

**NIST 1822**  
**ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРИМЕЧАНИЕ**  
**ПРОЦЕСС ВЕРИФИКАЦИИ**  
**И ВАЛИДАЦИИ МОДЕЛЕЙ**  
**ЭВАКУАЦИИ ЗДАНИЙ**  
**ПРИ ПОЖАРЕ**

---

Энрико Рончи  
Эрика Д. Кулиговски  
Пол А. Ренеке  
Ричард Д. Пикок  
Даниэль Нильсон

Enrico Ronchi  
Erica D Кулиговски  
Paul A Reneke  
Richard D Peacock  
Daniel Nilsson

ООО «СИТИС»

Перевод стандарта NIST 1822 Техническое примечание «Процесс верификации и валидации моделей эвакуации зданий при пожаре» выполнен ООО «СИТИС» программой автоматического перевода Google Translator.

© ООО «СИТИС», 2014 (перевод на русский язык)

Не допускается использование данного перевода полностью или частично в составе других документов, документации к программному обеспечению, распространение и публикация в печатном или цифровом виде, без письменного разрешения ООО «СИТИС».

## **АННОТАЦИЯ**

На сегодняшний день не существует международного стандарта по процедурам и испытаниям для оценки верификации и валидации (верификации и валидации) моделей пожарной эвакуации зданий. Часто именно бывает, что модели испытатели принять несогласованные процедуры или испытания, предназначенные для другой модели использует или они не испытывают их для всех функций, встроенных в их модели. Например, испытания, представленные в MSC/Circ.1238 (Руководство по анализу эвакуации для новых и существующих пассажирских судов), предоставленные Международной морской организацией часто используются для верификации и валидации моделей за пределами их первоначального контекста использования (например, пожаров в зданиях вместо применения в морской сфере). Настоящий документ предназначен, чтобы открыть обсуждение по основным вопросам, связанным с определением стандартной процедуры для верификации и валидации моделей здания пожарной эвакуации. Представлен обзор текущих процедур, испытаний и методов, доступных в литературе для оценки верификации и валидации моделей эвакуации зданий. Возможности построения моделей эвакуации оцениваются путем рассмотрения их пяти основных ключевых компонентов, а именно: 1) времени предварительной эвакуации, 2) движения и навигации, 3) использования выходов, 4) наличия маршрутов и 5) ограничения потока. Предлагается набор испытаний и рекомендаций по верификации и валидации моделей эвакуации здания. Эти испытания включают предложения по помощи простых испытаний возникающих поведения вместе с примерами экспериментальных наборов данных, пригодных для анализа различных ключевых компонентов. Обсуждаются неопределенности, связанные с моделированием эвакуации. В частности, представлен метод оценки неопределенности поведения (неопределенности вследствие использования распределений или случайных величин для моделирования поведения человека при моделировании эвакуации). Метод состоит из набора критериев конвергенции основанных на функциональном анализе. В последней части настоящего документа представлено обсуждение вопросов, связанных с определением критериев приемлемости стандартного протокола верификации и валидации.

## **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Эвакуация, моделирование, верификация и валидация, поведение человека при пожаре, пожары в зданиях

## **БЛАГОДАРНОСТЬ**

Авторы хотели бы выразить признательность Джейсону Аверилл, Томасу Клири, Рите Фахи, Энтони Хэминсу, Стиву Гвинн, Блазе Томан и Крейгу Вайншенк за всестороннюю обработку настоящего документа перед публикацией.

# СОДЕРЖАНИЕ

1.0 Введение .....	5
1.1 Цели.....	6
1.2 Ограничения .....	7
1.3 Обзор .....	7
2.0 Подготовка и предыдущие исследования.....	8
2.1 Современное состояние верификации и валидации, испытания ito .....	9
3.0 Предлагаемые испытания по верификации и валидации .....	12
3.1 Испытания по верификации .....	13
3.2 Испытания по валидации .....	30
4.0 Неопределенность при моделировании эвакуации .....	31
5.0 Обзор протокола верификации и валидации .....	51
Список литературы.....	53
Приложение А. Результаты применения метода оценки для поведенческой неопределенности на конкретном примере .....	58

## 1.0 ВВЕДЕНИЕ

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

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

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

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

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

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

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

MSC/Circ.1238 перечисляет четыре основные формы испытаний, которые должны быть выполнены для моделей эвакуации, а именно: 1) тестирования компонентов, 2) функциональной проверки, 3) качественной проверки и 4) количественного контроля. В данной работе, иной срок, на основе определения включены в ISO 16730, используется, т.е. количественное подтверждение [Международная организация по стандартизации, 2008]. Проверка компонентов представляет собой процесс проверки, что компоненты модельной работы, как предполагалось. Функциональная проверка включает в себя анализ возможностей модели с точки зрения его способности выполнять намеченные моделирования. Качественный и количественный проверка (количественный проверка

здесь) касается характера прогнозируемого поведения человека с информированных ожиданий. В то время как руководящие принципы обеспечивают информацию о методах, чтобы оценить первые три формы испытаний, они не предоставляют информацию о количественной проверке (т.е. сопоставления модельных предсказаний против надежных экспериментальных данных). В частности, они не исследуют неопределенность в модельных результатах, полученных, который связан с возможной изменчивости человеческого поведения в огне (часто в адрес и задается в виде стохастический подход).

Основной вопрос в том, что данные испытания предназначены специально для применений в морской сфере, по-прежнему требуется развитие верификации и валидации проверяет характерные для эвакуации зданий. Первоначальные попытки были сделаны, чтобы улучшить MSC/Circ.1238 и расширить их применение в различных контекстах, т. е. не только морской сфере. Во-первых, проект RIMEA [Майер-Кениг и др., 2007] рассмотрел MSC/Circ.1238 и предложил внести изменения в предстоящие испытания. Однако, изменения, предложенные в рамках проекта RIMEA, не включают проверочные испытания. Кроме того, пересмотренные испытания не включают в себя новые испытания по многим функциями, которые обычно доступны в моделях эвакуации зданий. Во-вторых, проект SAFEGUARD [Галея и др., 2012а, Галея и др., 2012b] был проведен в целях рассмотрения MSC/Circ.1238 и внесения предложений о возможных улучшениях. Однако улучшения по-прежнему сосредоточены на морской сфере и критерии приемлемости не могут быть пригодны для каждой модели или модели сценария.

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

## 1.1 Цели

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

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

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

Третья цель состоит в определении метода для исследования типа неопределенности, характерного для моделирования эвакуации (связанного с использованием распределений или

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

## **1.2 Ограничения**

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

Хотя определение исчерпывающего перечня проверочных испытаний для моделей эвакуации здания теоретически возможно (испытания могут быть определены для каждой модели эвакуации для того, чтобы оценить каждый внедренный суб-алгоритм), целый ряд различных вопросов снизить вероятность этом в практика. На сегодняшний день, поведенческие экспериментальные наборы данных не хватает, то есть, данные о поведении человека в строительных пожаров ограничены по количеству и качеству [Аверилл и др., 2008]. Это способствует отсутствие в настоящее время в «надежной, всеобъемлющей и проверенного концептуальной модели поведения жильцов во время строительства пожаров» [Кулиговски, 2013]. Эта проблема влияет возможности моделей эвакуации, которые могут быть на основе определяемых пользователем предположений, а не обеспечение предсказание человеческого поведения в огне.

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

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

## **1.3 Обзор**

Настоящее техническое руководство состоит из пяти разделов. Уже представлены в разделе 1 (Введение) было введение в проблему исследования, выявления потребности в стандартной процедуры для верификации и валидации строительства модели эвакуации, и проблем, связанных с этим процессом.

В разделе 2 (Справочная информация и предыдущая исследовательского), обсуждается соответствующая литература. Это включает в себя обзор испытаний, предусмотренных в MSC/Circ.1238 [Международная морская организация, 2007], который часто считается ориентиром для верификации и валидации моделей эвакуации. Современные методы, принятые для анализа результатов эвакуации модели также отзывы.

Раздел 3 (Предлагаемые верификации и валидации Испытания) представляет новый набор рекомендуемых испытаний проверки и обсуждаются возможные примеры оценочных испытаний. Испытания были представлены в отношении пяти основных ключевых элементов, доступных в

моделях эвакуации, а именно 1) время предварительного эвакуации, 2) движения и навигации, 3) использования выхода, 4) наличие маршрута и 5) условия потока / ограничений.

В разделе 4 (неопределенности в эвакуации моделирования), вопросы, связанные с неопределенностью экспериментальных данных и результатов моделирования в контексте эвакуации исследований анализируются. В частности, неопределенность происходит от имитации человеческого поведения (поведенческая неопределенность) обсуждается и метод для изучения поведенческих неопределенности в эвакуации моделирования представлена.

Раздел 5 (Обсуждение протокола верификации и валидации) обзор текущую литературу о протоколах верификации и валидации, занятых в эвакуации моделирования. В этом разделе также содержится анализ вопросов, связанных с определением критериев приемлемости.

