

**Пожарно-технический анализ.
Пример описания методов расчета**

(к проекту ГОСТ Р ИСО 16730)

СТО СИТИС-104-15

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены [Федеральным законом](#) от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ «О техническом регулировании», а общие правила применения стандартов организаций изложены в [ГОСТ Р 1.0-2012](#) «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения».

Настоящий стандарт организации является документом в области стандартизации и применяется в соответствии с Законом «О техническом регулировании», а также с 01 июня 2016 года в соответствии с Законом «О стандартизации в Российской Федерации»

Сведения о стандарте

1. РАЗРАБОТАН ООО «СИТИС»

Общество с ограниченной ответственностью «Ситис»

ОГРН 1026602310206

620028 Екатеринбург, ул. Доллорес Ибаррури, 2

www.sitis.ru

2. ПРИНЯТ приказом директора ООО «СИТИС» № СЗ от 06.11.2015.

3. ДАТА ВВЕДЕНИЯ 06.11.2015

Исключительные авторские права на данный стандарт принадлежат ООО «Ситис»

ООО «Ситис» предоставляет всем заинтересованным лицам право бесплатного использования настоящего стандарта, а также воспроизведения настоящего стандарта полностью или частями в печатном и электронном виде.

Содержание

1. ВВЕДЕНИЕ	4
1.1. Назначение стандарта	4
1.2. Область применения	4
1.3. Библиография	5
2. ПРИМЕР ЗОННОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА	5
2.1. Область применения	5
2.2. Общие сведения о рассматриваемой зонной модели	5
2.3. Описание метода расчета	6
2.4. Описание оценки (верификации и валидации) метода расчета	8
2.5. Пример решения	10
2.6. Руководство пользователя	15
2.7. Библиография	15
3. ПРИМЕР МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ	16
3.1. Область применения	16
3.2. Общая информация о рассматриваемой модели вычислительной гидродинамики (CFD)	16
3.3. Описание метода расчета	16
3.4. Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета	18
3.5. Пример с решением	20
3.6. Руководство пользователя	26
3.7. Библиография	34
4. ПРИМЕР МОДЕЛИ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИИ	35
4.1. Область применения	35
4.2. Общие сведения о модели конструкции	35
4.3. Описание метода расчета	35
4.4. Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета	39
4.5. Пример с решением	41
4.6. Руководство пользователя	41
4.7. Библиография	41
5. ПРИМЕР МОДЕЛИ ЭВАКУАЦИИ	42
5.1. Область применения	42
5.2. Общая информация по рассматриваемой модели эвакуации	42
5.3. Описание метода расчета	42
5.4. Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета	45
5.5. Пример с решением	46
5.6. Руководство пользователя	54
5.7. Техническое руководство	54
5.8. Библиография	72

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Назначение стандарта

- 1.1.1. Настоящий стандарт показывает пример, каким образом проект национального стандарта ГОСТ Р ИСО 16730 [1.3.1], а также международный стандарт ISO 16730-1 [1.3.2] применяется к описанию методов расчета, в частности в документации компьютерных программ, используемых в пожарно-техническом анализе при проектировании, оценке пожарного риска, расчете пожарного риска, расследованиях пожара и других подобных случаях применения. Он демонстрирует, как технические и пользовательские аспекты метода правильно описываются (должны правильно описываться) в целях осуществления оценки метода расчета с учетом его верификации и валидации.
- 1.1.2. Настоящий стандарт показывает для компьютерных программ в области пожарной безопасности пример информации о реализуемом программой методе, которая должна быть отражена в документации на программное обеспечение в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119 [1.3.8], ГОСТ Р ИСО/МЭК 9123 [1.3.9]
- 1.1.3. Примеры в настоящем разделе описывают применение процедур оценки моделей и методов расчета, которые указаны в проекте ГОСТ Р ИСО 16730 и ISO 16730-1, для следующих моделей явлений при пожаре:
 - 1.1.3.1. Глава 2 – пример зонной модели пожара, в соответствии с ISO 16730-2 [1.3.4]
 - 1.1.3.2. Глава 3 – пример модели вычислительной гидродинамики, в соответствии с ISO 16730-3 [1.3.5]
 - 1.1.3.3. Глава 4 – пример модели огнестойкости конструкции, в соответствии с ISO 16730-4 [1.3.4]
 - 1.1.3.4. Глава 5 – пример модели эвакуации, в соответствии с ISO 16730-5 [1.3.7]

1.2. Область применения

- 1.2.1. Применение настоящего стандарта является добровольным
- 1.2.2. Настоящий стандарт применяется совместно с проектом ГОСТ Р ИСО 16730 в следующих случаях:
 - 1.2.2.1. как пример оформления краткого описания моделей и компьютерных программ с указанием существенных свойств, необходимых для правильного выбора моделей компьютерных программ для решения практических задач в области пожарной безопасности.
 - 1.2.2.2. Как пример необходимого описания в документации компьютерных программ в области пожарной безопасности в соответствии со стандартами качества программного обеспечения [1.3.8, 1.3.9]
 - 1.2.2.3. Как пример информации, которая должна быть отражена полностью или частично в обосновании выбора моделей и методов расчета в отчетах по результатам расчетов в области пожарной безопасности
- 1.2.3. Настоящий стандарт может применяться следующими специалистами:
 - 1.2.3.1. Разработчиками моделей – для планирования и проведения оценки (валидации и верификации) моделей
 - 1.2.3.2. Разработчиками программного обеспечения в области пожарной безопасности – для планирования и проведения верификации программ, для составления документации к программному обеспечению – технической документации и руководству пользователя
 - 1.2.3.3. Специалистами, выполняющими расчеты – для оценки правильности выбора метода расчета для решения поставленной задачи в области пожарной безопасности, для составления отчетной документации по выполненным расчетам и оценке их достоверности
 - 1.2.3.4. Специалистами, принимающими решения в области пожарной безопасности на основании выполненных расчетов - для оценки правильности выбора метода расчета для решения поставленной задачи в области пожарной безопасности, для оценки возможности принятия решения на основании выполненного расчета

- 1.2.3.5. Экспертам, специалистам, выполняющим экспертную оценку и аудит проектных и инженерных решений в области пожарной безопасности - для оценки правильности выбора метода расчета для решения поставленной задачи в области пожарной безопасности, для оценки возможности принятия решения на основании выполненного расчета

1.3. Библиография

- 1.3.1. Проект ГОСТ Р ИСО 16730. Шифр в программе разработки национальных стандартов 2016 г 1.2.274-1.015.16 . Опубликован для публичного обсуждения на сайте GOST.SITIS.RU
- 1.3.2. ISO 16730-1:2015 Пожарно-технический анализ. Процедуры и требования к верификации и валидации методов расчета. Часть 1. Общие положения
- 1.3.3. ISO 16730:2008 Пожарно-технический анализ. Оценка, верификация и валидация методов расчета (зарегистрированный перевод № 7860/ISO дата регистрации 31.12.2014)
- 1.3.4. ISO/TR 16730-2:2013 Пожарно-технический анализ. Оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 2. Пример зонной модели пожара (зарегистрированный перевод № 8196/ISO/TR, дата регистрации 31.07.2015)
- 1.3.5. ISO/TR 16730-3:2013 Пожарно-технический анализ – оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 3. Пример модели вычислительной гидродинамики (зарегистрированный перевод № 8198/ISO/TR, дата регистрации 31.07.2015)
- 1.3.6. ISO/TR 16730-4:2013 Пожарно-технический анализ. Оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 4. Пример модели конструкции (зарегистрированный перевод № 8197/ISO/TR, дата регистрации 31.07.2015)
- 1.3.7. ISO/TR 16730-5:2013 Пожарно-технический анализ. Оценка, верификация и валидация методов расчета. Часть 5. Пример модели эвакуации (зарегистрированный перевод № 8199/ISO/TR, дата регистрации 31.07.2015)
- 1.3.8. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000 Информационная технология. Пакеты программ. Требования к качеству и тестирование
- 1.3.9. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению

2. ПРИМЕР ЗОННОЙ МОДЕЛИ ПОЖАРА

2.1. Область применения

- 2.1.1. Пример в настоящем разделе описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1, для зонной компьютерной модели пожара CFAST.
- 2.1.2. Основной целью конкретной описываемой в документе компьютерной модели является моделирование пожара в помещениях с системой естественной или искусственной вентиляции.

2.2. Общие сведения о рассматриваемой зонной модели

- 2.2.1. Данная зонная модель, рассматриваемая в настоящем стандарте, получила название “CFAST”. CFAST – это двухзонная модель пожара, которая способна прогнозировать состояние среды в сооружении с несколькими помещениями, находящимся под воздействием пожара. Она рассчитывает развитие во времени распределения дыма, газов и температуры по всему зданию в течение заданного пользователем времени пожара. Этот технический отчет описывает уравнения, которые представляют модель, физическую основу для этих уравнений, а также дает оценку чувствительности и прогнозирующей способности модели.
- 2.2.2. Уравнения моделирования принимают математическую форму задачи с заданными начальными условиями для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закона сохранения энергии (эквивалентного первому закону термодинамики), уравнения состояния идеального газа, а также уравнений для плотности и внутренней энергии. Данные уравнения прогнозируют в качестве функции времени такие величины, как давление, высота слоя и температура с учетом накопления массы и энтальпии в два слоя. Далее модель состоит из набора обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) для расчета состояния среды в каждом помещении, а также набора алгоритмов для расчета массы и энтальпии исходных условий, требуемых ОДУ.

2.3. Описание метода расчета

2.3.1. Цели

Определение решаемой задачи или выполняемой функции	Модель была разработана для решения практических задач пожарно-технического анализа, в то же время, предоставляя инструмент для изучения фундаментальной динамики пожаров и распространения дыма. Она предназначена для моделирования зданий и частей зданий. Она не предназначена для детального изучения движения дыма в пределах помещений, что, например, является необходимым для размещения датчиков дыма. Моделируемые объемы пространства ограничиваются от ~ 1 м ³ до 1 000 м ³ и время от ~ 1 с до примерно нескольких часов.
(Качественное) описание результатов метода расчета	Выходными данными модели являются переменные, которые необходимы для оценки состояния среды в здании при воздействии пожара. К ним относятся температуры верхних и нижних слоев газа внутри каждого отсека, температуры потолка/стен/перекрытий внутри каждого помещения, видимый дым и концентрации продуктов горения в пределах каждого слоя, температура в отдельных точках, и время активации спринклеров.
Заявления обоснованности и технико-экономические обоснования	Модель прогнозирует состояние среды в помещениях сооружений в результате пожара, заданного пользователем. Она является примером класса моделей метода конечных элементов. Данная конкретная реализация называется зоной моделью и, по сути, моделируемое пространство разделяется на несколько элементов. Физика пожарных явлений в отсеке обусловлена движением потоков газовых сред, в первую очередь плавучестью. В стандартный набор элементов или зон входит верхний и нижний слои газа, разделение потолка/стен/перекрытий на отдельные элементы, одна или несколько струй, и такие объекты, как пожарная нагрузка, цели и датчики. Одной из особенностей данной реализации модели конечных элементов является то, что граница между элементами (в данном случае, верхними и нижними слоями газа) может перемещаться, при этом её позиция определяется основными уравнениями. Прилагаемая библиография [2.7.1-2.7.5] содержит полный перечень всех проведенных валидационных испытаний.

2.3.2. Теория

Базовая концептуальная модель (основные явления)	Уравнения моделирования принимают математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закона сохранения энергии (эквивалентного первому закону термодинамики), и уравнения состояния идеального газа. Данные уравнения прогнозируют в качестве функции времени такие величины, как давление, высота слоя и температура с учетом накопления массы и энтальпии в два слоя. Предположение зонной модели состоит в том, что свойства, такие как температура, могут быть приближенно выражены через контрольный объем средним значением.
Теоретические основы явлений и физических законов, на которых основан метод расчета	Используемые уравнения принимают математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закона сохранения энергии (эквивалентного первому закону термодинамики), уравнения состояния идеального газа, а также уравнений для плотности и внутренней энергии. Данные уравнения прогнозируют в качестве функции времени такие величины, как давление, высота слоя и температура с учетом накопления массы и энтальпии в два слоя.

2.3.3. Применение теории

Основные уравнения	Используемые уравнения моделирования принимают математическую форму начальной задачи для системы обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ). Эти уравнения выводятся с помощью сохранения массы, закона сохранения энергии (эквивалентного первому закону термодинамики), и уравнения состояния идеального газа. Данные уравнения прогнозируют в качестве функции времени такие величины, как давление, высота слоя и температура с учетом накопления массы и энтальпии в два слоя. Предположение зонной модели состоит в том, что свойства, такие как температура, могут быть приближенно выражены через контрольный объем средним значением. Формулировка использует определения плотности, внутренней энергии, и уравнение состояния идеального газа. Эти показатели представляют собой обмен массы и энтальпии между зонами вследствие физических явлений, таких как струи, естественная и искусственная вентиляция, конвективный теплообмен и теплообмен излучением, и так далее. Например, вентиляционное отверстие меняет массу и энтальпию между зонами в смежных помещениях, струя огня, как правило, добавляет тепло в верхний слой и передает вовлеченные массу и энтальпию от нижнего слоя к верхнему, и конвекция передает энтальпию от слоев газа к окружающим стенам.
Задействованные математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы, со ссылками на них	Уравнения, используемые в зонном моделировании пожара, являются обыкновенными дифференциальными уравнениями (ОДУ), которые являются жесткими. Термин "жесткий" означает, что решение ОДУ существенно зависит от времени. В нашей задаче, давление приспособится к изменяющимся условиям быстрее, чем другие величины, такие как температуры слоя или высота границы зон. Специальные решатели требуются в целом для решения обыкновенных дифференциальных уравнений зонного моделирова-

	ния пожара из-за этой жесткости, которые используются здесь. Есть два допущения, которые уменьшают время вычислений. Во-первых, относительно небольшое число зон или элементов в отсеке достаточно, чтобы моделировать физическую ситуацию. Второе предположение заключается в построении разрешающих уравнений без использования уравнения сохранения импульса в пределах помещения.. Это упрощение устраняет акустические волны. Хотя это предотвращает один из расчета гравитационных волн в помещениях (или между отсеками), в сочетании с лишь несколько элементов на отсеке позволяет давать предсказания в большом и сложном пространстве очень быстро.
Идентификация каждого предположения, встроенного в логику; ограничения на входных параметрах, которые вызваны в области применимости метода расчета	Модель была разработана для решения практических задач пожарной безопасности, в то же время, обеспечивая изучения фундаментальной динамики распространение дыма и продуктов горения. Она предназначена для системы моделирования зданий и их частей. Она не предназначена для детального изучения потоков в помещениях, что необходимо для размещения детектор дыма. Она включает в себя активацию разбрызгивателей и пожаротушение каплями воды. Наиболее широкое применение модели находится и распространения дыма и продуктов горения в сложных зданий. Эффективность и вычислительная скорость модели достигаются вследствие небольшого количества элементов, необходимых для реализации зонной модели. Основное применение модели – для использования в расчетах при проектировании зданий, для определения временных зависимостей распределения дыма в жилых, коммерческих и промышленных зданиях. Некоторые приложения модели были для проектирования систем противодымной защиты.
	<u>Помещения:</u> Модель, как правило, ограничивается ситуациями, когда объемы помещений четко ограничены. Тем не менее, для того, чтобы обеспечить использование модели для более сложных задач, предусмотрены алгоритмы движения газов в коридорах, активизации детекторов дыма, и теплопроводности через границы твердых тел. Эта модель не предусматривает непрямоугольных помещений, поэтому область применения ограничивается относительно простыми пространствами, таких как чердаки и судовые коридоры. Нет возможности рассчитывать сложную геометрию, где существенно влияние сложных потоков. Для таких приложений могут быть применены модели вычислительной гидродинамики (CFD).
	Есть также ограничения в допущениях стратификации слоев газа. Концепция зонной модели, по определению, предполагает резкую границу между верхним и нижним слоями, тогда как на самом деле, как правило, переход составляет примерно 10% от высоты отсека и может быть больше, в слабо стратифицированном потоке. Например, горящая сигарета в нормальном помещении, не входит в компетенцию зонной модели. Хотя вполне возможно делать прогнозы в пределах 5% от фактических температур газовых слоев, это не оптимальное использование модели. Более правильное использование, чтобы сделать оценки распространения огня (не распространения пламени), обнаружения дыма и загрязнения, и расчеты жизненного безопасности.
	<u>Скорость тепловыделения:</u> Существуют ограничения, присущие допущениям, используемых в применении эмпирических моделей. В качестве общей рекомендации, выделение тепла не должно превышать порядка 1 MW/m³. Это ограничение на численные процедуры расчета на связи между потоком газа и теплопередачи через границы (теплопроводности, конвекции и излучения). Присущее модели предположение о двухзонности, вероятно, будет нарушено до достижения этого ограничения.
	<u>Излучение:</u> Так как модель включает в себя сложные модели излучения и алгоритмы вентиляции, то модель можно использовать для изучения работы системы вентиляции, а также эффекта тяги и эффект ветра на циркуляции воздуха в зданиях.
	<u>Вентиляции и утечки:</u> В одном отсеке, отношение площади отверстия между помещениями к объему помещения не должна превышать примерно 2 м⁻¹. Это ограничение на предположении идеального потока в вентиляционных отверстиях. Важное ограничение возникает из неопределенности в описании сценария. Например, утечка в здании может являться значительной, это влияет на расчеты потока, особенно, когда присутствует ветер, а также для высотных зданий. Эти эффекты могут нарушить ограничения на точность реализации модели. Общая точность модели тесно связана с полнотой, специфичной и аккуратностью задаваемых исходных данных.
	Термические свойства: точность предсказаний модели ограничена тем, насколько хорошо пользователь может указать теплофизические свойства. Например, доля топлива, которое в конечном итоге выделяется как сажа, имеет важное воздействие на поглощение излучения газового слоя и, следовательно, конвективный нагрев против радиационного нагрева газовых слоев и стен, которые в свою очередь влияет на плавучесть и потоки. Существует более высокий уровень неопределенности предсказаний, если свойства реальных материалов и реальных топлива неизвестны или трудно получаемы, или физические процессы горения, радиация, и теплообмен являются более сложными, чем их математических представлений в модели.
Обсуждение точности результатов, полученных важных алгоритмов и, в	Предсказания выполняются, как правило, с точностью до 10% до 25% от измеренных значений для ряда сценариев. В общем, это достаточно для предполагаемого использования, для расчетов пожарной безопасности и оценки динамики факторов пожара, которые воздействуют на строительные элементы во время пожара. Применяемые запасы

случае компьютерных моделей, любая зависимость от конкретных возможностей компьютерных	при проектировании, как правило, больше, чем этот уровень точности и может быть целесообразным для обеспечения адекватного запаса надежности.
Описание результатов анализа чувствительности	Многие рассчитанные результаты весьма нечувствительны к неопределенности во входных параметрах для широкого диапазона сценариев. Не удивительно, что скорость выделения тепла последовательно рассматривается как наиболее важная переменная в моделировании. Скорость тепловыделения и связанные переменные, такие как теплота сгорания или выделение продуктов сгорания обеспечивает движущую силу для потоков дымовых газов. Все это задает пользователь. Таким образом, тщательный выбор этих данных о пожарной нагрузке необходим для точных предсказаний. Другие переменные, связанные с заданием геометрии, такие как высота помещений или размеры вентиляционных отверстий, также важные для результатов моделирования, как правило, более легко определяются для конкретных сценариев проектирования, чем данные о пожарной нагрузке. Для некоторых сценариев, например, для расчета зданий, возможно, потребуется включить эффекты утечки для обеспечения точности предсказаний. Для других сценариев, таких как расчет судов или объектов атомной энергетики, утечка может быть легко определена и не может быть проблемой в подготовке исходных данных.

