyle B., Creak J. Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation, Internal Report No. 774, National Research Council of Canada, Ottawa ON, April 1999 / Пру Г., Тиллер Д., Кайл Б., Крик Дж. Оценка фотолюминесцентного материала в течение эвакуации людей из офисного здания, внутренний отчет № 774, Национальный исследовательский совет Канады, Оттава, апрель, 1999

[79] Fahy R., & Proulx G. unpublished analysis of World Trade Center data, National Fire Protection Association, Quincy MA, October 1994 / Фахи Р., Пру Г. неопубликованный расчет данных Всемирного торгового центра, Национальная ассоциация по противопожарной защите, Куинси, Массачусетс, октябрь, 1994

[80] Edelman P., Herz E., Bickman L. A Model of Behaviour in Fires Applied to a Nursing Home Fire. In: Fires and Human Behaviour, (Canter D. ed.). David Fulton Publishers, London, Second Edition, 1990, pp. 194 / Эдельман П., Герц Е., Бикман Л. Модель поведения при пожарах, применяемая к пожарам в домах престарелых. Взято из: Пожары и поведение людей, (ред. Кантер Д.) издательство Дэвида Фултона, Лондон, второе издание, 1990 год, стр. 194

[81] Fahy R. F., & Proulx G. unpublished data from World Trade Center human behaviour study, National Fire Protection Association, Quincy MA, 1993 / Фахи Р. Ф., Пру Г. неопубликованные данные из исследования поведения человека во Всемирном торговом центре, Национальная ассоциация пожарной защиты, Куинси, Массачусетс, 1993

[82] Predtechenskii V. M., Milinskii A.I. Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978 / Предтеченский В. М., Милинский А. И. Планирование пешеходный потока в зданиях. Издательство Америнд, Инк., Нью-Дели, 1978

[83] Butler G.W. "The Factors Involved in Evacuation and the Extent to Which Efficient Management Can Influence These," Proceedings - Interflam '93. Interscience Communications Ltd, London, 1993, pp. 628–35 / Батлер Дж. В. «Факторы, участвующие в эвакуации и степень, в которой эффективное управление можем воздействовать на них,» Труды - Интерфлам '93. Междисциплинарные научные Лтд., Лондон, 1993 год, стр. 628-35

[84] Personal communication. Tyne-and-Wear Fire Brigade, 1992 / Межличностная коммуникация. Пожарная часть Тайн-энд-Уир, 1992

[85] Kimura M., & Sime J.D. Exit Choice Behaviour during the Evacuation of Two Lecture Theatres," Proceedings - Second International Symposium on Fire Safety Science, International Association for Fire Safety Science, June 1988, pp. 541-550 / Кимура М., Сайм Дж. Д. «Поведение при выборе выхода во время эвакуации из

двух лекционных часов», труды - Второй международный симпозиум по науке о пожарной безопасности, Международная ассоциация по науке пожарной безопасности, июнь 1988 год, стр. 541-550

[86] Shields T.J., Boyce K.E., Silcock G.W.H. Unannounced Evacuation of Marks and Spencer Sprucefield Store, unpublished report, University of Ulster Fire SERT, Carrickfergus, January 1997 / Шилдс Т.Дж., Бойс К.Е., Силкок Г.В.Х. Анонсированная Эвакуация Маркс и Спенсер Sprucefield Store, неопубликованный отчет, Университет Ольстера пожарной СЕРТ, Каррикфергус, январь, 1997

[87] Fahy R.F. Update on the Features and Demonstrated Predictive Capability of EXIT89," Proceedings of the International Conference on Engineered Fire Protection Design, Society of Fire Protection Engineers, June 2001, pp. 303-314 / Фахи Р.Ф. «Обновленные характеристики и демонстрационные возможности прогнозирования EXIT89», Труды Международной конференции по продуманная конструкция противопожарной защиты, Общество инженеров противопожарной защиты, июнь 2001, стр. 303-314

[88] Predtechenskii V .M., M ilinskii A.I. Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978 / Предтеченский В. М., Милинский А. И. Планирование пешеходного потока в зданиях. Издательство Америнд, Инк, Нью-Дели, 1978

[89] Kendik E. Assessment of Escape Routes in Buildings and a Design Method for Calculating Pedestrian Movement," SFPE Technology Report 85-4, Society of Fire Protection Engineers, Boston, Massachusetts, 1985 / Кендик И. «Оценка маршрутов эвакуации в зданиях и метод проектирования расчета движения людей». Технический отчет SFPE 85-4, Общество инженеров противопожарной защиты, Бостон, Массачусетс, 1985

[90] Levin B.M. EXITT - A Simulation Model of Occupant Decisions and Actions in Residential Fires: Users Guide and Program Description, NBSIR 87-3591, National Institute of Standards and Technology, Washington DC, July 1987 / Левин Б. М. EXITT – Модель принятия решений людей и действий при пожарах в жилых домах: Руководство пользователя и описание программы, NBSIR 87-3591, Национальный институт стандартов и технологий, Вашингтон, июль, 1987

[91] Purser D.A., Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. Saf. Sci. 2001, 38 p. 157 / Персер Д.А., Бенсилум М. Количественная оценка поведения для стандартов проектирования и расчеты времени эвакуации. Научн. 2001 год, 38 с. 157

[92] NAFEMS Registered Analyst Scheme, NAFEMS, 2004 / NAFEMS «Программа для квалифицированного расчетчика», издание NAFEMS, 2004