## 2.0 ПОДГОТОВКА И ПРЕДЫДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

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

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

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

Существует пять основных поведенческих элементов мер может сравниваться с идеальных случаях или экспериментальных данных при выполнении верификации и валидации. Идеальные (то есть, гипотетические) случаев определяются здесь как простых сценариев эвакуации, для которых ожидаемый результат могут быть получены с помощью простых математических формул или фактических данных, полученных от актуальным знаниям о человеческом поведении в огонь. Если предположить, что основной элемент проверяется проста, они могут быть использованы для оценки возможности модели. Например, идеальный случай может быть использован на время одного агента, чтобы идти коридор с определенной скоростью минут. Идеальном случае также могут быть использованы для выполнения изучения возникающих поведения, т.е. оценки суб-алгоритма, встроенного в модели. Например, идеальным испытанием может быть использован для качественно проанализировать влияние групповых поведения. Использование идеальных испытаний для изучения возникающих поведения внутри моделей здание пожарной эвакуации может быть вызвано отсутствием в настоящее время экспериментальной данных<sup>1</sup> (1 В настоящем документе термин экспериментальные данные (включая отработку мер эвакуации) используется так как реальные данные эвакуации не хватает, а они редко используются для целей проверки. Термин «реальные данные эвакуации» используется, когда речь идет фактических сценариев эвакуации (данные из тренировок эвакуации не включены в эту категорию).) подходящей для сравнения с модельными прогнозами. В тех случаях, идеальные случаи могут быть использованы для выполнения качественную оценку прогнозных возможностей моделей.

В идеале, количественный проверка из основных поведенческих компонентов всегда следует проводить с использованием экспериментальных данных (или реальные эвакуации). Эвакуационные экспериментальные данные включают наборы данных, полученных из нескольких типов данных, таких как лабораторных экспериментов (то есть, экспериментов, выполненных в контролируемой лаборатории), полевых экспериментов (то есть, экспериментов, выполненных в реальных условиях), или реальных данных эвакуации [Нилссон, 2009]. Степень контроля по



экспериментов вместе с методами сбора данных может оказать существенное влияние неопределенность в результатах. Пригодность экспериментальных данных для выполнения аттестационных испытаний зависит от неопределенности данных (например, на основе фоновых условий, методы сбора данных, принятые и т.д.), в документации, поставляемой с экспериментальными наборами данных и их доступности для общественности. Сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных следует, поэтому, рассматривать ограничения, связанные с экспериментами.

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

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

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

## **2.1 Современное состояние верификации и валидации, испытания IMO**

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

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

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

Это испытание полезно для проверки, если модель способна представлять агента поддержанием заданной скорости с течением времени, так как это является важнейшим аспектом во время Расчет необходимой безопасной эвакуации времени здания [Гвинн и др., 2012b]. Испытание представляет собой значение скорости ходьбы, которые могут быть представитель скорости ходьбы взрослого (1 м / с) и длиной коридора достаточной, чтобы проверить, если назначенный скорость агент хранится в течение долгого времени. Это испытание предназначено для анализа результатов детерминированного ввода (т.е. одного запуска модели). Использование

распределений, идущих скоростях, возможно, потребуется анализ результатов нескольких серий в случае стохастических моделей.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

«Двадцать человек приближении к левом углу будет успешно ориентироваться углом, не проникая границы.» Данный Испытание предназначен для проверки, является ли модель способна

правильно моделировать границы сценария, т. е., что эвакуированные не искусственно пересекают границы при повороте, особенно в переполненной среде. Нынешняя форма испытания не появилось ни одного требования о предполагаемой структуре агентов, то есть использования области угла по отношению к количеству агентов в сценарии. В дополнение к соответствующему моделированию ограничений, предусмотренных границе при перемещении агента, экспериментальные исследования показали, что пассажиры могут занимать только часть пространства, доступного в углу по отношению к различным условиям, например, использование пространства могут быть затронуты наблюдаемых плотностей [Нильссона и Петерссона, 2008, Чжан и др., 2011]. Дополнительное испытание или модифицированная версия текущего испытания можно определить, чтобы исследовать этот вопрос. Испытание IMO 7 направлена на проверку правильности назначения параметров демографические:

«Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к Руководству IMO [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов и распространять скорости ходьбы более населением 50 человек. Покажите, что распределенные скорости ходьбы согласуются с распределением указанных в таблице».

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

Испытание IMO 8 является проверка Испытание о встречных потоков: «Два помещения шириной 10 м и длиной, связанные через коридор длиной 10 м и 2 м в ширину с началом и концом в центре одной стороне каждом помещении (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии). Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 100 человек. Шаг 1: Сто человек перемещать из помещения 1 в помещение 2, где начальное распределение таково, что пространство помещения 1 заполняется слева с максимально возможной плотностью. Время последний человек входит в помещение 2 записывается. Шаг 2: Шаг первый повторяется с дополнительным десяти, пятидесяти, и ста человек в 11 помещении 2. Эти люди должны иметь одинаковые характеристики для тех в помещение 1. Оба помещения отъезжать одновременно и время за последние лиц в помещении 1, чтобы войти Помещение 2 записывается. Ожидаемый результат в том, что время записи увеличивается с количеством лиц в увеличении против течения».

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

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

«Общественное помещение с четырьмя выходами и 1000 человек, равномерно распределенных в номере (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии). Лица оставить через ближайших выходов. Выберите группу, состоящую из мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 1000 человек. Шаг 1: Запишите время последний человек выходит из помещения. Шаг 2: Закройте двери 1 и 2 и повторите шаг 1. Ожидаемый результат является приближенным удвоение времени, чтобы освободить помещение».

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

быть изменен, чтобы представить возможную потерю главного выхода во время пожарной безопасности инженерного анализа.

ИМО Испытание 10 Испытание распределение выход по маршруту: Раздел кабина коридор «Построить (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии) заполняется, как указано с группой, состоящей из мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к Руководству [Международной морской организации, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 23 человек. Люди в каютах 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, и 10 выделяются главный выход. Все остальные пассажиры выделяются вторичный выход. Ожидаемый результат в том, что выделенные пассажиры двигаться к соответствующим выходам».

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

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

«Построить номер, подключенный к лестнице через коридор (см. Международную морскую организацию, [2007] для получения дополнительной информации о геометрии) заполняется, как указано с группой, состоящей из мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к Руководству [Международная морская организация, 2007] для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов с мгновенным временем отклика и распространять скорости ходьбы более населением 150 человек. Ожидаемый результат в том, что скопление появляется на выходе из помещения, которое производит постоянный поток в коридоре с образованием заторов в основании лестницы».

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

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

### **3.0 ПРЕДЛАГАЕМЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПО ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ**

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

Испытания по верификации либо основаны на испытаниях, представленных в MSC/Circ.1238 [Международной морской организации, 2007], либо являются новыми разработками испытаний авторов настоящего документа. Выбор дополнительных испытаний сделан для того, чтобы включить в функции, перечисленные в обзоре моделей эвакуации здания по Кулиговски и др. [2010]. Обзор включает в себя следующие возможности: 1) противоток, 2) блокирование выхода, 3) условия пожара, влияющие на поведение, 4) токсичность, 5) группы, 6) с ограниченными

физическими возможностями/ маломобильные группы, 7) задержки / время до начала эвакуации, 8) использование лифтов, 9) выбор маршрута. Дополнительные испытания рассматриваются, если выявлены критические факторы, которые могут существенно повлиять на RSET.

Испытания разделены на пять частей: 1) Геометрия: конфигурация испытания, 2) Сценарий(и): сценарий эвакуации, который будет смоделирован, 3) Ожидаемый результат: предполагаемый результат модель эвакуации (качественный или количественный), и 4) Метод испытания: качественный (например, визуализация представленного поведения), либо количественный (например, сравнение времени эвакуации, потоков и т.д.) метод, используемый для сравнения между ожидаемым результатом и смоделированным результатом, 5) Действия пользователя: действия, которые необходимо произвести при выполнении и представлении испытания.

Необходимо также отметить, что различные модели могут требовать различных методов испытаний для анализа их результатов в отношении входных переменных, необходимых для их калибровки. Калибровка здесь представлена как совокупность действий, необходимых для разработчиков / пользователей моделей, чтобы настроить модель перед использованием. Испытующий модель обязан перечислять действия пользователя во время калибровки входных данных ожидаемых во время выполнения тестов. Например, модели, использующие определенное заданное пользователем ожидаемое поведение (например, людей двигаться в направлении назначенного пользователем выхода) может быть проверена выполнения только количественные верификационные испытаний, то есть никакие исследования по валидации не могут быть проведены. С другой стороны, модели, включая субмодели прогнозирования, могут быть проверены с использованием как количественных и качественных испытаний по валидации.

### **3.1 Испытания по верификации**

В данном разделе представлены испытания, предложенные для верификации моделей эвакуации. Испытания проводятся использованием пяти основных компонентов моделей эвакуации [Гвинн и др., 2012a], а именно: 1) время до начала эвакуации, 2) движение и навигация, 3) использование выходов, 4) наличие маршрута и 5) условия / ограничения потока; то есть они являются элементами модели, необходимой для самой элементарной представления сценария. Они являются идеальными (гипотетическими) испытаниями, которые предназначены для анализа основных характеристик текущих моделей эвакуации. Некоторые испытания основаны на MSC/Circ.1238 [Международной морской организации, 2007]. Испытания делятся на две категории. Первая категория называется аналитической проверкой (AN\_VERIF), и это относится к испытывать, где ожидаемые результаты могут быть получены с помощью простых математических формул или свидетельств. Вторая категория это проверка экстренных поведения (EB\_VERIF), который относится к проверке способности моделей эвакуации качественно производить результаты, которые отражают текущие знания о поведении человека при пожаре. В настоящей работе, эта вторая категория испытания намеренно не обозначена как валидация. По той причине, что эти испытания оценивают, соответствуют ли результаты модели текущим поведенческим теориям, а не делают прямо количественного использования экспериментальных (или реальных) данных эвакуации.