2.3.4. Входные данные

Требуемые параметры	Все данные для запуска модели содержатся в файле ввода данных. Необходимы также базы данных для объектов в модели, теплофизических свойств, граничных условий, и описания пожарной нагрузки. Эти файлы содержат информацию о геометрии здания (размеров помещений, строительных материалов, и свойства материала), связи между помещениями (отверстия горизонтальных потоков, такие как двери, окна, отверстия вертикальных потоков в полах и потолках, и механической вентиляции), пожарные свойства (мощность тепловыделения в зависимости от времени), и спецификации для детекторов, спринклеры, и датчиков (расположение, размер, характеристики теплопередачи и характеристики течения для разбрызгивателей). Материалы определяются их теплопроводностью, теплоемкостью, плотностью, толщиной и характеристиками горения (скорость выделения тепла, свойства зажигания и видов урожайности). Файл входных данных предоставляет программе параметры для описания рассчитываемого. 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. [2.7.2]
Источник необходимых данных	Различные источники данных могут быть использованы. Эти источники включают в себя данные о свойствах материалов, таких как теплоемкости и теплопроводности, коэффициентов потока через отверстия, и так далее. Данные взяты из рецензируемых изданий.
Для компьютерных моделей: требуемые любые вспомогательные программы или внешние файлы данных,	Нет
Предоставление информации о источнике, содержание и использование библиотек данных для компьютерных моделей	Примеры библиотек данных предоставляются.

2.4. 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 (см., например, главу 6 [2.7.1]).
--	---

Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода уже выполняются. Если, в случае компьютерных моделей, проверка метода расчета основана на бета-тестировании, 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.)	Метод расчета является общедоступной моделью, разработанной Национальным институтом стандартов и технологий (США). Это подлежит строгому анализу, в том числе проверки кода программы, 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. Полный перечень оценок, использованных для проверки CFast обсуждается в главе 6 Техническом справочном руководстве. [2.7.1] В полном валидационном анализе, есть сравнение с полномасштабными испытаниями, проведенными специально для выбранной оценки (13), сравнения с ранее опубликованными данными испытаний (10), сравнение с документированными пожарами (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). Эксперименты использованные в текущей оценки модели, подробно описаны в [2.7.4]: НБС Одноместный номер Тесты с Мебель (общий объем отсека: 21 м3, пик размер огонь: 2,9 МВт) VTT большой зал Тесты (общий объем отсека: 7 182 м3, пик размер огонь: 4 МВт) NIST/CPH Серии тестов (общий объем отсека: 586 м3, пик численности пожарной: 2,2 МВт) FM/SNL Серии тестов (общий объем отсека: 1 296 м3, пик численности Огонь: 516 кВт) IBMB отсека Тесты (общий объем отсека: 74 м3, пик численности пожарной: 3,6 МВт) НБС нескольких отсеков серии испытаний (общий объем: 100 м3, пик размер огонь: 500 кВт) FM Четыре номера, включая коридор серии испытаний (общий объем: 200 м3, пик размер огонь: 1 МВт) NIST семиэтажного отеля Тесты (общий объем здания: 140 000 м3, пик численности пожарной: 3 МВт) Таблица 2.1 приведены сравнения проверки для текущей версии модели.
Степень, в которой метод расчета отвечает этому Технический отчет.	Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.

Таблица 2.1 — Обзор сравнений модели [2.7.4]

Величина	Среднее значение а (%)	Среднее значение выборки b (%)	В пределах экспериментальной неопределенности с (%)	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
поток в точке	-23	27	42	51
Температура в точке	0	18	38	34
поток через границу	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 кажется 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.

2.5. Пример решения

- 2.5.1. Этот пример расчета является взглядом на экспериментальную неопределенность, неопределенность модели, и ряд полномасштабных экспериментов.
- 2.5.2. Серия пожарных экспериментов была выполнена в NIST для комиссии по регулированию США по ядерной энергетике научно-исследовательского института электроэнергетики. [2.7.3] Рисунок 2.2 показывает сравнение с изменением объемной доли (концентрации) диоксида углерода и кислорода между CFAST предсказаний и данных в течение нескольких тестовых макетов из проекта ICFMP. Рисунок 2.2 является подобное сравнение предсказанной и измеренной температуры горячей газ слоя с другими подмножеств данных из того же проекта. Подробная информация о тестовой среде и условиях испытаний можно найти в упомянутой литературе. [2.7.3]
- 2.5.3. Ссылка для проверки серию в ICFMP содержится в [2.7.3]. BE n обозначает один из сценариев.

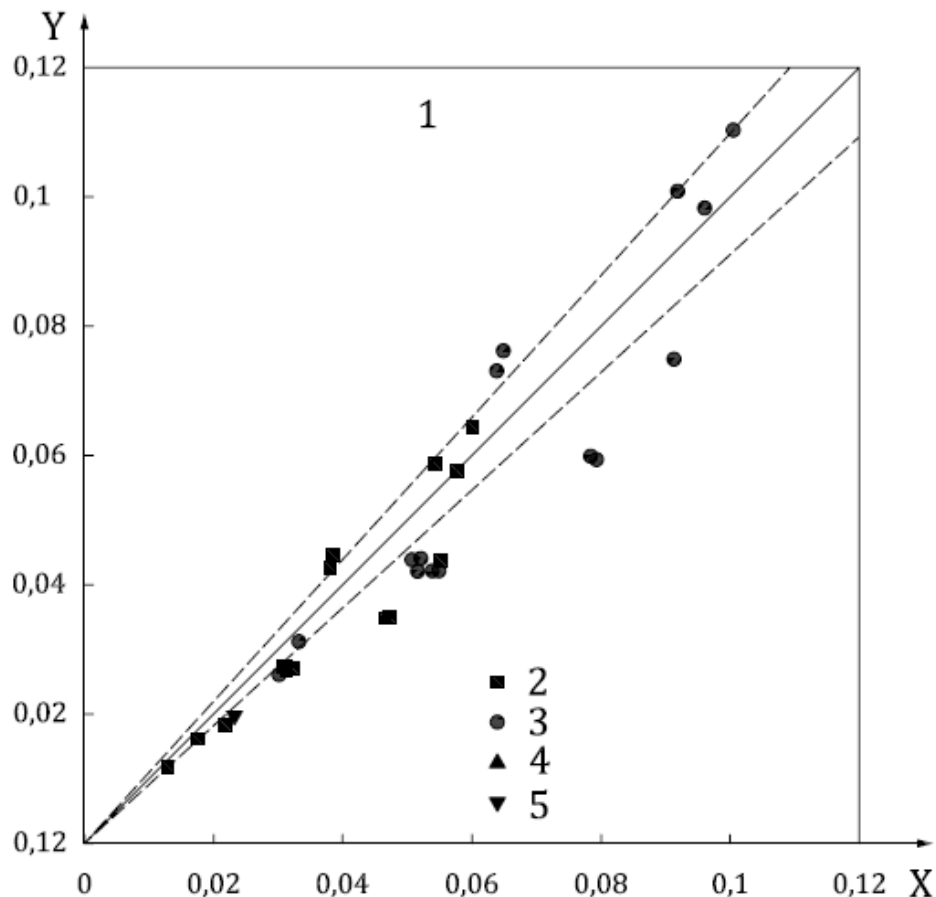


Рисунок 2.1 — Сравнение концентрации кислорода и концентрации углекислого газа (см. таблицу 2.2) [2.7.3]

2.5.4. 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

2.5.5. ПРИМЕЧАНИЕ. ICFMP xx обозначает конкретные тестовые сценарии.

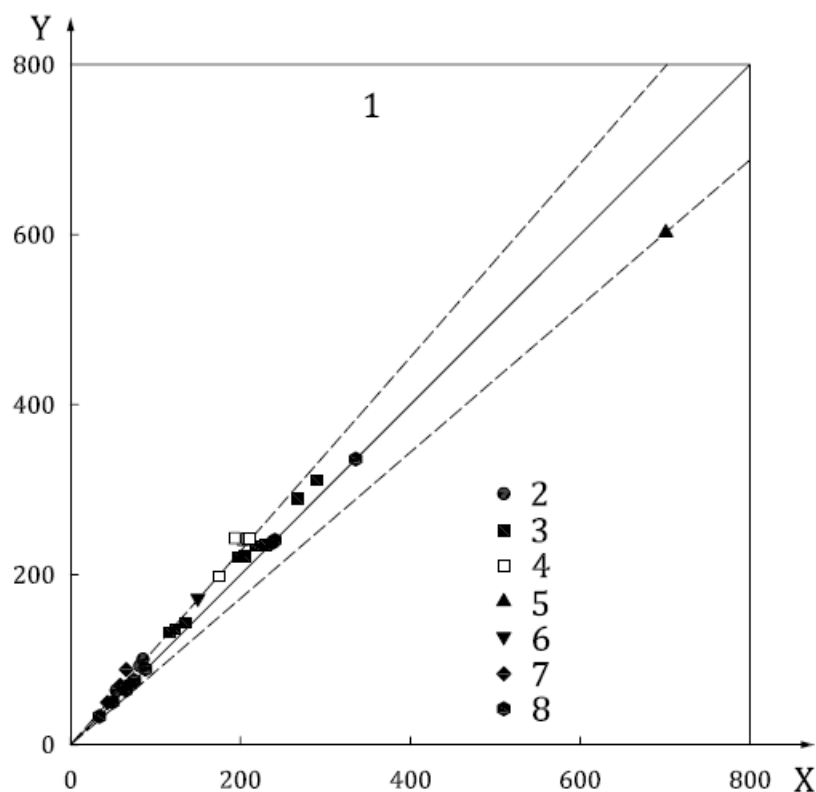


Рисунок 2.2 — Сравнение для подъема температуры слоя горячих газов [2.7.3]

2.5.6. 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

2.5.7. ПРИМЕЧАНИЕ. ICFMP xx обозначает конкретные тестовые сценарии.

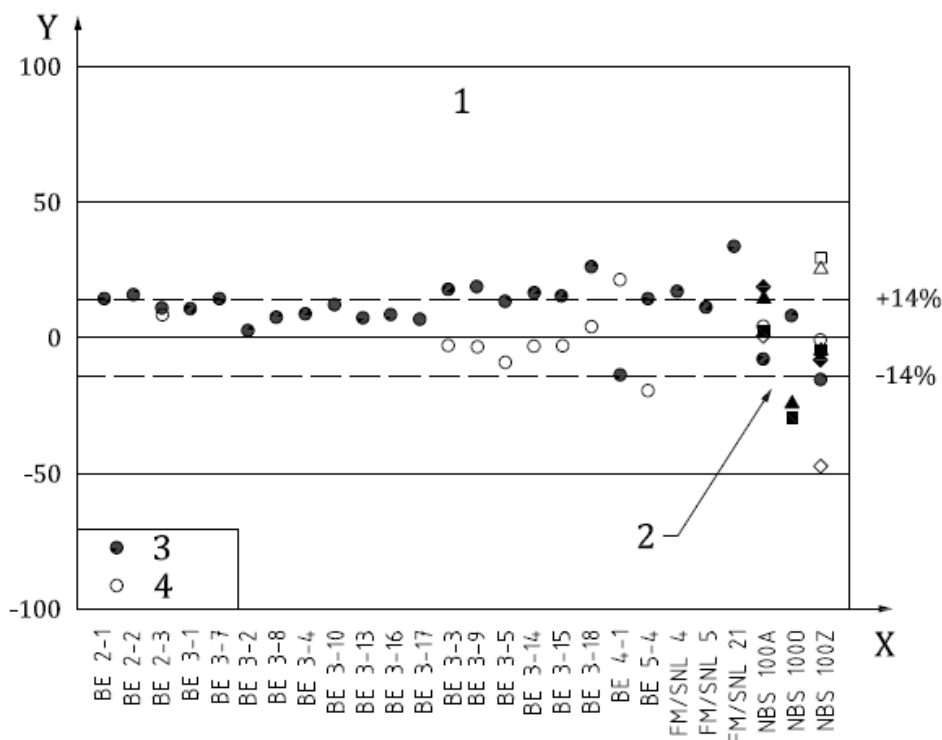
2.5.8. Сравнение для всех тестов (из ссылки [2.7.3]) дает ощущение неопределенности соглашения между прогнозированием и измерением, как обозначено в таблице 2.1.

Таблица 2.2 — 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

2.5.9. Важно отметить, что не существует ни одно заявление, о котором ближе к истинным ценностям. Еще один способ, чтобы посмотреть это сравнение является упрощенным относительно разни-



ца (для того же набора данных), как показано на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3 – 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 [2.7.3]

2.5.10. 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)

2.5.11. Экспериментальные ошибки могут ползти в сравнении. Рисунок 2.4-схема для одного из экспериментов, сравнение между шариком и термопарами.

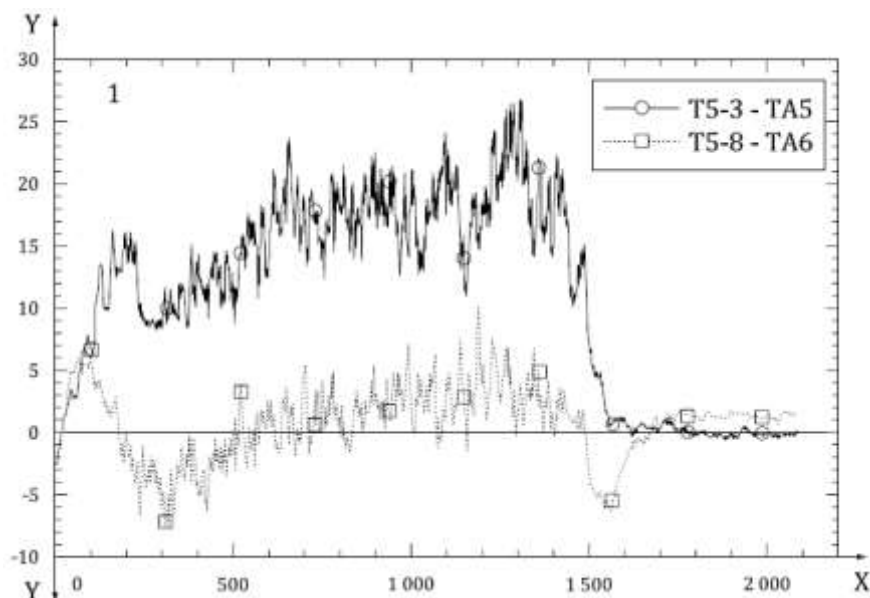


Рисунок 2.4 – Относительное изменение температуры для босых термодатчиков по сравнению с придыханием термодатчиков

2.5.12. Условные обозначения:

X - время (с)

Y - температура (°C)

1 - испытание 3

2.5.13. ПРИМЕЧАНИЕ. Круги для придыхания, и коробки и нижний график представляет термодатчики.

2.5.14. Верхняя кривая на рисунке 2.4 является защищенной термодатчиком, в то время как нижний график представляет собой термодатчик без защиты от излучения. Это часто является источником разницы, когда предсказания CFAST представлены и автор приходит к выводу, что модель завышает температуру. Не существует простого правила для этой коррекции, так как это зависит от температуры и радиации в окружающей среде.

2.5.15. Наконец, ошибки моделирования могут возникать, когда модель не является достаточно точным представлением эксперимента. В экспериментах NIST, была сделана серия измерений в расположении тестовой установки из трех комнат (см. рисунок 2.5).