Необходимо отметить, что не все испытания могут быть проведены для всех моделей, доступных учитывая различные функциональные возможности, доступные в моделях. Термин "occupant" используется для обозначения общего модельного агента, основной физическими характеристиками являются скорость и размер тела. Модели эвакуации обычно характеризуют пол как следствие предполагаемых размеров тела и скорости ходьбе, а не с точки зрения возможных различий в поведении. По этой причине, гендерный из пассажиров прямо не упоминается в тестах.

В таблице 1 представлены предлагаемые испытания в отношении рассматриваемых основных компонентов и субэлементов.

**Таблица 1. Предлагаемые испытания по верификации для моделей эвакуации.**

Основной компонент	Субэлемент	Рекомендуемые испытания	Код испытания	Тип испытания
1	Распределение времени до начала эвакуации	Измененное испытание 5 IMO	Вериф.1.1	AN VERIF
2	Скорость движения в коридорах	Испытание 1 IMO	Вериф.2.1	AN VERIF
	Скорость движения на лестницах	Испытание 1 и 3 IMO (при необходимости)	Вериф.2.2	AN VERIF
	Движение на углах	Испытание 6 IMO	Вериф.2.3	AN VERIF
	Присвоенные демографические данные	Измененное испытание 7 IMO	Вериф.2.4	AN VERIF
	Ограниченная видимость в соотношении со скоростью ходьбы	Новое испытание	Вериф.2.5	AN VERIF
	Дееспособность людей	Новое испытание	Вериф.2.6	AN VERIF
	Использование лифтов	Новое испытание	Вериф.2.7	AN VERIF
	Горизонтальные встречные потоки (помещения)	Измененное испытание 8 IMO	Вериф.2.8	EB VERIF
	Поведение групп людей	Новое испытание	Вериф.2.9	EB VERIF
	Маломобильные группы	Новое испытание	Вериф.2.10	EB VERIF
3	Распределение выхода маршрута	Измененное испытание 10 IMO	Вериф.3.1	AN VERIF
	Социальные факторы	Новое испытание	Вериф.3.2	EB VERIF
	Присоединение	Новое испытание	Вериф.3.3	EB VERIF
4	Динамика доступности выхода	Новое испытание	Вериф.4.1	AN VERIF
5	Скопление людей	Измененное испытание 11 IMO	Вериф.5.1	EB VERIF
	Максимальная скорость потока	Испытание 4 IMO	Вериф.5.2	EB VERIF

Рекомендуемые методы испытаний, используемые для верификации моделей эвакуации, состоят из: 1) Количественной оценки результатов модели. Эта оценка обычно выражается как процентная доля различий между ожидаемыми результатами и результатами моделирования. 2) Качественной оценки результатов модели. Этот метод испытания основан на качественных наблюдениях ожидаемого поведения. Эта оценка рассматривается на основе сравнения результатов эвакуации (часто выполняемых посредством наблюдения за результатами визуализации модели или численными результатами) и ожидаемого поведения, основанного на текущей поведенческой теории.

Рекомендуется, чтобы результаты испытаний были связаны с подробной документацией предположений моделирования, используемых для проведения испытаний. В частности, описание характеристик суб-алгоритма (ов) / субмодели (ей) в использовании позволит понять возможности и ограничения модели (например, выполняет ли модель определенное испытание и каким образом).

### **3.1.1 Время до начала эвакуации**

Время до начала эвакуации – это время, необходимое эвакуируемым, чтобы начать движение к месту безопасности [Гвинн и др., 2012a]. Один простой тест (Вериф.1.1.) Предлагается проверить способность моделей эвакуации назначить распределения времени до эвакуации находящихся на борту людей.

#### **Вериф.1.1. Распределения времени до начала эвакуации**

Этот тест имеет дело с представлением раза до эвакуации в моделях эвакуации. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 5 от MSC/Circ.1238.

#### **Геометрия**

Помещение размером 8 м на 5 м с выходом 1 м.

#### Сценарий

Десять человек случайно находится в помещении. Проверьте типы распределений, используемых в модели эвакуации представлять раз предварительно эвакуации. Наложите предварительно определенное распределение (например, равномерное, нормальное, логарифмически нормальное, и т.д.) раз предварительно эвакуации в соответствии с распределениями входных предусмотренных в рамках модели эвакуации. Повторите тест для каждого распределения времени предварительной эвакуации встроенного в модели.

#### Ожидаемый результат

Убедитесь, что каждый пассажир начинает двигаться в соответствующее время, и что ответах падения численности населения в пределах указанного диапазона.

#### Метод испытания

Данный метод испытания является количественной проверка присвоения модели выражается через время предварительного эвакуации. В зависимости от типа распределения рассматриваемой модели Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод для оценки различий между моделируемых и назначенных распределений.

#### Порядок действий пользователя

Следует отметить, что этот тест следует повторить несколько раз (например, несколько пробегов тому же сценарию должно быть сделано), чтобы проверить моделирование ожидаемых временных распределений предварительно эвакуации на нескольких запусках<sup>2</sup> (2 Следует отметить, что требования к количеству трасс может варьироваться в разных распределений. Различные тесты могут быть использованы, чтобы продемонстрировать, что значения относятся к определенным распределений. Модель Специалист по проведению испытаний и могут продемонстрировать это с помощью соответствующего теста по отношению к распределению (ы) рассматриваемой.).

### **3.1.2 Движение и навигация**

В общей сложности десять испытаний, предложенных для проверки этой основной элемент. Семь Тесты направлены на аналитической верификации моделей (AN\_VERIF), и три теста проверить представление возникающих поведения (EB\_VERIF). Первые два испытания решения моделирование назначенных скоростях ходить в коридоре (Вериф.2.1) и вверх или вниз лестница (Вериф.2.2). Вериф.2.3 тест о пассажиров навигации по углу. Тест (Вериф.2.4) предлагается для назначения жилья демографии. Вериф.2.5 расследует моделирования горизонтальных встречных потоков. Новые испытания предложены для проверки воздействия дыма на пассажиров скорости ходьбы (Вериф.2.6) и моделирования трудоспособности (Вериф.2.7). Тест проверка (Вериф.2.8) этой основной поведенческий компонент имеет дело с моделированием лифтов. Последние два теста имеет дело с анализом возникающих поведения групп (Вериф.2.9) и людей с ограниченными возможностями передвижения (Вериф.2.10). Эти тесты были выбраны для того, чтобы включить в себя большинство движения и навигационные функции, перечисленных в обзоре моделей эвакуации здания по Кулиговски и др. [2010].

#### **Вериф.2.1. Скорость движения в коридорах**

Тест предлагается проверить моделирование пассажира поддержания назначенного скорость ходьбы в течение долгого времени. Тест основан на тесте IMO 1 из принципов IMO.

#### Геометрия

Коридор 2 м в ширину и 40 м в длину.

#### Сценарий

Один пассажир с назначенным скорости ходьбы от 1 м / сек ходьбе по коридору.

#### Ожидаемый результат

Житель должны преодолеть дистанцию в коридоре в 40 с.

#### Метод испытания

Метод испытания является количественной проверки результатов моделирования, т.е. разница между ожидаемым результатом и результатов моделирования.

#### Порядок действий пользователя

Эффективность этого испытания может быть улучшена путем установки дополнительных предписаний в отношении типа рассматриваемой модели. Например, в случае моделей, которые используют грубой и тонкой сетки, результаты могут зависеть от конфигурации сети, принятой. В случае моделей с использованием мелкой сетки, результаты могут зависеть от поворота коридора по отношению к сетке в использовании [Ронки и др., 2013b]. Тест должен, следовательно, быть выполнена с использованием по меньшей мере двух различных вращений геометрии (например, 0 и 45 градусами). Соображения также должен быть сделан на необходимости (или нет), чтобы выполнить этот тест с различными конфигурациями сетевых (например, имитирующих размер ячейки по умолчанию и набор как пониженной и повышенной размеры клеток) для того, чтобы проверить чувствительность результатов к размеру ячейки.

### **Вериф.2.2. Скорость движения на лестницах**

Набор проверочных испытаний необходимо проверить движение людей вверх и вниз по лестнице. Предлагаемый тест (ы) является (являются) на основе принципов IMO. IMO тест 2 и IMO Тест 3 два проверочные тесты о поддержании скорости набор ходьбе вверх или вниз по лестнице.

#### Геометрия

Лестница 2 м в ширину и длиной 100 м, измеренной вдоль наклонной поверхности.

#### Сценарий

Один пассажир с пешеходной скоростью 1 м / с (вверх или вниз) идет по лестнице.

#### Ожидаемый результат

Житель ожидается, чтобы покрыть расстояние в 100 с (вверх или вниз).метод испытания

Метод испытания является количественной проверки результатов моделирования, т.е. разница между ожидаемым результатом и результатов моделирования.

#### Действия пользователя

IMO Тест 2 и IMO Тест 3 изучить и тот же компонент. Модели эвакуации может использовать тот же вход, чтобы изменить движение людей в лестнице (вверх или вниз движения). Например, пользователь определяет коэффициент скорости (либо вручную, либо установкой определенных параметров, таких как лестницы протектора и ширине). Это может быть возможно выполнить только один из этих двух тестов, если модели используют те же основные функции, чтобы имитировать движение вверх и вниз (то есть два теста может стать ненужным, если входной использованы в модели то же самое). Требование для проверки нетрадиционные проекты лестниц могут быть добавлены для того, чтобы расширить сферу применения моделей эвакуации здание тех сценариев (например, винтовые лестницы, изогнутые лестницы и т.д.). Следует также отметить, что существующие модели обычно не разрешает непосредственное представление влияния усталости при ходьбе скорости на лестнице. После того, как эта возможность реализована в моделях,соответствующих проверка теста необходимо будет разработать. Также в этом тесте, Специалист по проведению испытаний должен показать, в случае сетевых моделей (грубого или тонкого помола сети), чувствительности результатов моделирования к сети, используемой и оценить, если вращение геометрии может оказать влияние на результаты.

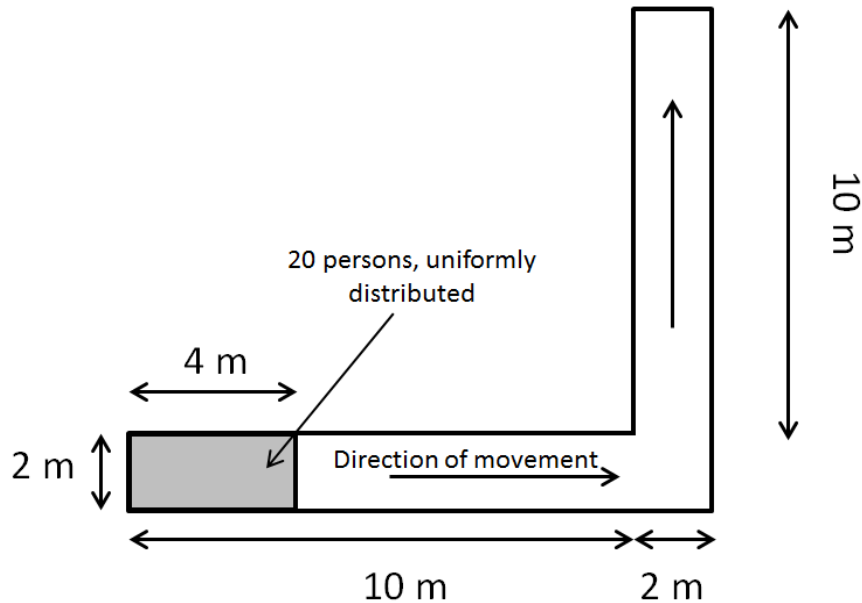
### **Вериф.2.3. Движение на углах**

Одно испытание предлагается проверить, является ли модель способна правильно моделировать границы сценария. Тест IMO 6 является ориентиром для этого теста, то есть тест, чтобы убедиться, что пассажиры успешно перемещаться по углу.

#### Геометрия

Угол представлен в соответствии с рис.1.





**Рис. 1. Геометрическая планировка Вериф.2.3 Испытание IMO Тест 6 [Международная морская организация, 2007].**

#### Сценарий

Двадцать человек равномерно распределены в одном конце коридора (в пространстве, измеренной 2 м на 4 м). У них есть непосредственные время отклика и пешеходную скорость 1 м/с.

#### Ожидаемый результат

Люди, как ожидается, успешно ориентироваться углом, не выходя за границы.

#### Метод испытания

Метод испытания является качественным проверка движения пассажиров. Качественный анализ проводится путем наблюдения путь путешествиях шел оккупантами. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели или отслеживания координат путей агентов.

#### Действия пользователя

Необходимо отметить, что текущий тест движения вокруг угла предназначена только в качестве проверки на границах имеющихся в сценарии, то есть никакой оценки предполагаемой структуры в углу выполнена (т.е. текущий тест не проверка выходящего поведения). Когда литература по человеческого поведения в огонь способен обеспечить детальное понимание ожидаемых моделей движения людей, модели Специалист по проведению испытаний ов нужно будет включить это в тесте.

#### **Вериф.2.4. Присвоенные демографические данные**

Тест предлагается проверить способность модели для назначения демографические параметры популяции. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 7.

#### Геометрия

Квадрат комната размером 100 м на 100 м.

#### Сценарий

Выберите подгруппу, состоящую из населения, выбранного в соответствии с ожидаемыми характеристиками здания (ов) (см. Господа и и др. [2005] для возможных жильца демографии). Связать скорости ходьбы более населением 100 пассажиров равномерно распределенной в комнате.

### Ожидаемый результат

Покажите, что назначенные скорости ходьбы согласуются с распределением указанных в сценарии.

### Метод испытания

Метод испытания является количественной проверки модели заданий, т.е. анализа скоростей пешеходных смоделированных с помощью модели эвакуации. В зависимости от типа распределения рассматриваемой модели Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод для оценки различий между моделируемыми и назначенными распределений.

### Действия пользователя

Следует отметить, что значения, которые будут использоваться для характеристики водителя и пассажиров демографии зависят от нескольких факторов, таких как здания использования, национальности и т.д. Пожалуйста, обратитесь к Господу и др. [2005] Примеры реальных распределений. Кроме того, в этом случае, модель Специалист по проведению испытаний ы должны продемонстрировать что моделирование водителя и пассажиров демографических распределений проверяется по множеству трасс, то есть, тест следует повторить несколько раз.

## **Вериф.2.5. Ограниченная видимость в соотношении со скоростью ходьбы**

Этот тест направлен на количественно проверки способности моделей эвакуации, чтобы воспроизвести физическое воздействие дыма на водителя и пассажиров скоростях пешеходных. Следует отметить, что дым имеет многочисленные дополнительные физические, психологические и социологические факторы [Рончи и др., 2013а], что в настоящее время не захвачен моделей эвакуации. Этот тест основан на условиях ограниченной видимости в соотношении со скоростью ходьбы проверки теста, предложенного Корхонен и Хостика [2009].

Модели эвакуации могут использовать различные наборы данных и корреляции представлять воздействие пониженной видимости (дыма) на пешеходных скоростях. По этой причине, Специалист по проведению испытаний должен знать о типе корреляции, используемой моделью для того, чтобы выполнить эту проверку идентификации. Пять типов корреляций были определены Рончи и др. [2013а] в текущих моделей эвакуации, которые принимают во внимание различные предположения о влиянии ограниченной видимости на отдельных скоростях пешеходных и минимальной скорости ходьбы в дыму. Эти корреляции представлены здесь:

$$v_i^s = v_i^0 c(K_s) \quad \text{[Уравнение 1, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}, v_i^0 c(K_s)\} \quad \text{[Уравнение 2, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}(i), v_i^0 c(K_s)\} \quad \text{[Уравнение 3, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}, v_i(K_s) \pm \Delta\} \quad \text{[Уравнение 4, Рончи и др., 2013а]}$$

$$v_i^s = \text{Max} \{v_{1,\min}(i), v_i(K_s) \pm \Delta\} \quad \text{[Уравнение 5, Рончи и др., 2013а]}$$

Где:

$v_i^s$  – скорость ходьбы в задымленном помещении

$v_i^0$  – скорость ходьбы в незадымленном помещении

$K_s$  – коэффициент ослабления, который относится интенсивность монохроматического света и интенсивность света, прошедшего через путь длиной дыма [Малхолланд, 2008]

$c(K_s)$  – функция снижения скорости (т.е.  $0 < c \leq 1$ ) в зависимости от коэффициента экстинкции  $K_s$

$v_{1,\min}$  – минимальная скорость в густом дыме для всех людей

$v_{1,\min}(i)$  – индивидуальная минимальная скорость в дыму

$\Delta$  – диапазон скоростей порядка скорости в стадии рассмотрения

Уравнение 1 представляет собой дробную воздействие дыма на скорости без минимальной скорости в густом дыму. Кривые н дым / скорость производятся в соответствии с характеристиками п лиц

рассматриваемых. Уравнение 2 представляет собой дробную воздействие дыма на скорость с минимальным постоянной скорости ходьбы в густом дыму ( $\approx 0,3$  м / с до  $0,4$  м / с), п дым / скорость2кривые производятся, но они представляют все тот же минимальную скорость. Уравнение 3 представляет собой дробную воздействие дыма на скорость с переменной скоростью минимальной в густом дыму, п кривые дыма / скорость производятся в соответствии с характеристиками п лиц и минимальная скорость зависит от характеристик индивидов. Уравнение 4 представляет собой абсолютное снижение скорости по отношению к дыму, в пределах определенного диапазона,  $\Delta$ , скоростей вокруг среднего, то есть уменьшение скорости не зависит от скорости пассажиров в чистом. Уравнение 5 является абсолютным снижением скорости в дыме в пределах определенного диапазона,  $\Delta$ , скоростей вокруг среднего, то есть уменьшение скорости не зависит от начальных скоростей ходьбы.