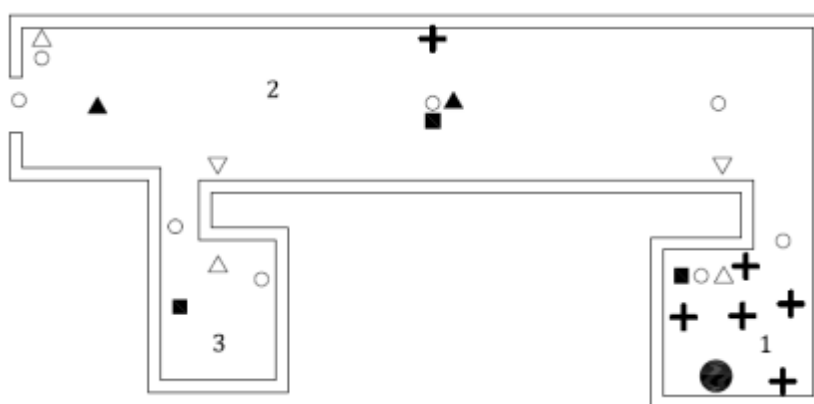


Рисунок 2.5 – Схема расположения испытательной установки

2.5.16. Условные обозначения:

1 - помещение 1

2 - помещение 2

3 - помещение 3

2.5.17. ПРИМЕЧАНИЕ. Символы обозначают позиции измерительных зондов, как ТС.

2.5.18. В течение первого сравнения измерений с предсказанием, разница была неудовлетворительной. В следующей серии испытаний было установлено, что дым протекает из верхней части передней стенки номера 2. Следовательно, учет утечек во время пожара был сочтен важным, были выполнены измерения.

2.5.19. Эффект утечки из верхнего слоя и давления на уровне пола относительно размеров отверстия показан на рисунке 2.6.

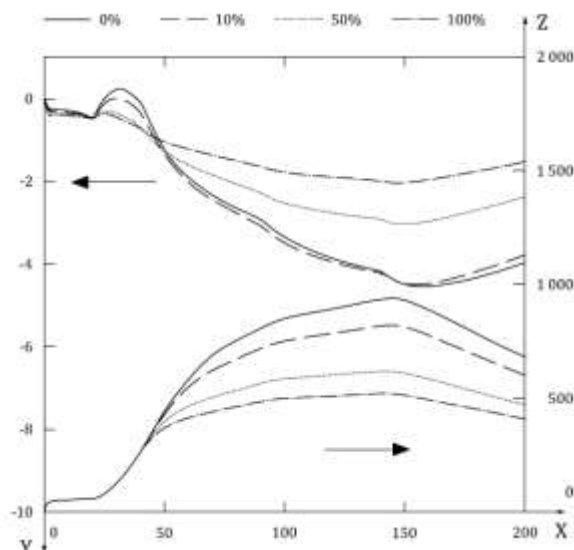


Рисунок 2.6 – Последствия утечки относительно размеров отверстия в схеме на рисунке 2.5, давления и температуры

2.5.20. Условные обозначения:

X - время (с)

Y - давление (Па)

Z - температура (°C)

2.5.21. Выполнение более точного расчета, соответствующего эксперименту, а не изначальному предположению, показан на рисунках 2.7 и 2.8 соответственно.

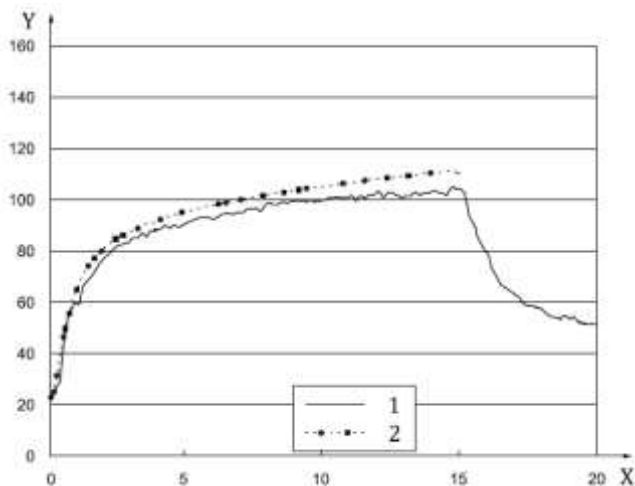


Рисунок 2.7 – Температура слоя горячих газов против времени дерева термопар 4: Сравнение прогнозов с результатом испытаний

2.5.22. 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

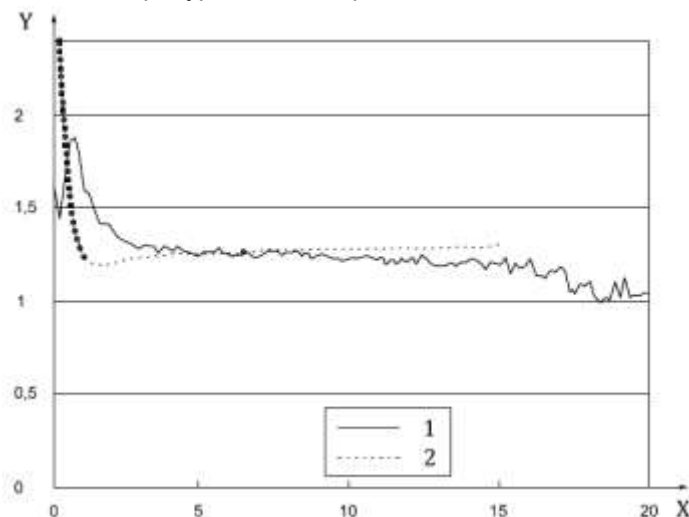


Рисунок 2.8 – Сравнение высоты слоя горячих газов: Прогноз по сравнению с испытанием

2.5.23. Условные обозначения:

X - время (мин)

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

1 - ВРЕМЯ относительно ВЫСОТЫ 18

2 - время CFAST относительно высоты 4 слоя горячих газов

2.5.24. Вывод таков, что важно убедиться, что расчет соответствует экспериментальным данным.

2.6. Руководство пользователя

2.6.1. Руководство пользователя находится в открытом доступе, см. работу [2.7.2] в библиографии.

2.7. Библиография

- 2.7.1. 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)
- 2.7.2. 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)
- 2.7.3. 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)
- 2.7.4. 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)
- 2.7.5. ISO 16730-1, *Пожарно-технический анализ – Оценка, верификация и валидация методов расчета – Часть 1: Общие положения*

3. ПРИМЕР МОДЕЛИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ГИДРОДИНАМИКИ

3.1. Область применения

- 3.1.1. Пример в этой части описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1 для вычислительной гидродинамики (CFD) модели (ISIS).
- 3.1.2. Основная цель конкретной модели обработанной в этой части ISO 16730 является моделирование пожара в открытой среде или закрытых помещениях с естественной или принудительной системой вентиляции.

3.2. Общая информация о рассматриваемой модели вычислительной гидродинамики (CFD)

- 3.2.1. Название модели вычислительной гидродинамики, рассматриваемой в этой части - "ISIS". Компьютерная программа ISIS, разработанная Французским институтом радиационной защиты и ядерной безопасности (IRSN) и определяется как модель динамического переноса текучей среды (также называемый CFD или полевая модель), основана на согласованный набор моделей, которые могут быть использованы для моделирования пожаров 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.
- 3.2.2. Верификация и валидация - два различных процесса, которые постоянно обновляются на основе последних разработок кода. Фаза верификации использует широкий спектр методов, таких как сравнение с аналитическим решением для модельных задач, использование метода генерированных решения, а также по сравнению с эталонным результатом. Процесс валидации основан на так называемом агрегатировании, в том числе решении простых задач, а затем масштабные реалистичные пожарные эксперименты. Этот процесс позволяет разделить сложную инженерную систему на несколько более простых случаев. Следовательно, руководство по валидации этой программы [3.9.1] включает ламинарного, турбулентного и пожарных случаев и содержит в общей сложности 18 тестов.

3.3. Описание метода расчета

3.3.1. Цели

Определение решенной задачи или выполнено функции	– 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	– Выходные данные включают: Температура газа в каминном зале и соседних номерах, Изменение давления во время пожара, На входе и выходе массовые расходы на вступительных и извлечения отраслей отсека, 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.

3.3.2. Теория

Базовая концептуальная модель (руководящие явления)	Физическое моделирование в этом методе расчета основано 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 пожарного 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 непредварительного смешанного горения.
--	---

3.3.3. Применение теории

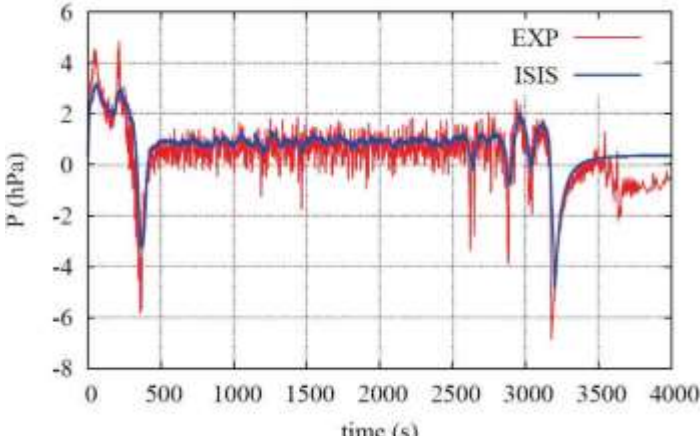
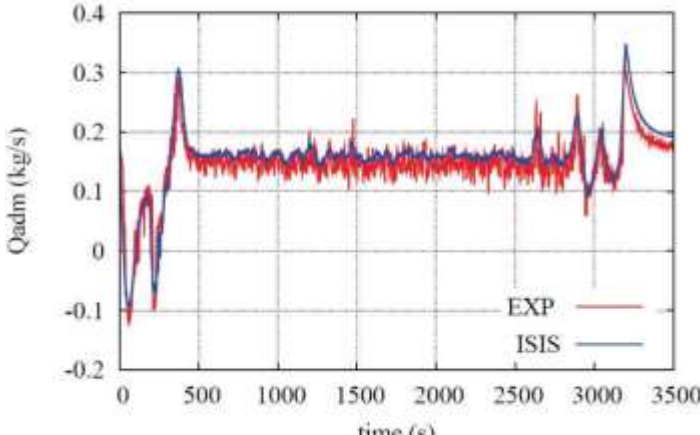
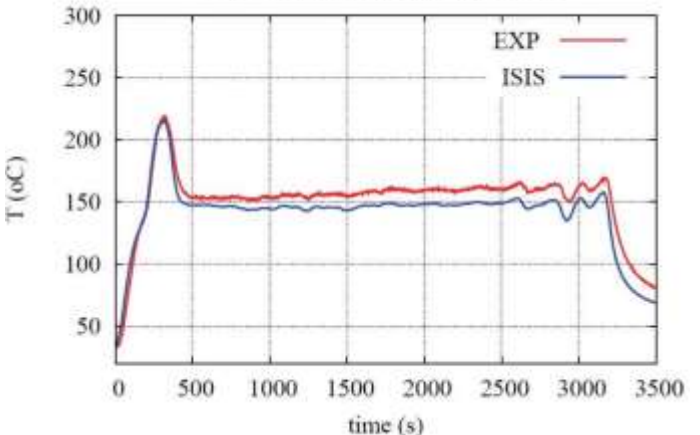
Управляющие формулы	Набор управляющих формул подробно описаны в работах [3.9.2] и [3.9.5]. Для имитации пожара в замкнутом отсеке, следующие формулы руководящие решаются: – Уравнения РАЕН; – формула турбулентность (κ-ϵ); – Смесь фракция (процесс сгорания); – Массовая доля топлива; – Энтальпия; – Трансферы излучения; – Уравнения Бернулли для впускных и выпускных ветвей. Плотность реакционной смеси определяется с помощью идеального газа (уравнение состояния идеального газа) и среднюю молекулярную массу отдельных видов смеси.
Математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы используются, со ссылками на них	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 хороший компромисс 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 схем конечных объемов с шахматных 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. [3.9.10] Временная дискретизация выполняется с дробным шагом схеме такой, что в работе [3.9.11]. Это полу - неявная схема позволяет большой временной шаг в то время как каждая формула решается в определенной последовательности. Модель основана на научной платформы PELICANS развития вычислительной техники, который доступен как с открытым исходным кодом программного обеспечения (https://gforge.irs.fr/gf/project/pelicans). 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.
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику; ограничения на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	– Сетку; – Гидродинамическая модель: низкое число Маха предположение; – Молекулярная диффузия: каждый вид смеси имеют одинаковый коэффициент массовой диффузии; – Теплоемкость: используется только постоянная теплоемкость; – 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 Льюис 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 [3.9.12].

3.3.4. Входные данные

Требуемые входные параметры	– Геометрия; – Сетка; – Время-шаг; – Теплофизические свойства (на топливо, стены, изоляция); – Начальные условия; – Граничные условия; – Сопротивление впускных и выпускных патрубков.
Источник необходимых данных	– Данные по геометрии, времени и пространства дискретизации вводятся пользователя. – Свойства материала должны быть взяты из теста или литературе.
Для компьютерных моделей: любые вспомогательные программы или внешние файлы данных, требуемых	Дистрибутив LINUX с – 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). Постобработка – Meshtv, – OpenDX, – GMV, – ParaView или – FIELDVIEW. Построение сетки – 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.

3.4. Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

(Количественные) результаты любых усилий по оценке прогнозных возможности метода расчета в соответствии с п. 5 ISO 16730-1	Процесс проверки кода представлена в работе [3.9.5]. Около 20 случаев выполняются и включают сравнения с аналитическими решениями, изготовленных решений и контрольных случаев. Некоторые из этих примеров можно найти в работах [3.9.4], [3.9.5], [3.9.10], [3.9.11] . Процесс проверки используется для оценки пожарной модель описан в работе [3.9.1] и пример приведен в работах [3.9.5] и [3.9.6]. Руководство проверки [3.9.1] содержит 18 тестов: – Ламинарные случаи (5) 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) 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) Тест LIC1.14 Тест PRISME Источник PRS- CI- D1 PRISME Источник тесты PRS- CI- D3 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.
--	--

	PRS-SI-D1 : Gas pressure 
	PRS-SI-D1 : Mass flow rate at the inlet 
	PRS-SI-D1 : Mean gaz temperature 
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-тестирование, документация должна включать профили тех, кто участвует в тестирования (например, были они вовлечены в какой-либо степени в развитии метода	Верификация: см. список литературы [3.9.4], [3.9.5], [3.9.10], [3.9.11] Валидация: см. список литературы [3.9.1], [3.9.4], [3.9.5], [3.9.6], [3.9.7], [3.9.8], [3.9.9]

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 этой части ISO 16730	Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.

3.5. Пример с решением

3.5.1. Основные положения

3.5.2. Приведенный ниже пример взят из документа [3.9.1].

3.5.3. Моделирование реального масштаба экспериментального 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 по 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.

3.5.4. Описание задачи

3.5.5. 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 3.1. 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 (Рисунок 3.1) 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 3.2.

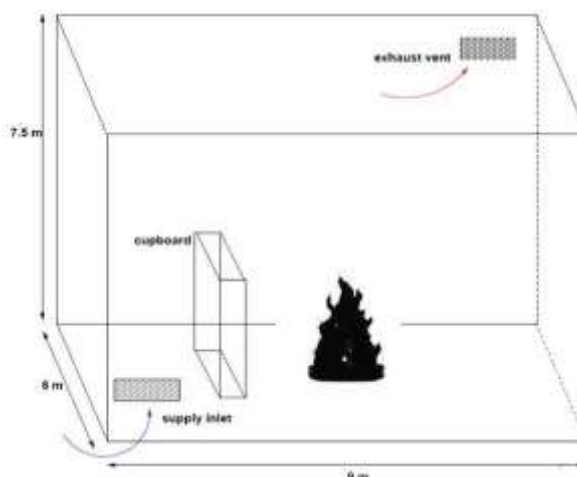


Рис. 3.1. Экспериментальная геометрия огонь случай

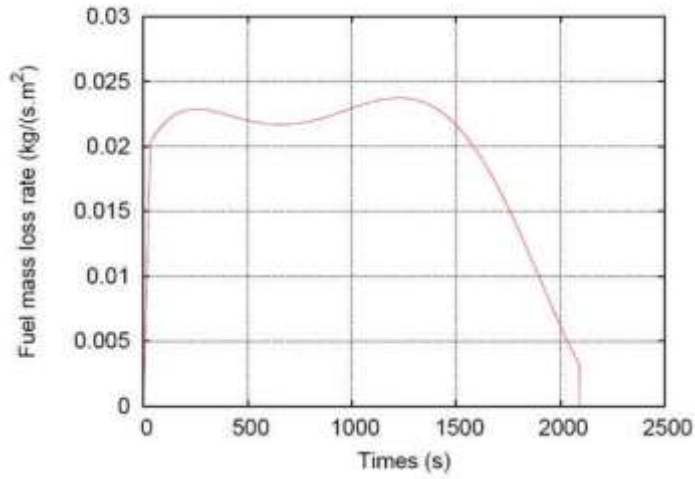


Рис. 3.2. Скорость потери массы топлива в экспериментальном примере пожара

3.5.6. Система описания турбулентного реактивной поток в низком числе Маха режима представлена ниже. Приближении турбулентности прибегает к массовой Усредненный, 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 г смесь фракции и масса топлива доля YF хранятся как неизвестных переменных. Удаление сокращенно в обозначениях операторов турбулентность усреднения Фавр или Рейнольдса, регулирующие формулы следующим образом:

3.5.6.1. Баланс массы:

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

3.5.6.2. Баланс импульса:

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

3.5.6.3. Баланс турбулентной кинетической энергии:

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

3.5.6.4. Баланс вязкой диссипации:

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

3.5.6.5. Баланс вязкой энтальпии:

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

3.5.6.6. Баланс доли смеси:

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

3.5.6.7. Баланс доли массы топлива:

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

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

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

3.5.6.9. Турбулентные условия производства определяются как:

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

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

где термин G_b стоит для генерации и уничтожения турбулентности из-за сил плавучести.

3.5.6.10. В многокомпонентных смесях, плотность смеси оценивали путем:

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

с

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

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.).