Пять корреляции генерировать различные уравнения по отношению к типу набор данных используется (современные модели эвакуации либо вставлять наборы данных по Джин [2008] или Францих и Нильссон [2004]) и конкретного вида кривой, используемой разработчиков модели (линейный, нелинейный и т.д.).

Проверка тест, предложенный Корхонен и Хостика [2009] изменяется учитывать различных типов корреляции, используемых моделей для представления воздействия пониженной видимости (дыма) на водителя и пассажиров скоростях пешеходных.

#### Геометрия

Коридор 2 м в ширину и 100 м в длину. Один выход (1 м в ширину) находится в конце коридора.

#### Сценарий

Дым снижает скорость ходьбы из-за ограниченной видимости. Беспрепятственно скорость ходьбы от пассажира для свободной от табачного дыма окружающую среду устанавливается на постоянное значение, равное  $1,25$  м / с. Постоянный коэффициент вымирания равна  $1,0$  / м реализуется в коридоре до симуляции. Внешние источники света не присутствуют в этом тесте, то есть, окружающая среда предполагается составляют лишь объекты, которые не излучают свет. Житель должен добраться до выхода в конце коридора.

#### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время, которое требуется пассажира, чтобы покрыть расстояние в коридоре такой же, как времени, рассчитанного вручную используя корреляцию, используемую модели (т.е. в соответствии с коэффициентом снижения скорости, используемой модели).

#### Метод испытания

Метод испытания является проверка присвоения модели. Количественная оценка результатов моделирования с точки зрения разницы во времени выполняется. В зависимости от типа корреляции, используемой модели, Специалист по проведению испытаний должен определить подходящий количественный метод оценки различия между моделируемой и ожидаемое время.

#### Действия пользователя

Тест следует повторить, чтобы проверить различные значения в соотношении, т.е. различные комбинации беспрепятственный скоростях пешеходных для свободной от табачного дыма окружающую среду и постоянных коэффициентах исчезновения нуждается в проверке. Примерами таких значений может быть  $1,0$  м / сек,  $0,75$  м / сек,  $0,5$  м / сек, и  $0,25$  м / с для беспрепятственного скоростях пешеходных и  $10$  / м,  $7.5$  / м,  $3,0$  / м и  $0,5$  / м для коэффициент ослабления. Эти значения предложил, чтобы покрыть диапазон идущих скоростей и коэффициентов экстинкции включены в двух основных наборов данных, доступных в литературе [Рончи и др., 2013а.], Т. е. Францих и Нильссон [2004] и Джин [2008]. Следует отметить, что Специалист по проведению испытаний необходимо знать соотношение используемой моделью, а затем сравнить результаты испытаний с помощью ручных расчетов, выполненных заранее, то есть Специалист по проведению испытаний вычисляет заранее предполагаемое снижение скорости из-за дыма. Модели также могут рассмотреть вопрос о последствиях дыма раздражения на производительность людей. Этот тест не учитывать влияние раздражающего дыма и токсичных газов на пассажиров скорости (т.е. ползающих поведения и т.д.), то есть, только воздействие пониженной видимости на скорости ходьбы учитывается. Кулиговски и др.. [2010] отметил, что модели эвакуации не может включать в себя субмодели, имитирующий воздействие дыма на идущих скоростях. В этом случае снижается скорость может быть неявно реализуется в рамках моделей эвакуации, но это не возможно, чтобы имитировать воздействие изменения условий видимости в течение долгого времени на пешеходных скоростях. Специалист по проведению испытаний должен описать это ограничение рассматриваемой модели.

#### **Вериф.2.6. Дееспособность людей**

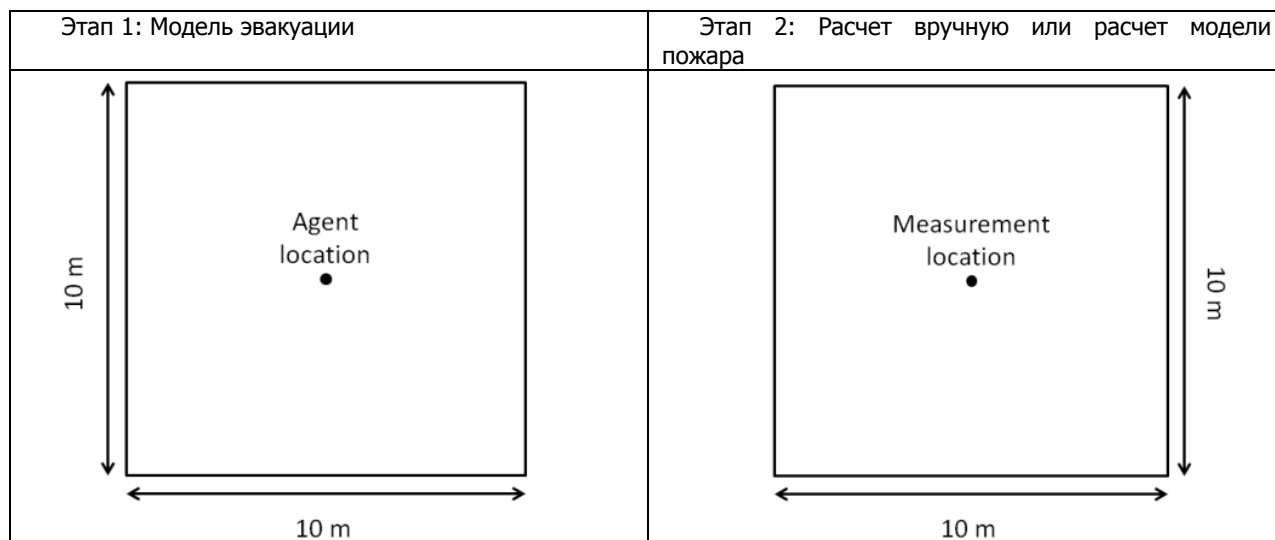
Тест предлагается качественно и количественно проверить способность моделей эвакуации для имитации пассажиров инкапсулирующий из-за токсичных и физических эффектов дыма. Дееспособности строительных пассажиров осуществляется во всех моделях эвакуации, которые пытаются представлять присутствие дыма [Кулиговски и др., 2010], используя фракционный Эффективная доза (ФРС) концепцию [Персер, 2008]. Предлагаемый тест представляет собой модифицированный вариант теста разработан Корхонен и Хостика [2009].

### Геометрия

Номер без источника огня (10 м x 10 м x 3м).

### Сценарий (и)

Реализация концепции ФРС тестируется. Шаг 1: разместить пассажира в центре комнаты (см. рис. 2). Житель проводится в фиксированном исходном положении, установив высокую время предварительного эвакуации ( $> 10000000$  с). Опасные условия реализованы в модели по отношению к недееспособности субмодели в использовании. Примеры таких условий являются воздействие токсичных, раздражающих и физических опасностей, таких как HCN, CO, CO<sub>2</sub>, HCl, HBr, HF, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, повышенной температуре, теплового излучения и т.д. Шаг 2: Построить в одной комнате и выполнять ФЭД измерения в том же месте пассажира, (либо с помощью ручных расчетов или независимая подтверждено пожарной модель, используя те же вычисления FED реализованные в модели эвакуации).



**Рис. 2. Геометрическая планировка теста Вериф.2.6.**

**Слева геометрия моделирования и справа геометрия используется для измерений на основе ручных вычислений или моделирования пожара.**

### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время для достижения пассажиров инкапситурующий ( $FED = 1$ ) на шаге 1 такая же, как время достижения  $FED = 1$  в точке измерения в шаге 2. Этот тест должен быть повторен для каждого опасного состояния имеющейся в недееспособности югу от модели (например, концентрации CO или HCN, повышенной температуре и т.д.)

### Метод испытания

Метод испытания занятых является количественной проверка присвоения модели. Оценка различий в раза до  $FED = 1$  в течение двух шагах тестирования выполняется.

### Действия пользователя

Следует отметить, что Специалист по проведению испытаний необходимо знать токсичности и опасности субмодели (ей), внедренный в модели эвакуации для выполнения теста. Настоящий тест статическое испытание. Модель Специалист по проведению испытаний и могут рассмотреть вопрос о расширении проверку расчетов ФРС, рассматривая пассажиров перемещение в пространстве. Если рассматриваемая модель не встроить токсичность и подмодели опасности, рекомендуется, что Специалист по проведению испытаний обсуждает это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ модели.

### **Вериф.2.7. Использование лифтов**

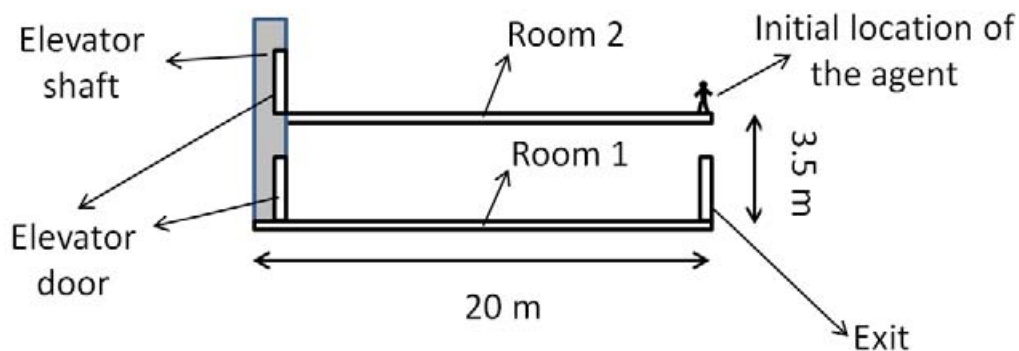
Текущие строительные нормы постепенно реализации использование лифтов в качестве возможного выходного компонента [Международный совет кодекс, 2012] и является неотъемлемой частью различных стратегий исходящих [Рончи и др., 2013b]. Таким образом, тест предлагается проверить способность моделей эвакуации при моделировании эвакуации с помощью лифтов. Следует отметить, что лифты постепенно реализуется в моделях эвакуации (10 из 26 моделей в обзоре Кулиговски и др. [2010]).

### Геометрия

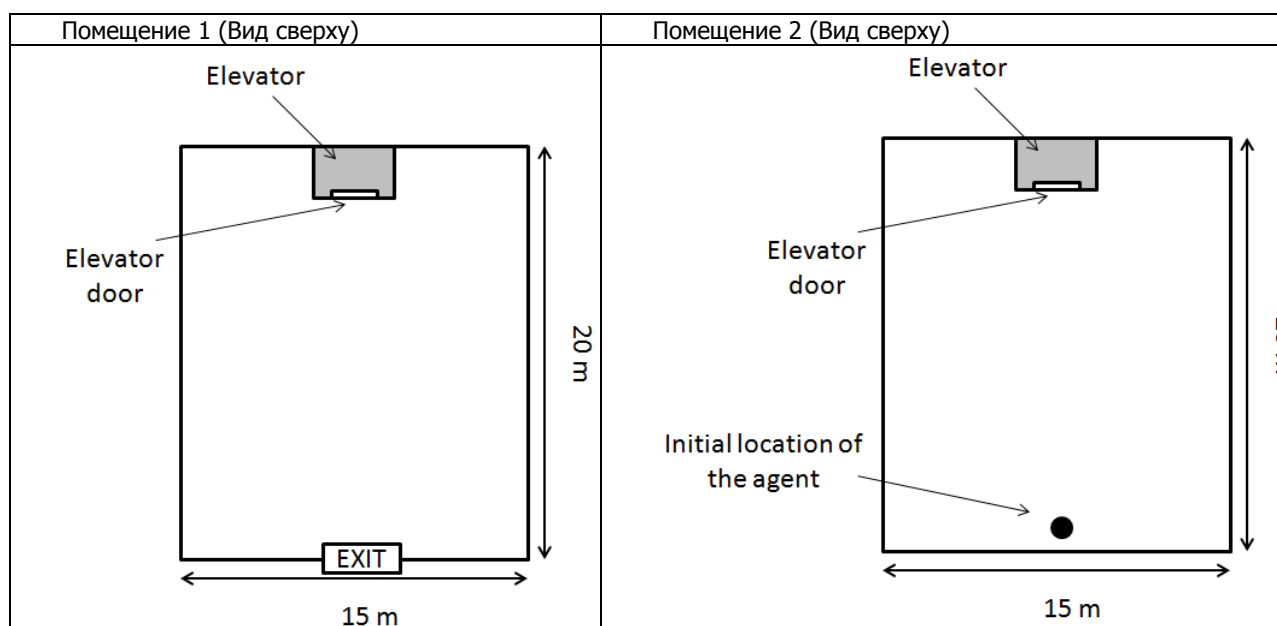
Построить две комнаты, а именно номер 1 и номер 2, размещенных на разных высотах, имеющих от пола до пола интер- расстояние, равное 3,5 м (см. рис. 3 и рис. 4). Наведите лифт, соединяющий две комнаты в соответствии с рис. 3 и рис. 4. Вставьте 1 м в ширину выход в номере 1.

### Сценарий

Вставьте пассажира, имеющего беспрепятственный скорость ходьбы в 1 м / с в номере 2 (см. рис. 3 и рис. 4) с мгновенным временем отклика. Лифт только выход компонент доступен для эвакуации. Лифт должен начать с комнаты 1, достигают комната 2 и забрать пассажира, а затем вернуться в номер 1 для выполнения пассажира. Специалист по проведению испытаний должен определить кинематические параметры лифта (например, скорости лифта, ускорение, открытия и закрытия времени и т.д.).



**Рис. 3. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф. 2.7. Вид сбоку.**



**Рис. 4. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф. 2.7. Вид помещений сверху 1 и 2.**

### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что пассажир первым входит в лифт в номере 2. То же occupant затем выпускается в номере 1 и достигает выхода в номере 1. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

### Метод испытания

Метод испытаний качественное проверка присвоения модели, то есть способность модели для моделирования эвакуации с помощью лифта.

### Действия пользователя

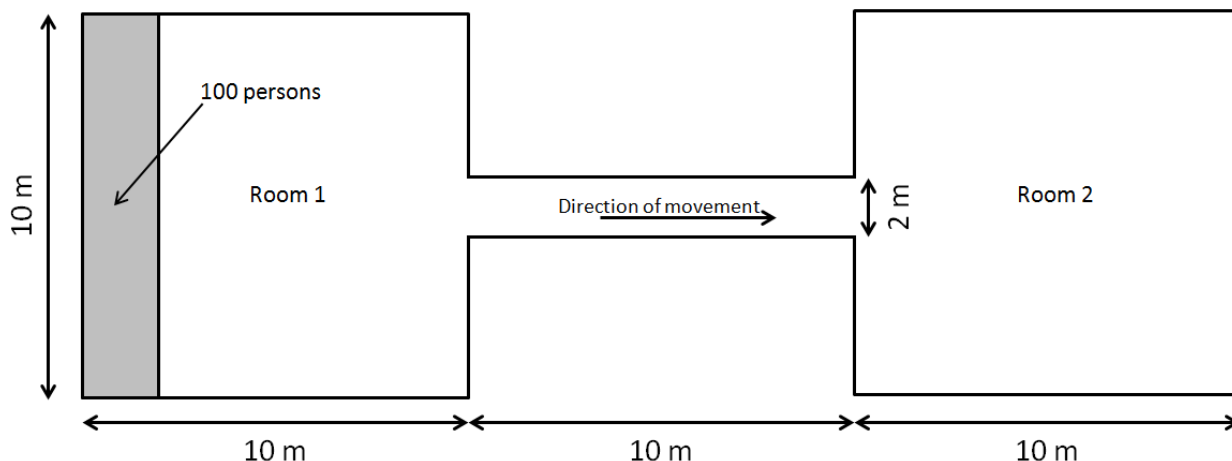
Если рассматриваемая модель не включает в себя лифт субмодели, Специалист по проведению испытаний рекомендуется обсудить это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ модели.

### **Вериф.2.8. Горизонтальные встречные потоки (помещения)**

Тест предлагается для проверки способности моделей воспроизводить встречный поток. Этот тест представляет собой модифицированный вариант теста IMO 8, и это проверка возникающих поведения, касающихся встречный поток.

#### Геометрия

Две комнаты 10 м (широкий и длинный), соединенный через коридор длиной 10 м и 2 м в ширину с началом и концом в центре одной стороне каждой комнате [см. Рис. 5].



**Рис. 5. Геометрическая схема испытания Вериф.2.8 на основе испытания IMO 8 [Международная морская организация, 2007].**

#### Сценарий

Выберите подгруппу, состоящую из населения 100 человек с временем отклика, равным 0 сек и распределите скорость ходьбы в соответствии с населением здания(й) (см. Лорд и др. [2005] для возможных демографических данных). Этап 1. Сто человек перемещаться из помещения 1 в помещение 2, где начальное распределение таково, что пространство помещения 1 заполняется оставшееся с максимально возможной плотностью. Регистрируется время, когда последний человек входит в помещение 2. Этап 2. Повторяется первый этап с дополнительными десятью, пятидесятью, и ста людьми в помещении 2. Эти люди должны иметь одинаковые характеристики с людьми, находящимися в помещении 1. Обе подгруппы населения одновременно двигаются в противоположные помещения, и регистрируется время, когда последние люди из помещения 1 входят в помещение 2.

#### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что время записи увеличивается число лиц, в увеличении против потока. метод испытания Метод испытания качественная оценка возможностей модели воспроизведения горизонтальных встречные потоки (против потоки в помещениях). Результаты модели необходимо сравнить и различия (в смысле времени эвакуации) между шагах тестирования представлены. действия пользователя Модель тестирующий должен качественно обсудить степень регистрируемых времени увеличивается за счет встречных потоков.

#### **Вериф.2.9. Поведение групп людей**

Модели эвакуации [Кулиговски и др., 2010] часто включают возможность моделирования взаимодействия между людьми в здании, то есть поведения групп людей. В этом случае, группа поведения относятся только к движению людей (то есть они не включают принятие решений, коммуникацию и т.д.). Данное испытание предназначено для выполнения качественной верификации формирующиеся поведения групп. Данное испытание определяет, доступна ли субмодель группы, и если она доступна, воспроизводить поведение групп людей не только как нескольких отдельных индивидов с одинаковыми характеристиками, но как образовавшуюся группу людей, даже в случае если их характеристики отличаются (например, разная скорость ходьбы).