3.5.6.11. Скорость горения топлива рассчитывается по формуле:

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

где C_{EBU} является моделью постоянной обычно принято порядка четырех, но которые могут быть смоделированы вязкой модели смешивания; здесь, первый вариант, $C_{\text{EBU}} = 4$, используется.

3.5.6.12. Чтобы справиться с радиационных потерь, так называемый модель Маркштейна используется, так что удельная энтальпия связана с температурой следующим соотношением:

$$h = c_p (T - T_0) + \Delta H_c (1 - \chi_r) Y_F \quad (\text{C.14})$$

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.

3.5.6.13. Модельные константы имеют следующие стандартные значения:

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

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

3.5.6.14. 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 отсеке:

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

где Q_i является расход в отрасли i , P_{node} , я это давление на оконечности отрасли, которая не находится в разделительной перегородки и f является аэродинамическое сопротивление. Геометрические размеры L_i и S_i , соответственно, длина и поверхность филиала i .

3.5.6.15. Эта система должна быть дополнена общей формуле баланса масс отсека:

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

3.5.6.16. Геометрические и свойства материала собраны в следующих таблицах:

3.5.6.17. Газовая смесь:

3.5.6.18. динамическая вязкость: $\mu = 1,68 \times 10^{-5} \text{ кг / (м} \cdot \text{с)}$

3.5.6.19. теплопроводность: $\lambda = 0,018 \text{ Вт / (м} \cdot \text{K)}$

3.5.6.20. теплоемкость: $c_p = 1 \text{ 100 Дж / (кг} \cdot \text{K)}$

3.5.6.21. число Прандтля: $Pr = 0,71$

3.5.6.22. теплота сгорания: $\Delta H_c = 2,56 \times 10^7 \text{ Дж / кг}$

3.5.6.23. Бетонные стены:

3.5.6.24. плотность: $\rho_w = 2 \text{ 430 кг/м}^3$

3.5.6.25. теплопроводность: $\lambda_w = 1,5 \text{ Вт / (м} \cdot \text{K)}$

3.5.6.26. теплоемкость: $c_p, W = 736 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$

3.5.6.27. толщина стены: $E_w = 0,25 \text{ м}$

3.5.6.28. Металлическая шкаф:

3.5.6.29. плотность: $\rho_s = 7 \text{ 801 кг/м}^3$

3.5.6.30. теплопроводность: $\lambda_s = 43 \text{ Вт / (м} \cdot \text{K)}$

3.5.6.31. теплоемкость: $c_p, s = 473 \text{ Дж / (кг} \cdot \text{K)}$

3.5.6.32. толщина стены: $E_s = 0,25 \text{ м}$

3.5.6.33. Начальные условия задаются следующим образом:

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

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

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

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

3.5.6.34. Чтобы определить граничные условия, три различные поверхности считаются:

$$v = (0, 0, w_F); h = \Delta H_c (1 - \chi_r); z = Y_F = 1; k = 0,1 w_F^2; \varepsilon = C_\mu k^3/2/l_\varepsilon$$

3.5.6.35. - **Огонь:**

где WF функцией скорости потери массы топлива; $WF = m_F / \rho_F$ и $l_\varepsilon = 0,07L$ при L характерным масштабом длины, что эквивалентно радиусе огня.

3.5.6.36. - **Стены:** проводимости в стенах учитывается в уравнения баланса энергии. Функция стены входа закон используется для импульса и турбулентность баланса формул.

3.5.6.37. - **Питания на входе и выходное отверстие:** назначают скорость вычисляется в соответствии со скоростью потока в каждой ветви; топливо должно оставаться в отсеке.

3.5.7. Численные данные

3.5.8. Различные неравномерной сетке тестируются с 8 500, 68 000 и 240 000 сетки названные впоследствии сетка 1, сетка 2 и сетка 3. 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	полуневная 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 наветренной стороны для конвективных членов K - ε и Навье-Стокса

3.5.9. Результаты

3.5.10. Термодинамическое давление и массовый расход

3.5.11. Эволюция термодинамического давления в отсеке пожара в зависимости от времени (см. рисунок 3.3) 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. Сильное избыточное давление при розжиге и слабой депрессии в вымирания наблюдаются в обоих случаях. Эволюция массового расхода на входе питания в зависимости от времени показана на рисунке 3.4. Он стабилизирует около 0,7 кг / с после короткого периода, соответствующего стадии возгорания. Массовый расход на выходе, непоказанные здесь, практически идентичны. Эти результаты находятся в диапазоне неопределенности экспериментальных данных.

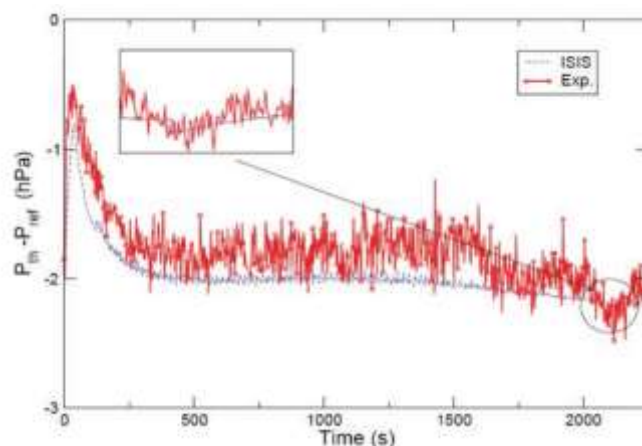


Рис. 3.3. Термодинамическое давление в зависимости от времени

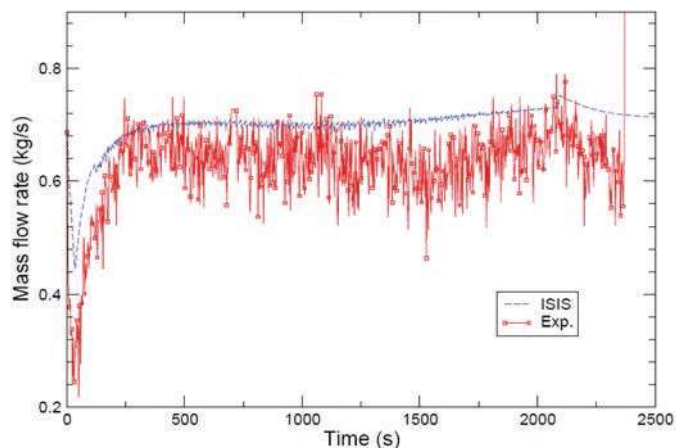


Рис. 3.4. Массовый расход при поступлении в зависимости от времени

3.5.12. Температура в области струи

3.5.13. Эволюция температуры со временем в факеле области, 3 м над огнем, получены с mesh1 представлена для всей переходного процесса в рисунке 3.5. 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 3.6 указывает сильные временные вариации температуры, соответствующей вращению пламени вокруг своей оси. Такое поведение вращения пламя наблюдается также в экспериментах с почти одинаковой частотой.

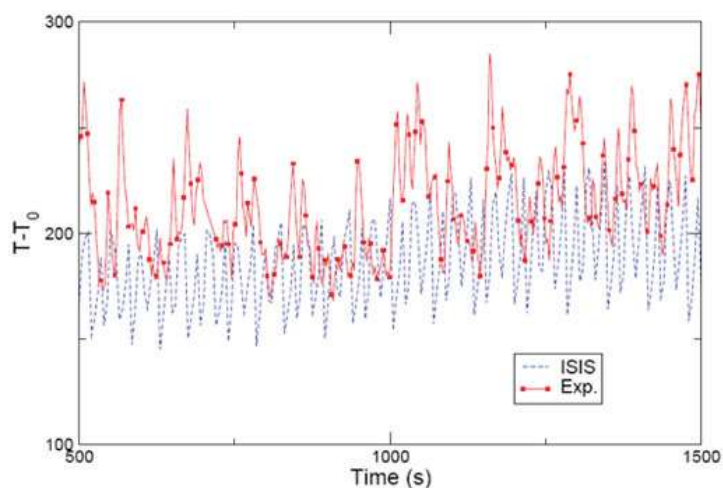


Рис. 3.5. Температура и время до 3 м над огнем

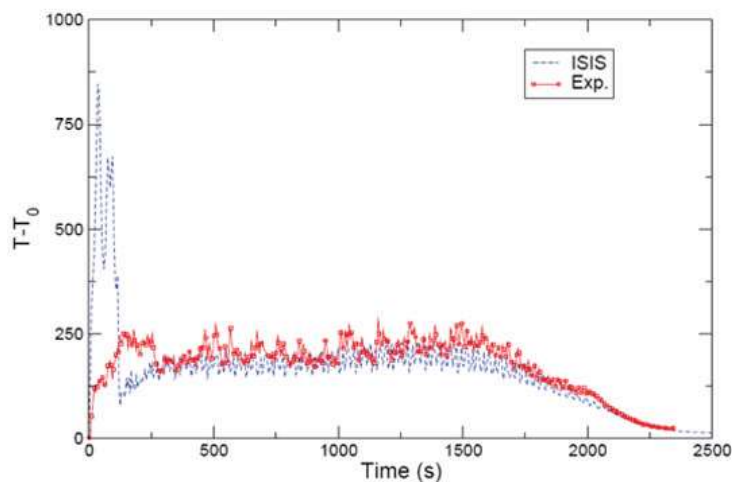


Рис. 3.6. Температура и время до 3 м над огнем

3.6. Руководство пользователя

3.6.1. Основные положения

3.6.2. В приведенном ниже примере берется из задания [3.9.3].

3.6.3. 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.

3.6.4. 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
```

3.6.5. Задачи:

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

3.6.6. Описание

3.6.7. 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. экспериментальной работы в [3.9.13], и численной работы в [3.9.14].

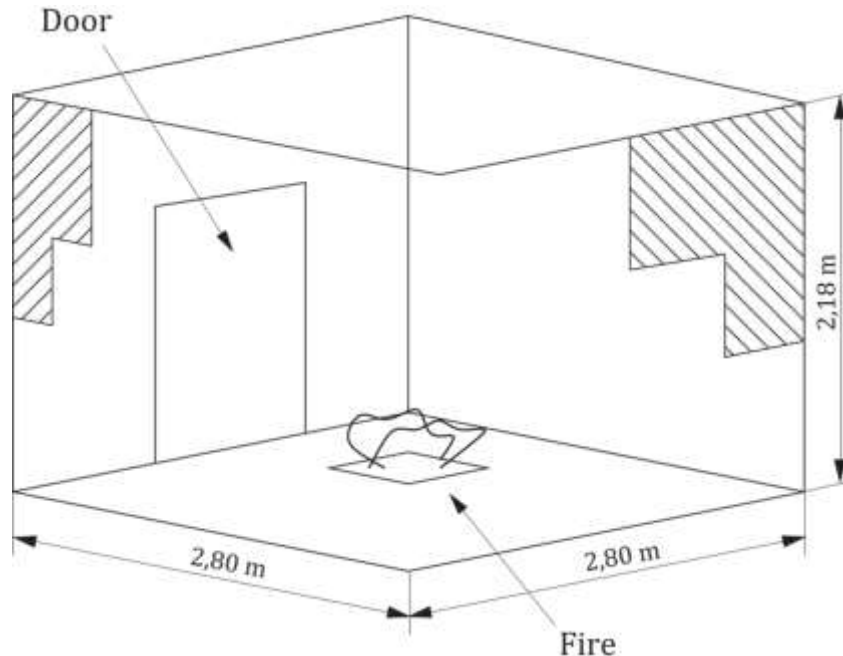


Рис. 3.7. Конфигурация помещения

3.6.8. Определение сетки

3.6.9. Первый шаг заключается в определении сетки.

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

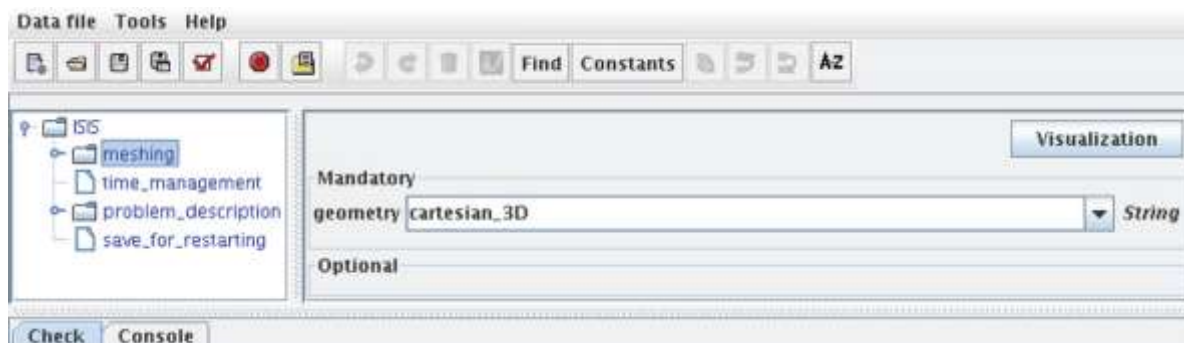


Рис. 3.8. Геометрия

3.6.11. В PELICANS "GE_BoxWithBoxes" внутренний генератор сетки используется для создания сетки для домена. 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.

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

3.6.13. 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))
```

3.6.14. 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))
```

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

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

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

3.6.17. Выбор временного шага

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

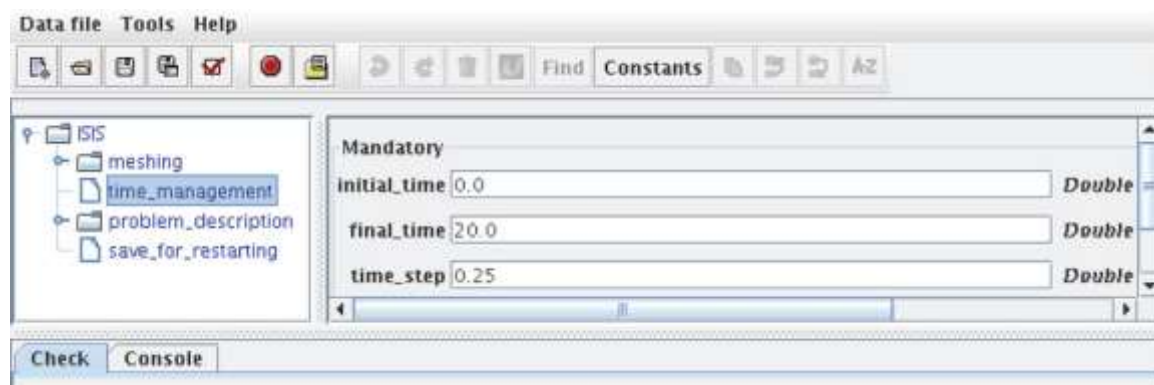


Рис. 3.9. Меню "time_management"

3.6.19. Определение проблемы интереса

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

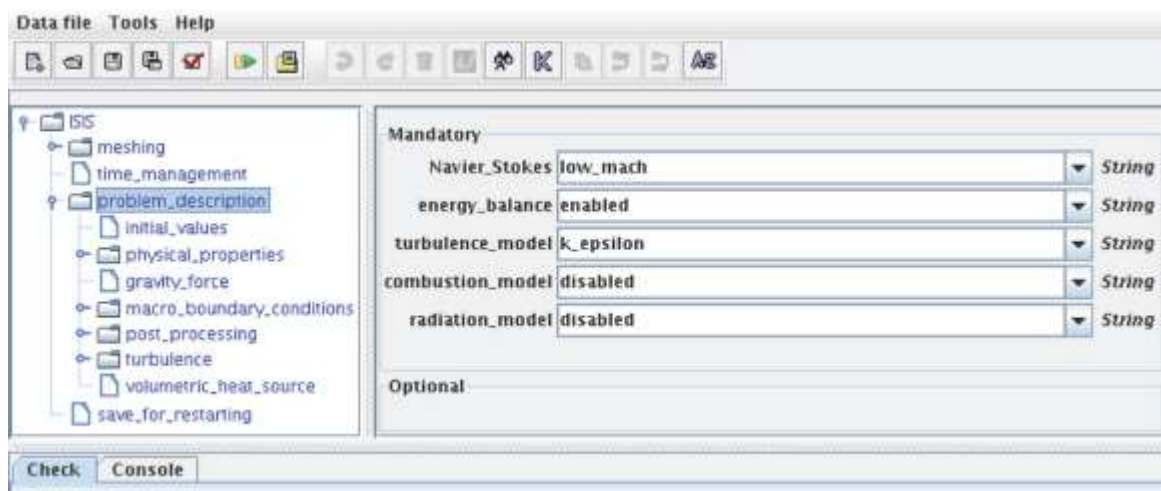


Рис. 3.10. Определение проблемы исследования

3.6.21. Определение начальных значений неизвестных

3.6.22. 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.

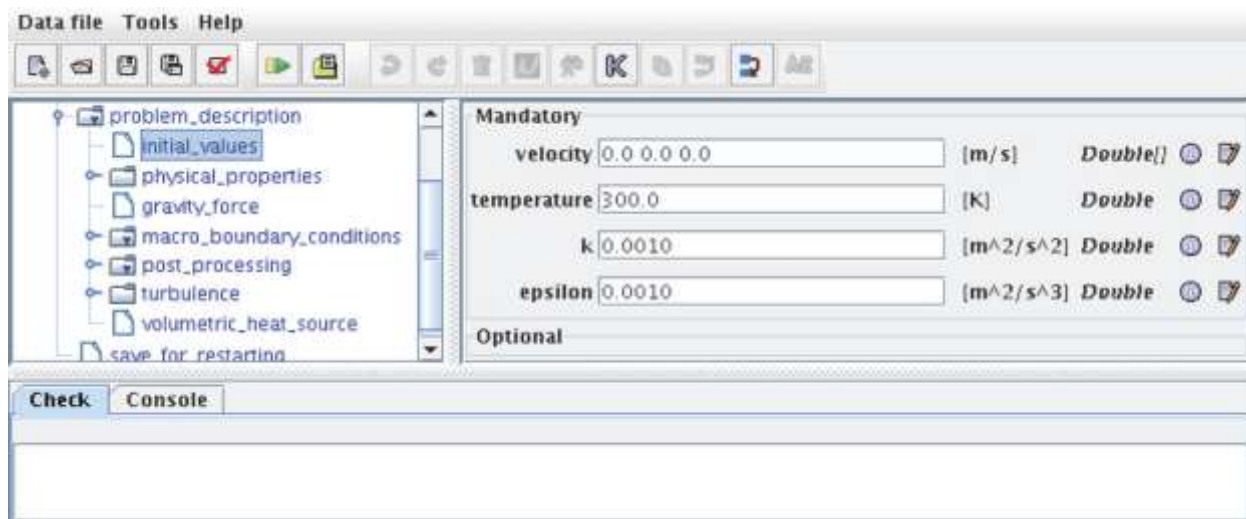


Рис. 3.11. Начальные значения

3.6.23. Определение свойств жидкости

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

3.6.25. Для плотности, "расширяющийся" закон ни был выбран, для которых $pT = p_0T_0$. Ссылка плотность, $p_0 = 1$, и температура, $T_0 = 300$, в таком случае будет введен.

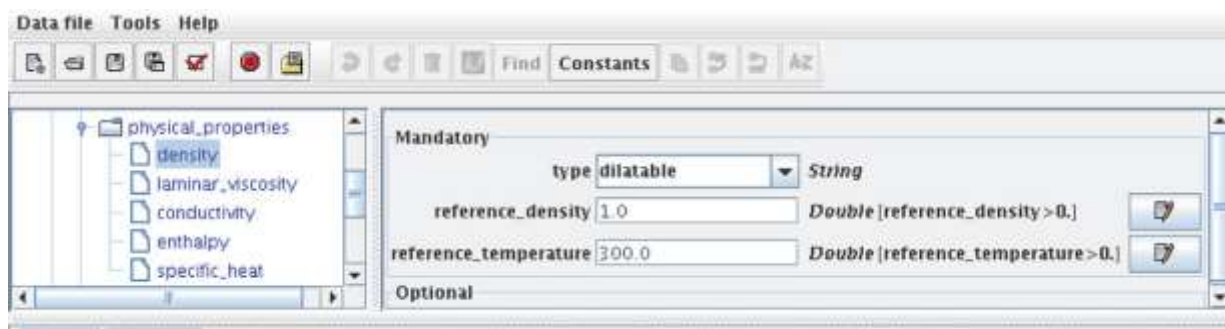


Рис. 3.12. Плотность: $\rho T = \text{постоянная}$

3.6.26. Другие законы определяются таким же образом:

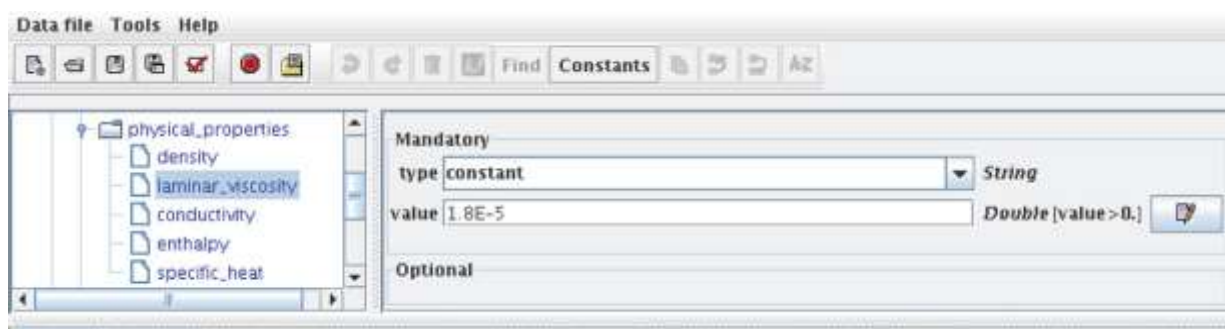


Рис. 3.13. Постоянная ламинарная вязкость

3.6.27. Определение силы тяжести

3.6.28. 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.

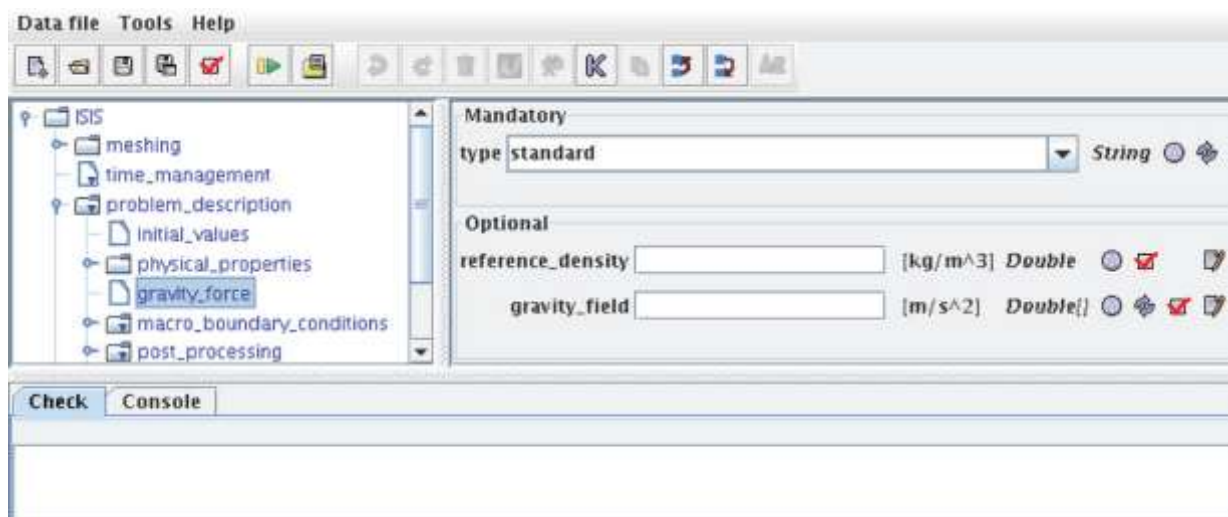


Рис. 3.14. Сила тяжести $(\rho - \rho_0)g$

3.6.29. Определение граничных условий

3.6.30. 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 (каж-

дая часть границы получает лейбл "Цвет "). Различные цвета, определенные в ячеи должна быть сгруппированы в "макро-цвета", для которых граничные условия применяются.

3.6.31. 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".

3.6.32. 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".

3.6.33. 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 $\text{in_box}(\text{PELIKANS}(\$ DV_X, < x0 \ y0 \ z0 >, < x1 \ y1 \ z1 >))$ используется, которая возвращает истину, если

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

3.6.34. 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)))
```

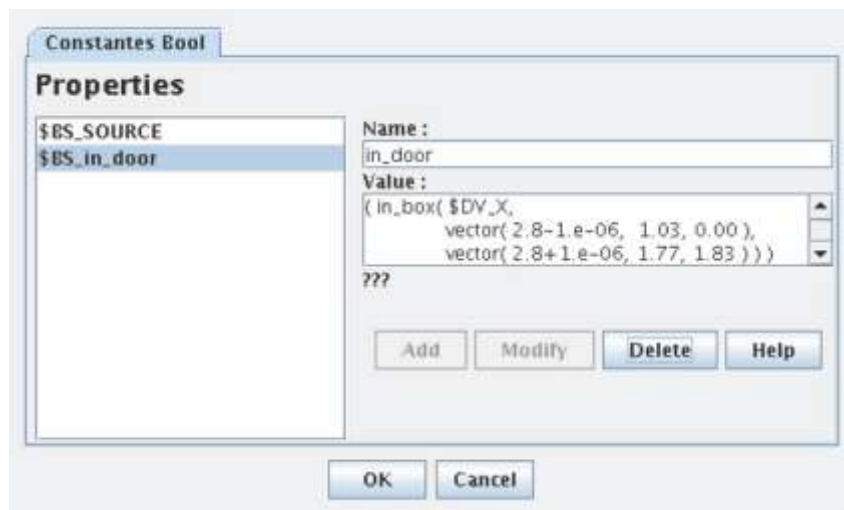


Рис. 3.15. Определение переменной Булеана "in_door"

3.6.35. 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.

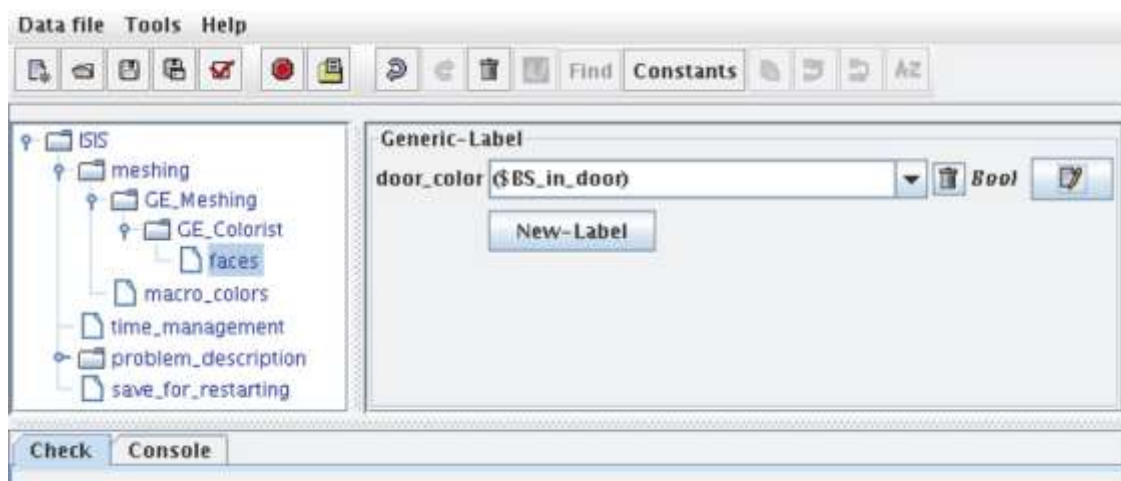


Рис. 3.16. Определение "door_color"

3.6.36. Последним шагом является определение двух соответствующих макро-цветов:

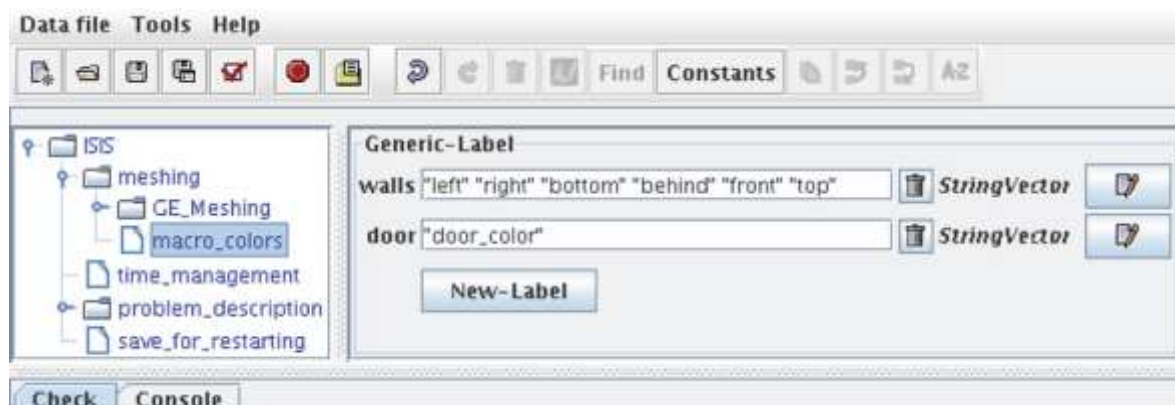


Рис. 3.17. Определение макро-цветов

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

3.6.37. 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", l_m , заход в 0001 м в этом примере.

3.6.38. Модель турбулентности

3.6.39. В разделе "турбулентности", стандартная модель К- 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).

3.6.40. Для получения более подробной информации об этих двух параметров, см. ссылку [3.9.15].

3.6.41. Различные константы модели к- ϵ имеют значения по умолчанию. Эти значения могут быть изменены, открыв дополнительный раздел "problem_description / турбулентности / параметры" (правой кнопкой мыши "problem_description / турбулентности").