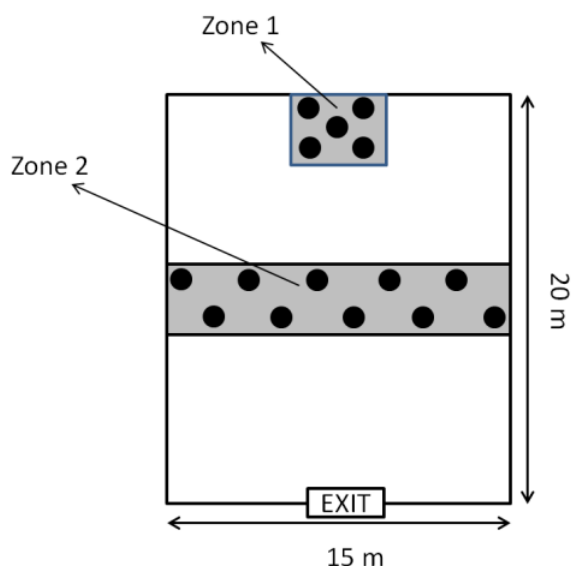
#### Геометрия

Помещение размером 15 м на 20 м с выходом 1 м.

#### Сценарий

Пять людей относятся к одной и той же группе трудоспособных взрослых, а именно группе 1, в верхней части помещения (см. зону 1 на Рис. 6) с временем отклика, равным 0 с. Четыре человека из группы 1 имеют постоянную скорость беспрепятственного движения 1,25 м/с. Пятый человек в группе 1 имеет постоянную беспрепятственную скорость ходьбы от 0,5 м/с. В центральной части помещения находятся 10 взрослых людей, передвигающихся более медленно (Группа 2), с постоянной беспрепятственной скоростью ходьбы от

0,2 м/с равномерно распределены в зоне 2, как показано на рис. 6. Люди в зоне 1 должны добраться до выхода помещения.



**Рис. 6. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф.2.9.**

#### Ожидаемый результат

Тест должен продемонстрировать, что обитатели группы 1 будут добраться до выхода вместе (т.е. время для пассажиров 1-й группы, чтобы добраться до выхода не должно отличаться более чем на 10 с). Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели. Выбор 10 с произвольно вызваны необходимостью установить ряд, чтобы сделать количественное сравнение. Предварительные испытания были проведены с эвакуацией модели, которая использует предположения очень похож на большинство моделей, представляющих группы поведения для того, чтобы оценить примерное время, необходимое для достижения выхода и оценивать ожидаемые различия.

#### Метод испытания

Метод испытания – это оценка возникающих поведения, которые использует количественные критерии. Анализ выполняется путем сравнения времени, необходимого оккупантами 1 группы добраться до выхода.

#### Действия пользователя

Если рассматриваемая модель не позволяет моделировать группы поведения, Специалист по проведению испытаний рекомендуется обсудить это ограничение в документации, связанной с ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ модели.

#### **Вериф.2.10 Маломобильные группы людей**

Люди с ограниченными возможностями являются важной частью населения, что разработчики модели начинают включать в моделях эвакуации. Данный тест предназначен для проверки возникающих поведения людей с ограниченными возможностями. Verif 2.10. направлен на проверку возможность имитации пассажира с ограниченной подвижностью (например, снизилась скорости движения и увеличение пространства, занимаемого пассажирами), а также представляющие взаимодействия между обесцененным лиц и остальной части населения и окружающей среды.

#### Геометрия

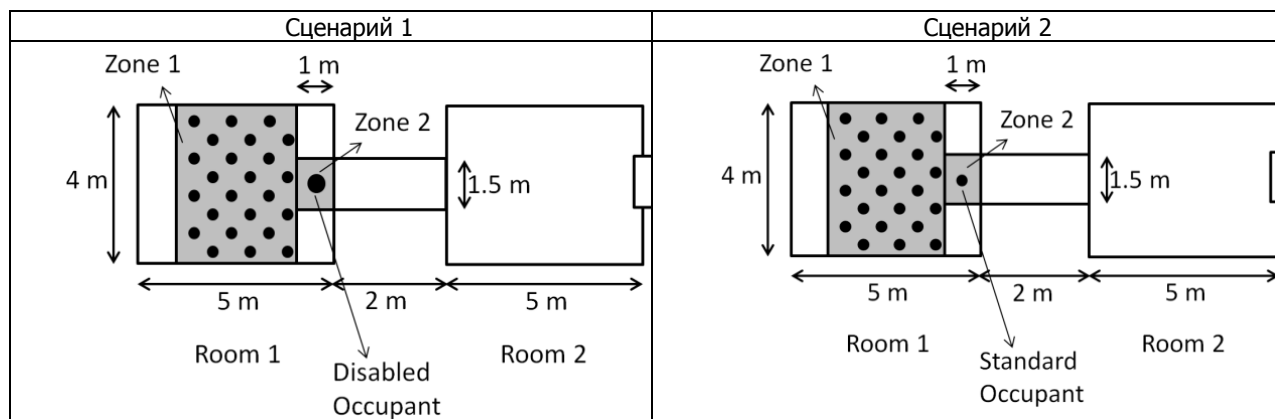
Построить две комнаты на разных высотах, а именно номере 1 (1 м выше уровня земли) и комнатной 2 (на уровне земли), соединенных между собой рампы (или коридора / лестницы, если модель не представляет пандусы). Вставьте один выход (1 м в ширину) в конце номере 2 (см. рис. 7 для схематического представления из комнат).

#### Сценарии

Сценарий 1: Помещение 1 занимают подгруппы, состоящие из 24 людей в зоне 1 (с беспрепятственной скоростью ходьбы 1,25 м/с и размером тела умолчанию предполагается моделью) и 1 -инвалида пассажира в зоне 2 (пассажиров предполагается, иметь беспрепятственной скоростью ходьбы, равную 0,8 м / с на горизонтальных поверхностях и 0,4 на рампе (см. рис. 7).инвалидов пассажиров также предполагается занимают площадь большую, чем половина ширины пандуса (> 0,75 м) (например, пользователь инвалидного кресла)<sup>3</sup> (<sup>3</sup> Необходимо отметить, что это испытание предназначено для моделей, которые позволяют моделировать агенты различных размеров (т.е. непрерывные модели или модели ячеистых автоматов, что позволяет моделировать агенты, занимающие более одной ячейки). Все люди должны добраться до выхода в

помещении 2.

Сценарий 2: Повторно запустите испытание и займите зону 2 людьми с теми же характеристиками как у других 24 людей в зоне 1 (т.е. нет людей с ограниченными возможностями в моделировании). Все люди должны добраться до выхода в помещение 2.



**Рис. 7. Принципиальная геометрическая схема испытания Вериф.2.10.**

#### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что пассажиры в зоне 1 в сценарии 1 доберутся до выхода в то время, медленнее, чем жителей в зоне 1 в сценарии 2. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

#### Метод испытания

Тест является качественной верификацией, возникающих алгоритмов поведения. Проводящий испытание должен качественно оценить, способна ли модель моделировать людей с ограниченными возможностями и их возможное влияние на время эвакуации.

#### Действия пользователя

Если рассматриваемая модель не позволяет моделировать людей с ограниченными возможностями передвижения, или это не позволяет моделировать агентов разных размерностей, Специалист по проведению испытаний рекомендуется обсудить это ограничение в документации, связанной с валидацией и верификацией модели.

### **3.1.3 Выбор / использование выхода**

Испытания могут быть предоставлены для изучения либо способность пользователю указать выхода использование или способность модели выделить выхода использование данного определенные параметры. Выход выбор субмоделей, доступных в построении моделей эвакуации может полагаться на простых критериев (наименьшее расстояние, определенное пользователем), что позволяет детерминированный, а не интеллектуального результата. Для случая моделей, основанных на детерминированных критериев, ожидается, что оккупанты всегда будет выбрать ближайший выход во всех сценариях, если выбор выхода не определяется пользовательского ввода. Тест распределение выход маршрут на основе IMO Испытание 10 предлагается. Два проверочные тесты, направленные на оценку возможности моделей эвакуации в имитации социального влияния (Вериф.3.2) и принадлежность / знакомство с выходом (Вериф.3.3) также представлены.