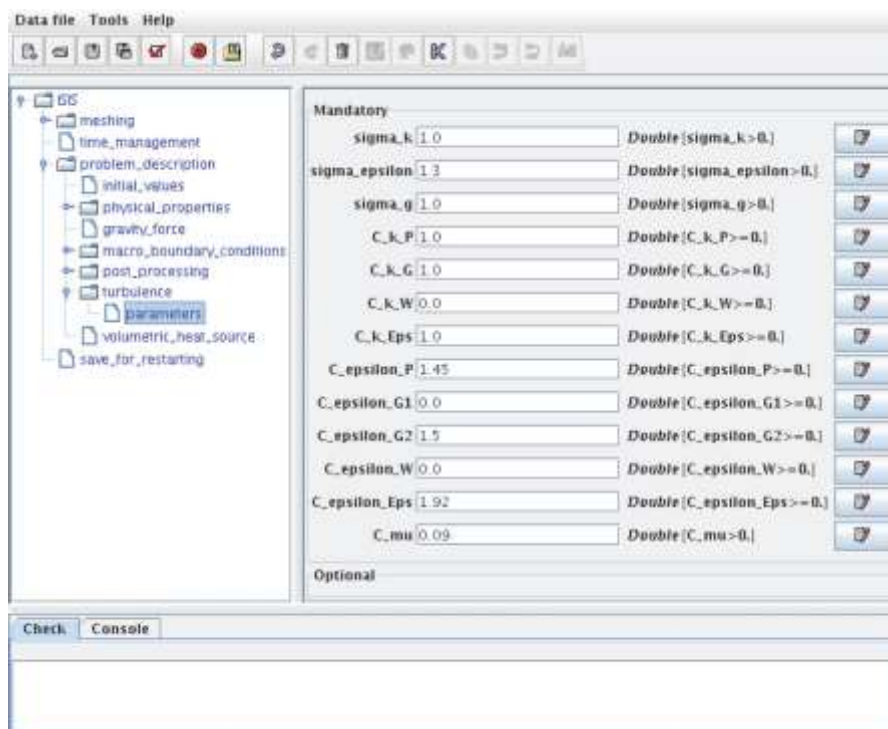


Рис. 3.18. Постоянные для модели k-ε

3.6.42. Моделирование пожара: объемный источник тепла

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

3.6.44. 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)))
```

3.6.45. Выражение выше возвращает истину, если все следующие свойства одновременно проверяются:

- 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.

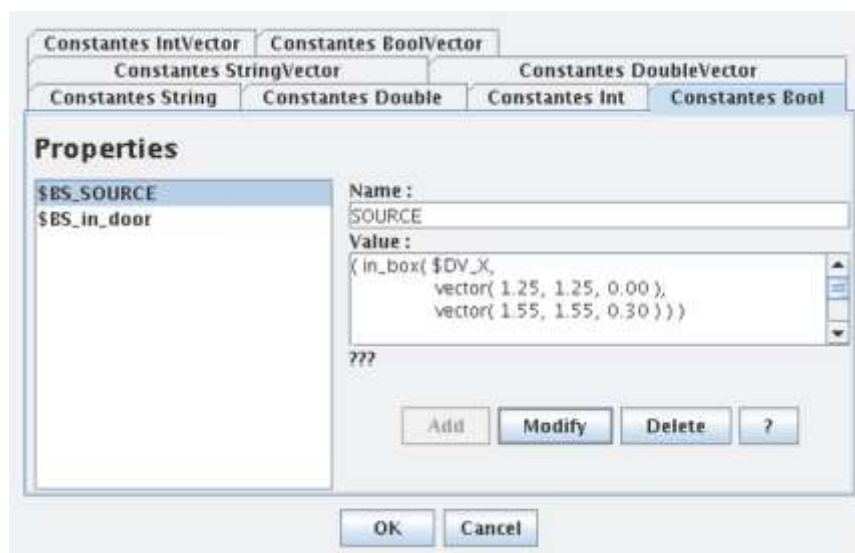


Рис. 3.19. Определение переменной Булеана «SOURCE»

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

$((\$BS_SOURCE \neq 2.3E6 : 0.))$

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

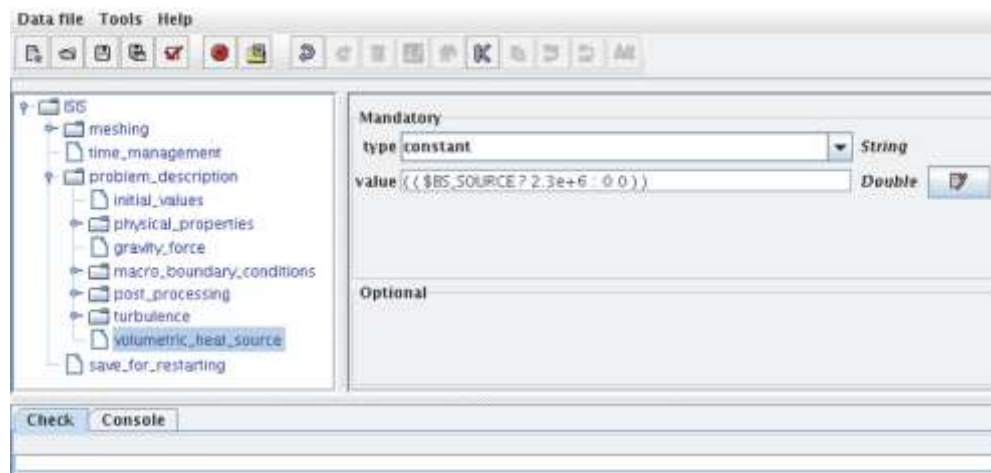


Рис. 3.20. Определение объемного источника тепла

3.6.48. Запуск расчета

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

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

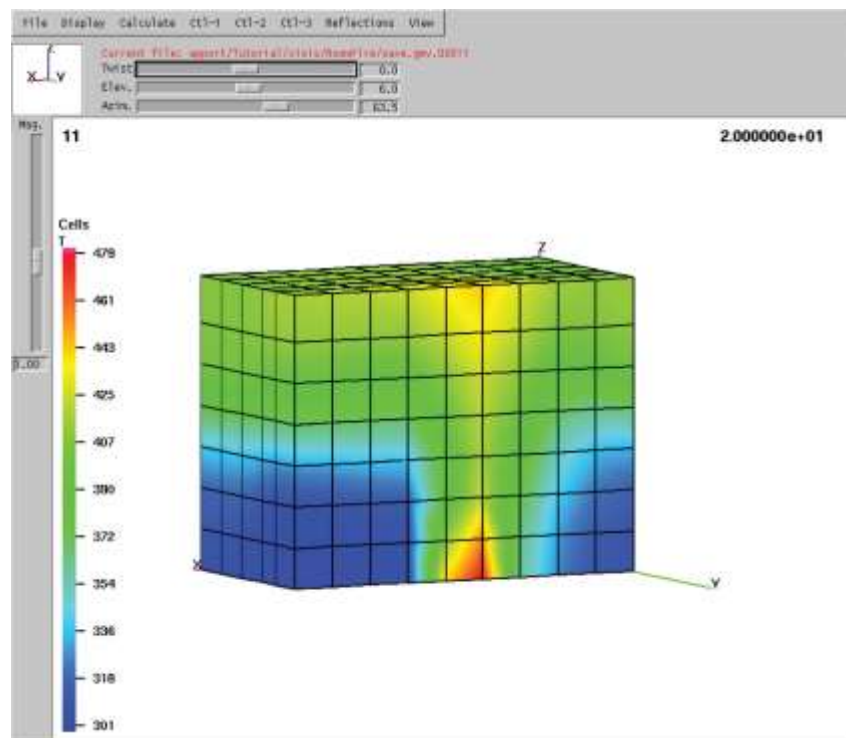


Рис. 3.21. Профиль температуры, $y = 1,4$

3.6.51. 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).

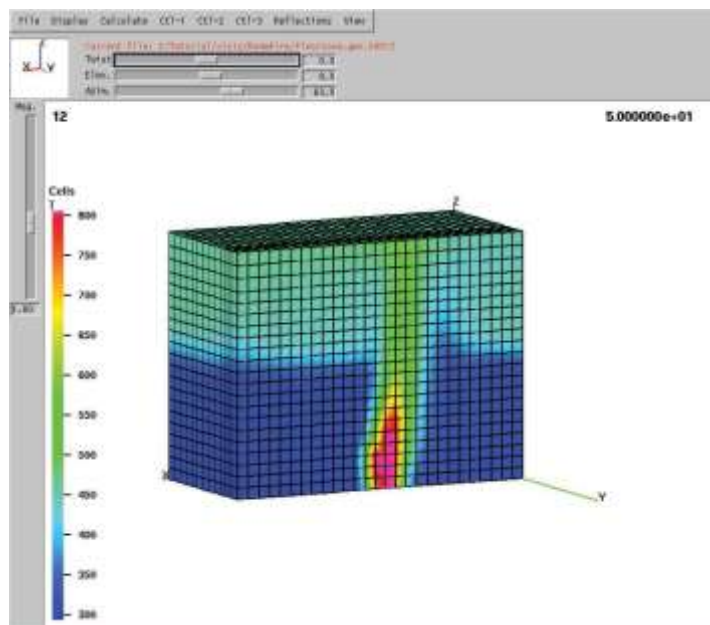


Рис. 3.22. Профиль температуры, обновленная сетка, $y = 1,4$

3.7. Библиография

- 3.7.1. ISIS 2.0.0 Validation guide. IRSN Technical Report, 2010. <https://gforge.irsn.fr/gf/project/isis/>
- 3.7.2. ISIS 2.0.0., Physical Modelling. IRSN Technical Report, 2010.
- 3.7.3. ISIS 2.0.0. Tutorial. IRSN Technical Report, 2010
- 3.7.4. Resolution in ISIS of the Radiative Transfer Equation using the Finite Volume Method. IRSN Technical Report, 2010.
- 3.7.5. 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)
- 3.7.6. 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
- 3.7.7. 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
- 3.7.8. 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
- 3.7.9. Validation process of ISIS CFD software for fire simulation, C. Lapuerta, S. Suard, F. Babik, L. Rigollet. Nucl. Eng. Des. 2012, 253 pp. 367–373
- 3.7.10. 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
- 3.7.11. 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)
- 3.7.12. 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. 2013, 63 (12) pp. 879–905
- 3.7.13. Steckler K.D., Quintiere J.G., Rinkinen W.J. “Flow induced by fire in a compartment”, NBSIR 82-2520. National Bureau of Standards, 1982
- 3.7.14. 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
- 3.7.15. 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.

4. ПРИМЕР МОДЕЛИ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИИ

4.1. Область применения

- 4.1.1. Пример в настоящем разделе описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1, для метода расчета огнестойкости составной конструкции
- 4.1.2. Основной целью конкретной описываемой в документе компьютерной модели является расчет огнестойкости составной системы, состоящей из деревянных прогонов и обшивки из гипсовых листов..

4.2. Общие сведения о модели конструкции

- 4.2.1. Представлена аналитическая модель для прогнозирования огнестойкости конструкции, состоящей из защищенными гипсом деревянными прогонами. Модель передача тепла предсказывает профиль температуры внутри деревянного прогона с учетом изоляции. Статическая модель, основанная на упругие потери устойчивости под нагрузкой, использует температурный график для расчета величины смещения деревянного прогона и время разрушения конструкции в целом.

4.3. Описание метода расчета

4.3.1. 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: 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 кодов, основанных на показателях, так как эти методы будут способствовать более быстрый процесс проектирования.

4.3.2. Теория

Описание базового концептуальной модели (руководящий явления), если это применимо	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, материальные свойства древесины перекрытия, и температура, к которой сборка подвергается. 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 стекловолоконном 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 теп-
---	---

	лопередачи рассчитывает поток горячих газов через отверстие в полость шпильки на основе усадки гипсокартона и открытия суставов, а также продвижение полукокса слоя в поперечном сечении шпильки с время. 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.
Описание теоретических основ явлений и физических законов, на которых Метод расчета основан, если это применимо	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 ° С до 300 ° С. Это приводит к тому шпильки, чтобы отвлечь от огня. Прогиб шпильки и гипсокартон постепенно увеличивается, что приводит к открытию соединениях 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 шпильки 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 уменьшаться (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. 4.1.
	 <i>Рис. 4.1. Поведение и неспособность режима сборки стены деревянной опреле</i>

4.3.3. Применение теории

Основные уравнения

Передача тепла через гипсокартон и древесины шпильки, описывается с помощью энтальпии формулировку, регулируется по следующему уравнению:

$$\rho \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$$

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.

Критическая упругой потери устойчивости нагрузки, предполагая оба конца шпильки возлагаются, определяется по формуле:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$$

где

P_{cr} – является упругой потери устойчивость-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 тепло-передачи обеспечивает оценку оставшегося поперечного сечения стойки. Для модуля упругости, изменение с температурой получается из литературы.

Жесткость (продукт модуля упругости и момента инерции), для каждой стойки в стене и на основе сетки шпильку, рассчитывается следующим образом:

$$EI = \sum_i^m E_i \frac{b_i D_i^3}{12} + \sum_i^m (b_i D_i) (Y - y_i)^2 E_i \quad (3)$$

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).

Дифференциальное уравнение дает отклонение можно записать следующим образом:

$$EI y'''' + Py'' = 0 \quad (4)$$

где

y – плоскость отклонения (мм);

EI – является шпилька жесткость (Н-мм²), и

P прилагаемая нагрузка (Н).

Основные уравнения

Прогиб, y , на любой высоте x на шпильке в любое время, как:

$$y(x) = \frac{M_0 L^2}{8EI} \left[\frac{2 \cos\left(\Psi - \frac{2\Psi}{L} x\right) - \cos(\Psi)}{\Psi^2 \cos(\Psi)} \right] \quad (5)$$

$$\text{при } \Psi = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{P}{P_{cr}}} \text{ and } M_0 = P(e_c - e_p)$$

где

L – представляет собой длину шпильки (мм);

e_c – эксцентриситет центра тяжести сопротивляющейся пользователя (мм), и

e_p – приложенная нагрузка эксцентриситет (мм).

Основные уравнения

В дополнение к отклонению в связи с загрузкой эксцентриситет поверхности древесины влияет на отклонение шипа. В общем, эксцентриситет может быть выражена с синусоидальным уравнением:

$$y_e = e^* \sin\left(\frac{\pi x}{L}\right) \quad (6)$$

где

y_e – величина отклонения из-за эксцентриситета;

e максимальный эксцентриситет;

x это положение вдоль штифта, и

L представляет собой длину стойки.

Это значение может быть добавлен к эксцентриситета за счет нагрузки, чтобы получить общее отклонение как:

$$\Delta = y(x) + y_e \quad (7)$$

Математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы используются, со ссылками на них	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.
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику, с учетом ограничений на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	Модель основана на одном анализа стад и провал анализируемого шпильки означает провал стене. Модель теплопередачи не включает эффект движения влаги. 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 зависимость 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.

4.3.4. Входные данные

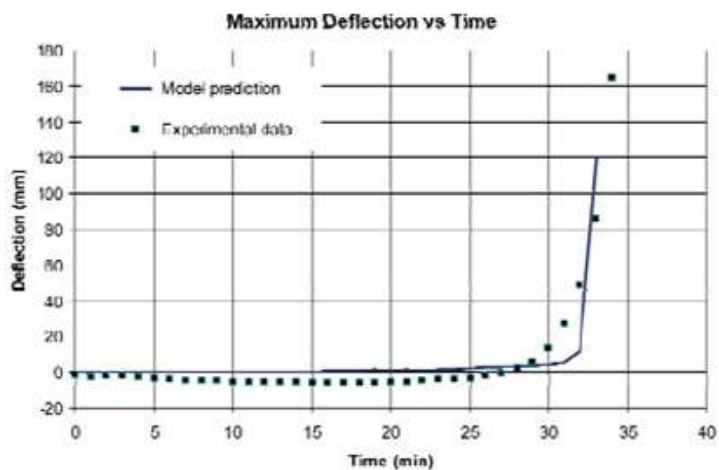
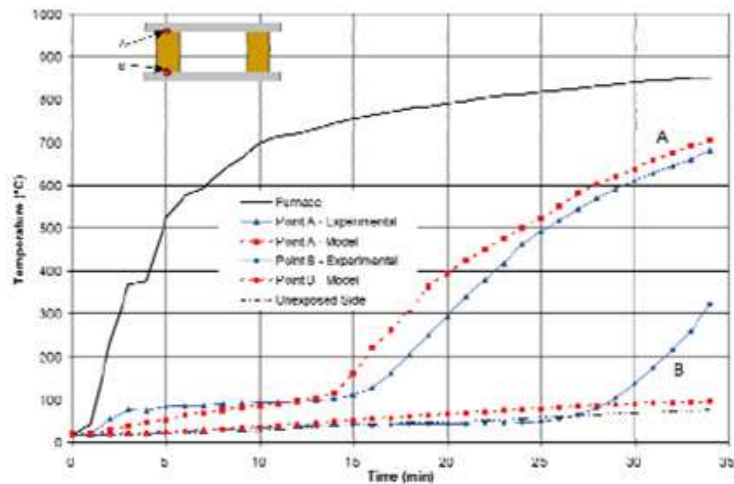
Описание необходимых входных данных	Входные данные сделано, хотя интерфейс графического пользовательского (см. руководство пользователя для более подробной информации): • тип древесных пород; • геометрия шпильки (сечение и длина); • обугливание температуры; • нагрузка, приложенная и количество шипов; • 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.

4.4. Полное описание оценки (верификации и валидации) метода расчета

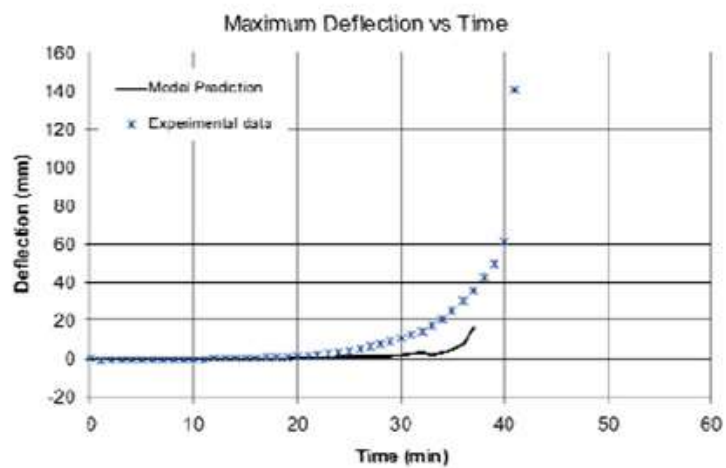
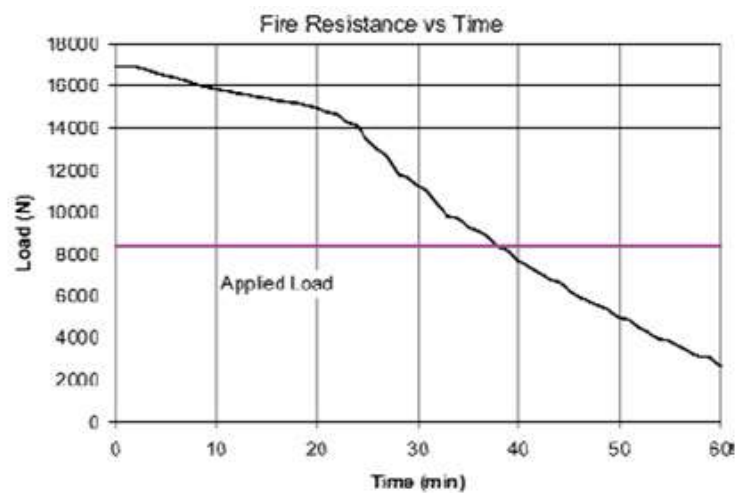
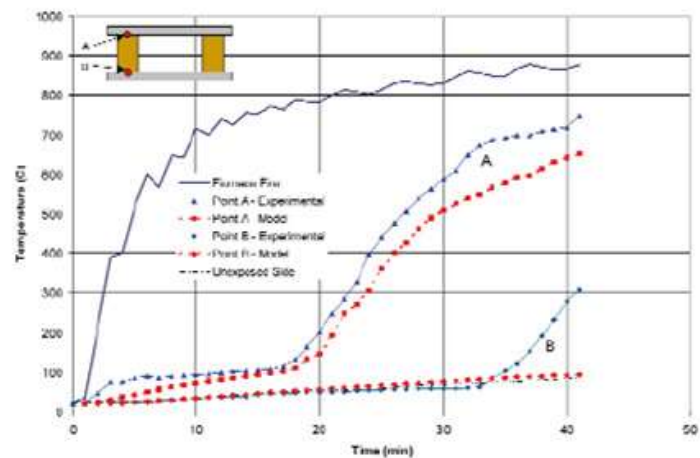
Результаты любых усилий по оценке прогнозных возможностей метода расчета в соответствии с ISO 16730-1

Для того чтобы проверить правильность модели, необходимо сравнить предсказания с экспериментальными данными. Испытания были использованы для оценки предсказания по модели огнестойкости. Сборки содержит 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 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.)	См. библиографические ссылки [4.6.1] в [4.8.5].
Степень, в которой метод расчета соответствует требованиям ISO 16730-1	Процесс верификации и валидации для данной модели соответствует требованиям ISO 16730-1.

4.5. Пример с решением

- 4.5.1. [4] Bénichou N., & Morgan D. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies — Theory Manual, Research Report, Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, (128), pp. 10, April 01, 2003

4.6. Руководство пользователя

- 4.6.1. [5] 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

4.7. Библиография

- 4.7.1. [1] 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
- 4.7.2. [2] Bénichou N., Sultan M.A., K Odur V.R. Fire resistance performance of lightweight framed wall assemblies: effects of various parameters, key design considerations and numerical modelling, Fire and Materials 2003, 8th International Conference (San Francisco, CA., USA. January 27, 2003), pp. 9–20, January 01, 2003
- 4.7.3. [3] Bénichou N., Takeda H., Sultan M.A., Mehaffey J.R. Modelling the fire resistance of loadbearing wood-stud wall assemblies, 4th International Scientific Conference on Wood and Fire Safety (Svolen, Slovakia, May 14, 2000), pp. 33–43, May 14, 2000

5. ПРИМЕР МОДЕЛИ ЭВАКУАЦИИ

5.1. Область применения

- 5.1.1. Пример в этой части описывает применение процедур, приведенных в ISO 16730-1 для эвакуации модели (EXIT89).
- 5.1.2. Основная цель конкретной модели обработанной в этой части является моделирование эвакуации высотного здания с большой численностью населения.

5.2. Общая информация по рассматриваемой модели эвакуации

5.2.1. 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.

5.3. Описание метода расчета

5.3.1. Цель

Определение решаемой задачи или выполняемой функции	— 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. Модель эвакуации была разработана с целью: — 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. Другие особенности позволяют моделировать движение как вверх, так и вниз по лестнице, а также воздействие встречных потоков.
(Качественное) описание результатов расчетного метода	— Выходные данные включают — общее время эвакуации, — время освобождения этажей, — время освобождения лестничных клеток, — использование выходов, и — подробную информацию о местоположении каждого человека в течение времени.

Заявления обоснования и технико-экономические исследования	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 будет 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 позволяющая 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 tenability 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.
--	---

5.3.2. Теория

Базовая концептуальная модель (руководящий принцип)	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, двигающихся по горизонтальным путям, а так же 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.
Теоретические основы явлений и законов физики, на которых базируется метод расчета	— 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.

5.3.3. Реализация теории

Управляющие формулы	Вычисления Скорость перемещения плотность потока людей, D, составляет: $D = Nf/wL \text{ (m}^2/\text{m}^2\text{)}$ где N – число людей в потоке; f – площадь горизонтальной проекции человека; W – ширина потока; L – длина потока. Скорость движения по горизонтальной траектории, V, составляет: $V = 112D^4 - 380D^3 + 434D^2 - 217D + 57 \text{ (м/мин)}$ Для движения вниз по лестнице: $V \downarrow = Vm \downarrow \text{ (м/мин)}$ где $m \downarrow = 0,775 + 0,44 e^{-0,39D \downarrow} \bullet \sin(5,61D \downarrow - 0,224)$ Для движения вверх по лестнице: $V \uparrow = Vm \uparrow \text{ (м/мин)}$ 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.
Используемые математические методы, процедуры и вычислительные алгоритмы со ссылками	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.
Идентификация каждого предположения, встроенные в логику; ограничения на входных параметров, которые вызваны в области применимости метода расчета	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, [5.9.1]). Многие из этих времен задержки, как сообщается из наблюдений на учениях, а не фактические чрезвычайные ситуации пожаров.
Обсуждение точности результатов, полученных важными алгоритмами, и, в случае с компьютерными моделями, любой зависимости от конкретных возможностей компьютера.	Расстояния пути рассчитываются путем разделения площади этажа в здании на определенные узлы, а затем определения путей от узла к узлу. Размер узлов влияет туристические пути. Большие узлы привести к уменьшению, дольше, но менее точными путей поездки. Меньшие узлы позволят выполнять более четкие контуры, но есть ограничение на количество узлов, которые могут быть определены для каждого этажа. Движение от узла к узлу рассчитывается с заданным временных интервалов. Размер временного шага влияет на точность движения. Значение по умолчанию 5 с. <u>Примечание:</u> в модели используется генератор случайных чисел в Visual Fortran v6.5. Из электронной документации: «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 семени, первый из которых сводится к диапазон [1, 2147483562]. Второе семя снижается до диапазона [1, 2147483398]. Это означает, что генератор эффективно использует два 31-разрядных семени».[5.9.21] Для получения дополнительной информации об алгоритма, см. следующее: — <i>Коммуникаций ACM часть 31 Число 6 июня 1988, под названием: Эффективные и портативные комбинированные генераторы случайных чисел Пьер Лекуер.</i> 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.

Описание результатов анализа чувствительности	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. <u>Примечание 1:</u> время пути действительно только в бездымной среде. <u>Примечание 2:</u> багаж осуществляется и товары вышли на маршрут может влиять прогностическую правильность вычисленных результатов с учетом их применимости к реальным эвакуации. 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, 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.
---	--

5.3.4. Входные данные

Требуемые параметры	— 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. Встречные потоки могут быть смоделированы, но пользователь выбирает пораженные узлы и время они подвергаются воздействию. Кратчайший алгоритм маршрута адаптирован из ссылки [5.9.16] может быть выбором пользователя.
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

5.4. 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	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. Четыре примера упражнений валидации
---	---

Ссылки на обзоры, аналитические тесты, тесты сравнения, экспериментальной проверки, и проверки кода уже выполняются. 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.)	Ссылка[5.9.2] Ссылка [5.9.3] (избранные публикации) Ссылка [5.9.4] Ссылка [5.9.5]
Степень, в которой метод расчета соответствует ISO 16730-1	Процесс верификации и валидации для данной конкретной модели соответствует требованиям ISO 16730-1. <u>Комментарий:</u> ISO 16730-1 дает хорошую основу для изложения особенностей и характеристик модели; однако, — процесс проще представить себе в способе на основе формулы и — разработка модели в поле с скудной данных усложняет процесс верификации и валидации. Данная таблица 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.

5.5. Пример с решением

5.5.1. Обзор

5.5.2. 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 противопоказаны 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, направился прямо к выходу, что сливается для области встречи (вне одном из верхних уровней), даже если это требует от них, чтобы подняться по лестнице, чтобы достичь этого уровня, или игнорировать более тесные выходы, которые требуют что они подняться на холм или использовать вне лестницы, чтобы достичь точки сборки. Заторы привело 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 противопоказаны потока и новая опция для моделирования движения вверх по лестнице были использованы для имитации выбора путь 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 распределения выхода использования.

5.5.3. Общие положения

5.5.4. 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.

5.5.5. Встречные потоки

5.5.6. 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. [5.9.6] [5.9.7] [5.9.8] Опция встречных потоков позволяет пользователю учитывать это.

5.5.7. 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. Противопоказания потоки иметь эффект сужения доступное пространство этажа для пассажиров, тем самым увеличивая плотность толпы в этом пространстве и уменьшением скорости путешествия количество человек там.

5.5.8. Эффект противопоказаний потоков обрабатывается способом, аналогичным обращению с указанной пользователем дыма завалы. Пользователь может определить, на основе предсказаний ответ пожарной службы и происшествия 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 степень ограничения и времени возникновения для этих узлов. Если узлы позже открыть снова, тот же метод используется для возвращения узлы до их первоначального размера.

5.5.9. 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.

5.5.10. Во-первых, беспорядок может накапливаться в лестницах в то время как оккупанты эвакуации. Согласно эвакуированных в инциденте Всемирного торгового центра, в ответ на вопрос о препятствий, с которыми сталкиваются во время побега, "Люди разбросаны ничего мусора как армия в отступлении". [5.9.9] Опция противопоказаны поток позволяет пользователю указать, в какой степени лестница сжимается путем ввода процент пространство в узле, который остается для эвакуированных.

5.5.11. 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.

5.5.12. 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 эффективным 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 важный вклад в способность модели для имитации реалистичных препятствия, которые могут развиваться в течение эвакуация.

5.5.13. Подъем по лестничным клеткам

5.5.14. 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 эта-

жа 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.

5.5.15. Были сделаны следующие упрощающие предположения:

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

5.5.15.2. для зданий с уровней 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 путешествуя. 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);

5.5.15.3. 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 противопоставлены обратился выше, ограничивая путь путешествиях каждой группы в соответствующих точках во времени.

5.5.16. 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 пользователи указывают на входе для моделирования, что направление движения по лестнице является вверх. Скорость передвижения были рассчитаны по формулам скорости от Предтеченский и Миллинский, которые предоставляют формулы для поездок как вверх, так и вниз по лестнице, а также при нормальных и аварийных условиях. [5.9.10] 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.

5.5.17. Кроме того, этой особенности 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.

5.5.18. Пример валидации

5.5.19. 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 семиэтажного, где некоторые люди поднимались по лестничным клеткам, чтобы добраться до выходов.

5.5.20. Проект испытания

5.5.21. Данная учебная эвакуация была проведена в семиэтажном офисном здании в Ньюкасл-на-Тайне пожарной бригадой Тайн и Уир при сотрудничестве управления зданием.[5.9.11] Она предоставляет возможность валидации использования перемещения вверх и возможности встречных потоков в модели.

5.5.22. 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.

5.5.23. Во время учебной эвакуации, персонал пожарной бригады подсчитывал и фиксировал время выхода людей с использованием различных выходов и отслеживал людей после, чтобы выявить, 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.

5.5.24. 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.

5.5.25. Результаты учебной эвакуации

5.5.26. Согласно отчету по учебной эвакуации,[5.9.11] в результате была получена интересная и неожиданная закономерность движения. Во время эвакуации очень немногие люди 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 требовали, 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.

5.5.27. Данные из этой эвакуации упражнений дали возможность проверки двух новейших черт модели: путешествовать по лестнице и возможность противоречия потока. Использование первого варианта является достаточно очевидным. Люди, которые спускаются вниз по лестнице к выходам, были смоделированы с помощью скорости проезде по умолчанию для движения вниз по лестнице. Люди, которые поднимаются на более высокие уровни к выходам были смоделированы с помощью новой функции. Там может быть ситуация, когда человек, путешествующий вниз по лестнице в здании никогда не может столкнуться с людьми, путешествующими вверх на том же уровне, чтобы достичь снаружи. В этой 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 противопоставлены поток был использован.

5.5.28. 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.[5.9.12]

5.5.29. Попытка моделирования

5.5.30. 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. 5.1. Отчет пожарной команды по эвакуации показал местоположение опроса респондентов и при условии оценки количества жильцов на каждом уровне.[5.9.12] Эта информация, вместе с деталями использования лестницы и шаблонов путешествовать по уровням, был использован для распространения смоделированных пассажиров на каждом уровне.

5.5.31. Модель рассчитывает скорости движения, основанные на плотности оккупированных пространств. Для того чтобы вычислить плотность, есть варианты для " размера тела ", которые предоставляют пользователю некоторый выбор 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 пространствах, 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.

5.5.32. 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 задерживаются 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.

- 5.5.33. Для иллюстрации воздействия различных вариантов на модель были проведены следующие два сценария эвакуации:
- 5.5.33.1. Кратчайший вариант маршрута, где модель вычисляет ближайший выход для каждого занятого местоположения, и
- 5.5.33.2. Полное моделирование с использованием подъемов по лестнице и встречных потоков, где пути движения были определены из отчета по учебной эвакуации.
- 5.5.34. Первый вариант обеспечивает основу для времени эвакуации что можно было бы ожидать, если пассажиры используется ближайший выход, хотя это часто не целесообразно предположить, что будет происходить, что поведение.[5.9.13] Сеть была определена как показано на плане этажа в образец был выбран рис. 5.1 и кратчайший вариант маршрута.
- 5.5.35. 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.
- 5.5.36. 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 части эвакуации учений был он сообщил, что пассажиры были одновременно путешествия вверх и вниз по лестнице между двух уровнях). Выходные файлы из этих двух опытов затем проверяется, чтобы найти время, когда пассажиры, путешествующие вверх достигнутые места, занятые пассажиров, путешествующих вниз или горизонтально.
- 5.5.37. 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.
- 5.5.38. Процесс получения этих времен можно лучше понять, просмотрев подробные данные в таблице 5.1.
- 5.5.39. 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 5.2, который показывает наблюдений, изложенных для фактического эвакуации.

5.5.40. Результаты моделирования

- 5.5.41. В таблице 5.2 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.
- 5.5.42. 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 5.1 – 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 противоположных 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, спускавшимися 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 противоположных 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 противопоставления воздействие, 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 5.2 — 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

5.5.43. 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 использование выходов ближе к наблюдаемому использованию, чем пример использования кратчайшего маршрута, который только что обсуждался.

5.5.44. Результаты этого моделирования хорошо сопоставляются с фактической учебной эвакуацией, хотя общее время эвакуации недооцененно 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.

5.5.45. Выводы

5.5.46. 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 предсказания 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.

5.5.47. 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 заторов 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.

5.5.48. Дальнейшие прогнозы изменения в результатах эвакуации, что можно было бы ожидать с лучше подготовленным и руководил пассажиров населения представлены в таблице 5.2, где результаты моделирования с использованием кратчайший вариант маршрута можно сравнить с наблюдениями для того же высокого высотное здание.

5.5.49. Эвакуации универмага,[5.9.14] смоделированная в другой статье,[5.9.15] 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.

5.5.50. 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.

5.5.51. В данном приложении представлено лишь одно из эвакуационных упражнений, используемых для демонстрации возможностей модели.[5.9.15] 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 упражнениях, 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.

5.6. Руководство пользователя

5.6.1. Описание программы

- 5.6.2. 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 пространствами, 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 маршрутах через здание. Она движется людей по рассчитанным 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.
- 5.6.3. Движение может начаться одновременно для всех эвакуирующихся или может быть отложена, с задержками, установленных для каждого узла. Дополнительные задержки могут быть рандомизированы на эвакуирующихся 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 здании. 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 Alvord в Национальном институте стандартов и технологии строительства и научно-исследовательской лаборатории от огня. PC-версия имеет возможность читать в CFAST генерируемые данных дыма.

5.7. Техническое руководство

5.7.1. Характеристики и допущения модели

- 5.7.2. 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:
- 5.7.2.1. чтобы иметь возможность обрабатывать большое количество населения,
 - 5.7.2.2. чтобы иметь возможность пересчитать пути выхода после, того как помещения или узлы становятся заблокированными задымлением,
 - 5.7.2.3. для отслеживания отдельных людей при движении через здание, регистрируя местоположение каждого человека в заданные промежутки времени во время пожара, и
 - 5.7.2.4. 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.
- 5.7.3. 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.
- 5.7.4. 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.
- 5.7.5. 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.
- 5.7.6. 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.

- 5.7.7. Модель не явно включает поведенческие соображения, которые включены в некоторых других моделях 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 отразить 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. [5.8.30] описывает процесс, чтобы следовать, чтобы использовать эту опцию.
- 5.7.8. Скорость ходьбы в модели рассчитывается как функция плотности. Как это обрабатывается обсуждается в [5.8.32]. Пассажиры с ограниченными физическими возможностями моделируются, установив их скорость ходьбы, как указанный пользователем процентах от модели-рассчитывается "нормальной" Скорость ходьбы.
- 5.7.9. 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.
- 5.7.10. 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.
- 5.7.11. 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.
- 5.7.12. 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 лестниц и в последний раз был использован каждый выход и сколько люди использовали каждый выход.

5.7.13. Расчеты кратчайших маршрутов

- 5.7.14. 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.
- 5.7.15. 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 [5.9.16], как самый короткий и простой из тех, кого они отзывы. Алгоритм начинается с определения происхождения сети, а затем болевщиков из начала координат, определения кратчайших маршрутов для всех других узлов, пока назначения не будет достигнута.

- 5.7.16. 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 узла для каждого лестницы узла, как тот, под ним.
- 5.7.17. Кратчайший путь подпрограмма начинается с определения всех значений IE на этаже здания. Эти узлы расположены в списке *решенных узлов*.
- 5.7.18. Этап 1 Определите все нерешенные узлы, подключенные к решенным узлам.
- 5.7.19. 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.
- 5.7.20. 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.
- 5.7.21. Вернуться к этапу 1, пока все узлы не будут решены.
- 5.7.22. Это повторяется для каждого этажа.
- 5.7.23. 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.
- 5.7.24. 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 снаружи, и поэтому они принимают решения на основе информации, не доступной с реальным человеком.
- 5.7.25. 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 маршрут 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.
- 5.7.26. **Добавление дополнительного времени задержки**
- 5.7.27. 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 логнормальным распределения показаны в [5.8.13].

5.7.28. Расчет скорости движения

- 5.7.29. Выбор метода для модели использует скорость ходьбы, рассчитанные в зависимости от плотности на основе формул из [5.9.17]. 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:

5.7.30.

$$D = Nf/wL \text{ (m}^2/\text{m}^2\text{)} \quad (D.1)$$

где

N – количество людей в потоке;

f – площадь горизонтальной проекции человека;

w – ширина потока;

L – длина потока.

5.7.31. 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:

5.7.32.

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

при $0 < D \leq 0,92$

5.7.33. При спуске по лестничной клетке:

5.7.34.

$$V_{\downarrow} = Vm_{\downarrow} \text{ (м/мин)} \quad (D.3)$$

где

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

5.7.35. При подъеме по лестничной клетке:

5.7.36.

$$V_{\uparrow} = Vm_{\uparrow} \text{ (м/мин)} \quad (D.4)$$

где

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

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

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

5.7.38.

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

где

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

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

$$\mu_e = 1,26 \quad \text{при подъеме по лестничной клетке}.$$

5.7.39.

5.7.40. 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.

5.7.41. Площадь горизонтальной проекции человека оценивается по советским данным являются 1,217 3 фут² (0,113 0 м²), средние размеры взрослого в середине сезона уличного платье. Пользователь может выбрать другие значения из измерений австрийских и американских подданных. (См. [5.8.47] Подробную информацию о данных размера тела). 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.

5.7.42. 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.

5.7.43. Данные размера тела

5.7.44. В труде Предтеченского и Милинского использованы размеры тела, рассчитанные на основе измерений советских подданных. Последующая работа, ссылка [5.9.18], с помощью австрийских подданных обнаружили значительные различия в результатах. Значение 0,113 0 м², 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 2 м² и без пальто было 0,145 8 м². Значение для взрослых старше 30 лет без пальто было 0,174 0 м².

5.7.45. 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 м для мужчин, 0,417 м для женщин) и глубины грудной клетки (0,231 м для мужчин, 0,234 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 м между каждой категории одежды. Исходя из этого, то, что американские ценности для плеча широте и глубине груди были увеличены на 0,02 м. Для получения одного "американский" значение для горизонтальной проекции человека, средние значения для мужчин и женщин были усреднены. Полученное значение было 0,090 6 м², 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.

5.7.46. Уровни дыма

5.7.47. 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[5.9.19] расчета психологическое воздействие дыма, S , формула (D.6) используется:

5.7.48.

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

5.7.48.1. где

5.7.48.2. OD – оптическая плотность дыма в верхнем слое;

5.7.48.3. D – глубина верхнего слоя;

5.7.48.4. H – высота потолка.

5.7.48.5.

5.7.49. 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.

5.7.50. Сигналы тревоги дыма работает, когда $S \geq 0,015$ и глубина верхнего слоя больше, чем 0,5 фута (0,15 м). Модель в настоящее время предполагается, что уведомление о всех пассажиров происходит, когда уровни, необходимые для активации пожарной 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.

5.7.51. Встречные потоки

5.7.52. 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 наверх по лестничным клеткам, в то время как пассажиры покидают здание. В этих случаях важно, чтобы модель учитывала подобные встречные потоки.

5.7.53. 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 узлов 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 %.

5.7.54. 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 узлов).

5.7.55. Перемещение людей

5.7.56. 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.

5.7.57. 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 времен дуга обхода. Если есть еще пассажиры в здании, модель пересчитывает время, чтобы пересечь дуги на основе обновленных плотности в узлах.

5.7.58. 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.

5.7.59. 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.

5.7.60. Разработка входных данных

5.7.61. Процесс преобразования информации о здании и его жильцах в входного файла программа может читать описан в данном подпункте. Входной формат файла описан в 5.8.115. Список переменных программы можно найти в 5.8.128. Выход дым от CFAST, если он используется, записывается в файл, который читается в рамках модели.

5.7.62. 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.

5.7.63. На следующих трех линиях, 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.

5.7.64. Сеть здания

5.7.65. В следующем разделе входного потока имеет сетевой описание компоновки здания. Строительством 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.

5.7.66. 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.

5.7.67. 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.

5.7.68. 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.

5.7.69. 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.

5.7.70. 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 жильца 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).

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

5.7.72. Процедура вычисления этих расстояний состоит в следующем.

5.7.72.1. Узлы расположены в пространствах, которые они представляют.

5.7.72.2. 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.

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

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

5.7.74. Для вычисления длины наклонной траектории, L ,

5.7.75.

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

где

L' – горизонтальная проекция длины наклонной траектории;

α – угол наклона к горизонту.

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

5.7.77. При двухпролетных лестничных клетках:

5.7.78.

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

где

b – длина лестничной площадки (ширина пути).

5.7.79. При трех-пролетных лестницах,

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

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

5.7.81. 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.

5.7.82. 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.

5.7.83. Описание ссылки вводится следующим образом:

5.7.83.1. INODE – узел исходящего направления;

5.7.83.2. XLNGS1 – расстояние от первого узла до центра отверстия;

5.7.83.3. RESWTH – ширина отверстия;

5.7.83.4. XLNGS2 – расстояние от центра отверстия во второй узел;

5.7.83.5. JNODE – узел входящего направления.

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

5.7.85. Описание узлов

5.7.86. 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.

5.7.87. 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:

5.7.87.1. N – узел описывается;

5.7.87.2. NAREA – полезная площадь в этом узле;

5.7.87.3. H – высота потолка в этом узле;

- 5.7.87.4. NCAP – способность узла;
- 5.7.87.5. NOCC – количество людей, там изначально;
- 5.7.87.6. HD – число людей с ограниченными возможностями;
- 5.7.87.7. IE – флаг;
- 5.7.87.8. EVACTM – время, которое жители этого узла приведет к задержке перед началом эвакуации;
- 5.7.87.9. ITO – узел вдоль направленного пути, что пассажиры будут двигаться к (опционально).

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

5.7.89. 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.

5.7.90. Введение блокирований узлов пользователем

5.7.91. 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.

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

5.7.93. Использование данных задымления из CFAST

5.7.94. 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 отсек, это не должно быть проблемой.

5.7.95. 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, как описано в [5.8.47].

5.7.96. Введение воздействий встречных потоков

5.7.97. 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.

5.7.98. 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.

5.7.99. Логический поток модели

5.7.100. В этом подразделе кратко описываются логика модели. Программа начинается с печати некоторой идентифицирующей информации, отображая параметры, выбранные пользователем и

данными вероятностных, если таковые имеются, которые будут использоваться для расчета случайных времени задержки для пассажиров.

- 5.7.101. 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.
- 5.7.102. 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.
- 5.7.103. 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.
- 5.7.104. 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 дюйма 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.
- 5.7.105. 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 сигнализации.
- 5.7.106. 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.
- 5.7.107. 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.
- 5.7.108. Эвакуация затем начинается. 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 [5.8.50] вдоль определенных расчетных или кратчайших до времени, когда узел будет заблокирован.
- 5.7.109. 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.
- 5.7.110. Если возникают встречные потоки в любое время во время моделирования, область пораженного(ых) узла(ов) будет изменяться в тот момент, основанный на ограничение эффекта, введенной пользователем.
- 5.7.111. **Формат файла вводных данных**
- 5.7.112. 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.
- 5.7.113. Сами переменные описаны в [5.8.128].
- 5.7.114. Описание вводных данных
- 5.7.115. Название запуска - карта 1 (A72)

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

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

Поле	Переменная	Описание
1	IUNITS	Выбор используемых единиц измерения 1 – метрическая система 2 – стандартная система
2	ISIZE	Выбор данных размера тела 1 – австрийский (0,1458 м²) 2 – советский (0,1130 м²) 3 – Американский (0,0906 м²)
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

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

Поле	Переменная	Описание
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)

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

Поле	Переменная	Описание
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

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

Поле	Переменная	Описание
------	------------	----------

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

5.7.120. 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)

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

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

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

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

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

5.7.123. Встречные потоки - если ICNTRA = 1 - одна карта для каждого затронуты 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)

5.7.124. Характеристика переменных программы

5.7.125. 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 (15)	Входная переменная. Когда пользователь указал, что некоторые пассажиры узла явля-

	ются инвалидов, этот массив имеет проценты "трудоспособного" скорость, с которой каждый инвалидов пассажиров поедет. До 15 человек могут быть описаны в каждой строке. Эти данные хранятся в массиве с именем SFR().
FACTR	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 - занято).
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 местах 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 симуляцию. Установите на начало программы.
NLINK	Количество ссылок в сети. (Это будет меньше или равна удвоенному число дуг, описанных в разделе ввода и будет рассчитываться по Программа.)
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).

Переменная	Описание
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.

5.7.126. Пример логнормальных распределений

5.7.127. 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.

5.7.128. На рис. 5.2 приведены экспериментальные результаты эвакуации розничном магазине с продуктовым отделом. [5.9.20] Наблюдаемые результаты были получены следовать логарифмическое нормальное распределение. Экспериментальные результаты и теоретическая кривая показаны на графике.

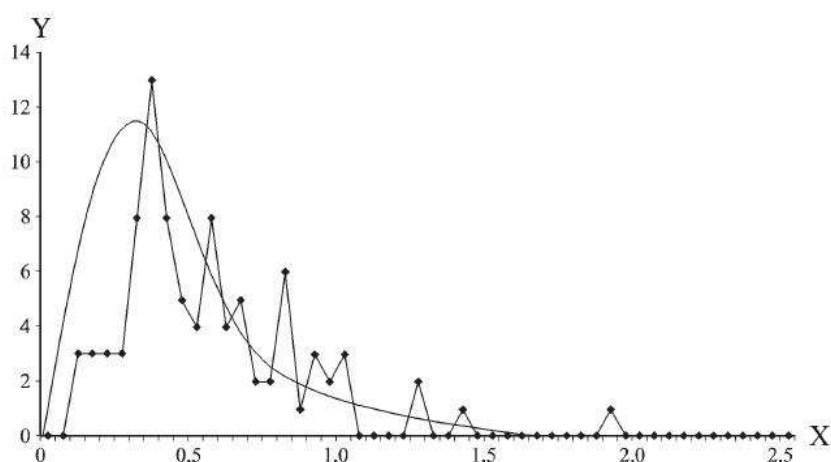


Рис. 5.2 - Экспериментальные и теоретические времена до движение в универсаме эвакуации

5.7.129. Ключевые обозначения:

5.7.130. X – время (мин), Y – частота

5.7.131. 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 5.3.

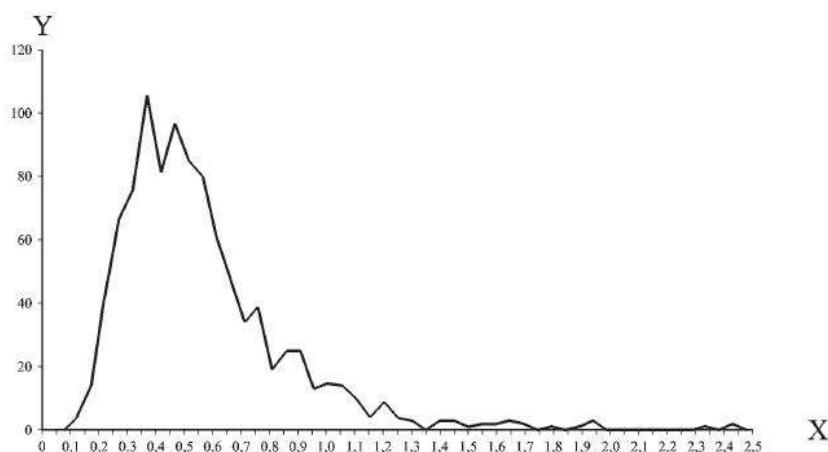


Рис. 5.3 - Логнормальное распределение со средним значением 0,54

и стандартное отклонение 0,31

5.7.132. Ключевые обозначения:

5.7.133. Y – частота

5.7.134. На рис 5.4 показаны три распределения со средним значением 8,0 и стандартными отклонениями 2,0, 4,0 и 6,0.

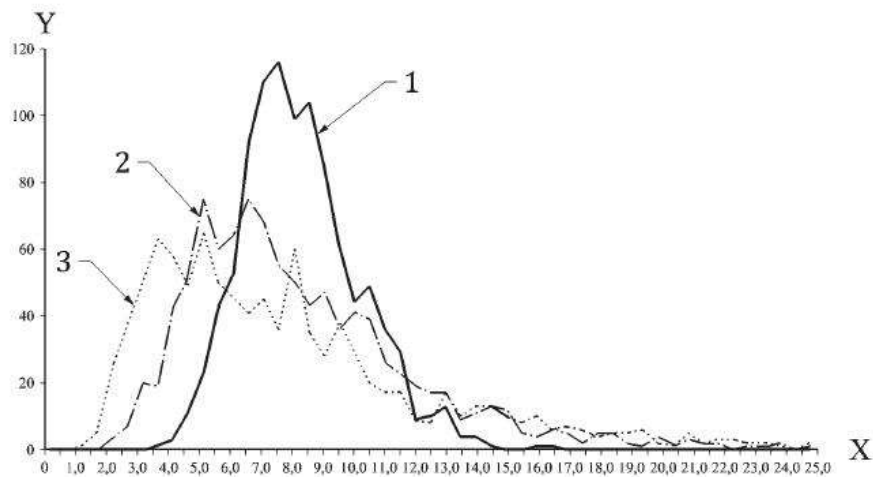


Рис. 5.4 - Пример среднего значения логнормального распределения = 8,0

5.7.135. Ключевые обозначения:

5.7.136. Y – частота

5.7.137. 1 – стандартное отклонение = 2

5.7.138. 2 – стандартное отклонение = 4

5.7.139. 3 – стандартное отклонение = 6

5.7.140. 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.

5.7.141. На рис 5.5 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.

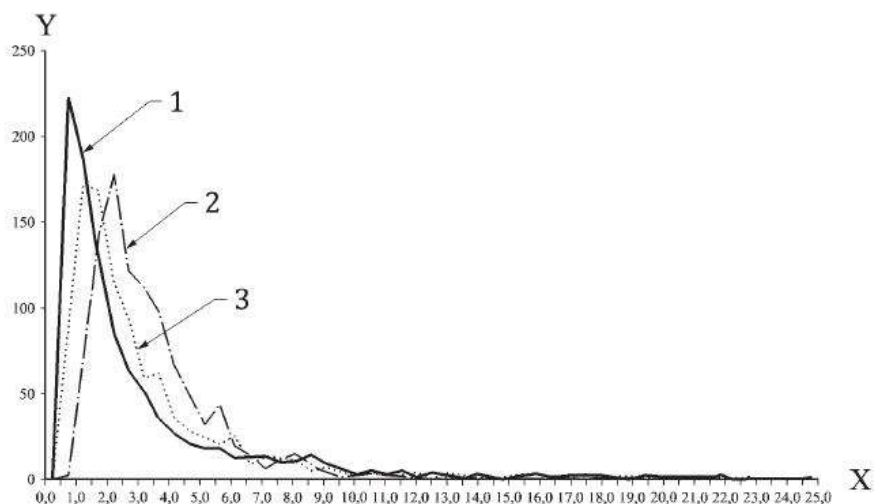


Рис. 5.5 - Пример среднего значения логнормального распределения = 3,0

5.7.142. Ключевые обозначения:

5.7.143. Y – частота

5.7.144. 1 – стандартное отклонение = 6

5.7.145. 2 – стандартное отклонение = 2

5.7.146. 3 – стандартное отклонение = 4

5.7.147. Так как эта модель требует времени задержки, которые будут определены в секундах, рис 5.6 и д.6 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 среднее 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.

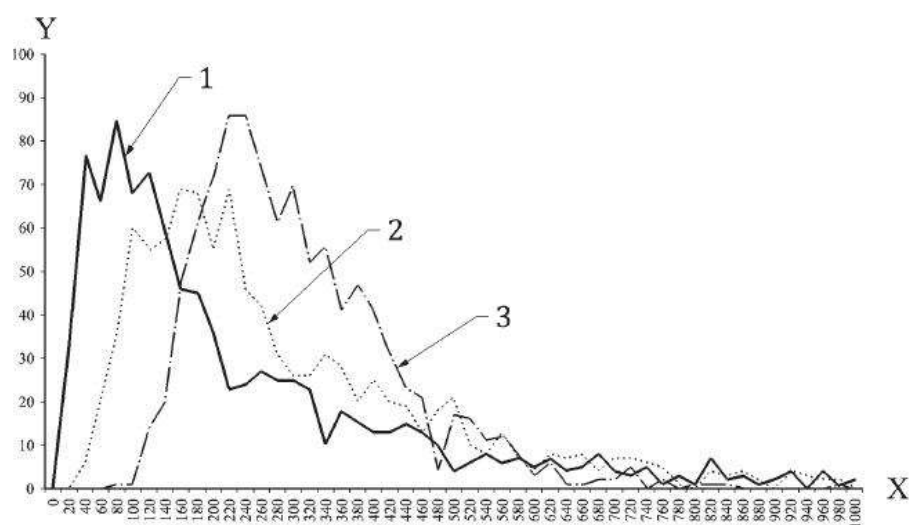


Рис. 5.6 - Пример среднего значения логнормального распределения = 300,0

5.7.148. Ключевые обозначения:

5.7.149. Y – частота

5.7.150. 1 – стандартное отклонение = 480

5.7.151. 2 – стандартное отклонение = 240

5.7.152. 3 – стандартное отклонение = 120

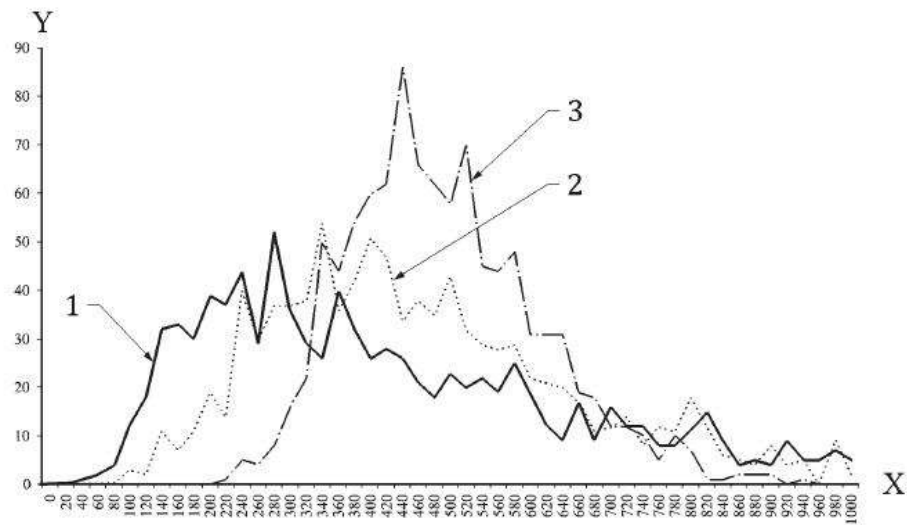


Рис. 5.7 - Пример среднего значения логнормального распределения = 480,0

5.7.153. Ключевые обозначения:

5.7.154. Y – частота

5.7.155. 1 – стандартное отклонение = 360

5.7.156. 2– стандартное отклонение = 240

5.7.157. 3 – стандартное отклонение = 120

5.7.158. Для рис. 5.7, 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.

5.8. Библиография

- 5.8.1. 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
- 5.8.2. Kuligowski EG, & Peacock RD A Review of Building Evacuation Models - Technical Note 1451, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg MD, July 2005.
- 5.8.3. 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
- 5.8.4. Fahy R.F. Update on the Features and Demonstrated Predictive Capability of EXIT89. Engineered Fire
- 5.8.5. 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.
- 5.8.6. 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.
- 5.8.7. Proulx G ., Tiller D ., Kyle B ., C reak J. Assessment of Photoluminescent Material During Office Occupant Evacuation, Internal Report No. 774, National Research Council of Canada, Ottawa ON, April 1999.
- 5.8.8. Fahy R., & Proulx G. unpublished analysis of World Trade Center data, National Fire Protection Association, Quincy MA, October 1994.
- 5.8.9. 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.
- 5.8.10. Fahy R .F., & Proulx G. unpublished data from World Trade Center human behaviour study, National Fire Protection Association, Quincy MA, 1993.
- 5.8.11. Predtechenskii V .M., Milinskii A.I. Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978
- 5.8.12. 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.
- 5.8.13. Personal communication. Tyne-and-Wear Fire Brigade, 1992.
- 5.8.14. 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.
- 5.8.15. 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.
- 5.8.16. 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.
- 5.8.17. Hillier F.S., & Lieberman G.J. Introduction to Operations Research. Holden-Day, Inc, Oakland, California, Third Edition, 1980
- 5.8.18. Predtechenskii V .M., M ilinskii A.I. Planning for Foot Traffic Flow in Buildings. Amerind Publishing Company, Inc, New Delhi, 1978
- 5.8.19. 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.
- 5.8.20. 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.
- 5.8.21. Purser D.A., Bensilum M. Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. Saf. Sci. 2001, 38 p. 157

5.8.22. Bratley P., Fox B.L., Schrage L.E. A Guide to Simulation. Springer-Verlag, New York, Second Edition, 1987