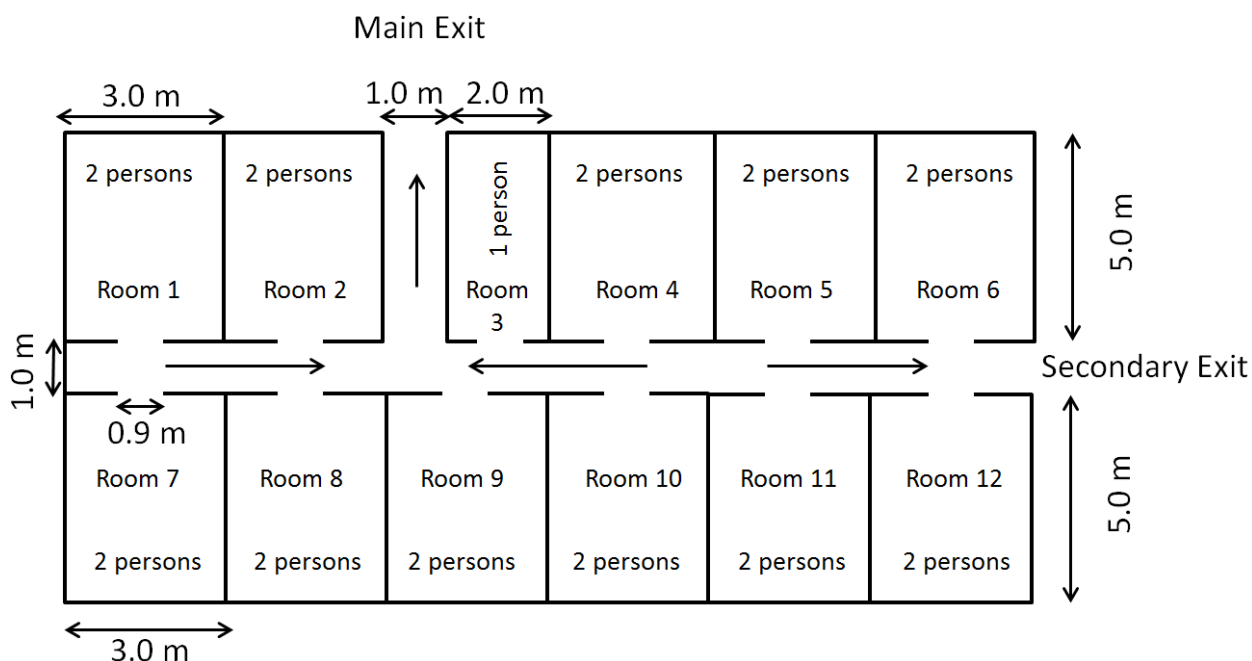
#### **Вериф.3.1. Размещение маршрута выхода**

Размещение маршрута выхода предлагается в целях верификации детерминированного назначения использования выхода. Испытание основано на испытании 10 IMO.

#### Геометрия

Построить участок коридора с помещениями в соответствии с рис. 8.





**Рис. 8. Принципиальная геометрическая схема испытание Вериф.3.1. на основе опыта 10 IMO [Международная морская организация, 2007].**

#### Сценарий

Заполните номера с оккупанты имея скорость ходьбы и характеристики в соответствии с ожидаемыми демографии населения здания (ях) (см. Лорд и др. [2005] для возможных жильца демографии). Распределите скорости ходьбы и время отклика, равное 0 сек над населением 23 человек. Лица в номере 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10 и распределяются на главном выходе. Все остальные пассажиры выделяются вторичный выход.

#### Ожидаемый результат

Выделенные оккупанты двигаться к соответствующим выходам. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

#### Метод испытания

Метод испытаний качественное проверка присвоения модели, то есть способность модели представлять выделение выход маршрута.

#### Действия пользователя

Специалист по проведению испытаний должен упомянуть если выход выбор субмодели основан на детерминированных предположениях или это прогностическая в документации, связанной с тестом, где представлены результаты модели.

### **Вериф.3.2. Социальная влияние**

Одним из основных факторов, которые могут повлиять маршрута выбор использования / выхода является социальное влияние [Дойч и Жерар [1955], Латане и Дарли [1970], Нильссон и Йоханссон, 2009]. Социальная влияние определяется как изменение взглядов, убеждений, мнений или поведения в результате того, что один уже столкнулись другие [Хьюстоун и Мартин, 2008]. Идеальный тест предлагается для анализа возникающих поведения в отношении социального влияния в построении моделей эвакуации. Этот тест направлен на качественно проверки возможности модели для имитации воздействия социального влияния на выход выбора. Предыдущие исследования показали важность социального влияния как ключевой аспект, который необходимо решать, чтобы выполнить прогнозы использования выхода [Кинатеде, 2013]. Этот тест требует выхода выбор субмодели, которая включает возможность моделирования социальных взаимодействий и их влияние на использование выхода.

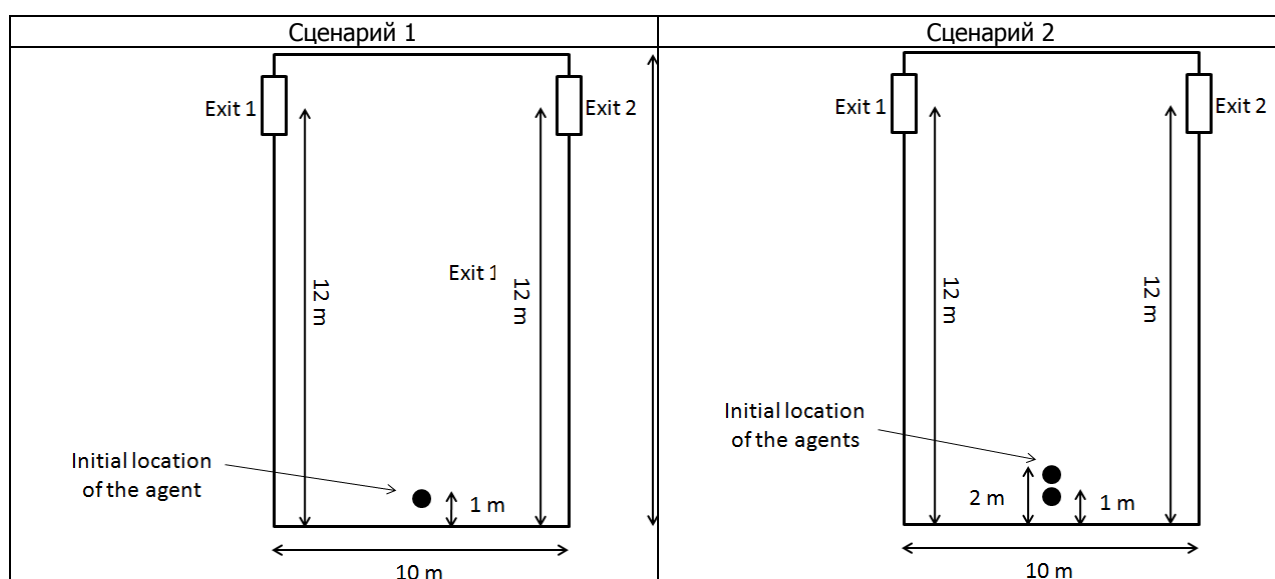
#### Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис. 9, где в центре двери на 12 м от 10 м в длину стены).

#### Сценарии

Сценарий 1: Вставьте один пассажира (жителя 1) в комнате с временем отклика, равным 0 с и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м / с, как показано на рисунке 9 (черная точка представляет пассажира которая 1 м от нижняя стенка, что составляет 10 м в длину). Житель не имеет предпочтительный выход (т.е. они не знакомы ни с одним из выходов). Житель должен быть помещен всегда в том же положении между различными трасс и его / ее позиция должна быть на одинаковом расстоянии от обоих выходов. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1%<sup>4</sup> (<sup>4</sup> Различные методы могут быть приняты для оценки сходимость процент использования выхода. Требование 1 % был выбран, так как он считается легко наносится на модельных Специалист по проведению испытаний ов и это позволяет сравнить проценты, снимающих сбивающий фактор воздействия числа серий более использования выхода.) с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для двух выходов.

Сценарий 2: Вставьте дополнительный пассажира (пассажиров 2) в комнате с мгновенным временем отклика и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м / с, как показано на рисунке 9 (два оккупанты в общей сложности). Дополнительный пассажир находится в 2 метрах от нижней стенки, длина которого составляет 10 м. Это пассажир детерминировано назначен Выход 2. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для двух выходов для обоих пассажиров, т. е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для обоих пассажиров.



**Рис. 9. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.3.2. тест.**

#### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что использование выхода 2 увеличивается в сценарии 2 для пассажиров 1.

#### Метод испытания

Метод оценки этого теста является количественная оценка результатов моделирования с точки зрения использования выхода.

#### Действия пользователя

Следует отметить, что выход выбор субмодели моделей эвакуации может полагаться на простых критериев (кратчайшее расстояние, определенный пользователем), то есть они могут быть основаны на детерминированной выбору пользователя, а не прогнозирования использования выхода. Для этого типа модели ожидается, что оккупанты всегда будет выбрать ближайший выход во всех сценариях, если выбор выхода не определяется пользовательского ввода. Специалист по проведению испытаний должен документировать это ограничение.

#### **Вериф.3.3. Присоединение**

Этот тест направлен на качественно проверки возможности моделей эвакуации для имитации эффекта знакомство индивида с выходом на использовании выхода. Этот тест относится к категории проверки испытаний возникающих поведения (EB\_VERIF). Принадлежность является понятие, введенное Симе [1984], который относится к вероятности человека, предпочитая использование знакомой выхода над незнакомой одного (например, предпочитая идти навстречу местоположения, используемого для входа в здание) в процессе эвакуации. Этот тест требует выхода выбор субмодель, которая включает переменную, которая

может непосредственно моделировать принадлежность пассажиров с выходов. несколько<sup>34</sup> модели эвакуации могут включать алгоритмы, которые явно представляют влияние принадлежности на процесс принятия решений.

Также в этом случае, Специалист по проведению испытаний следует отметить, если выход выбор суб-алгоритм эвакуации рассматриваемой модели на основе детерминированных критериев, т.е. если выход выбор обусловлен только критериев расстояния или пользовательского ввода. В тех случаях, этот тест не считается проверки возникающих поведения, но он представляет аналитическую проверку (т.е. проверку присвоения модели).

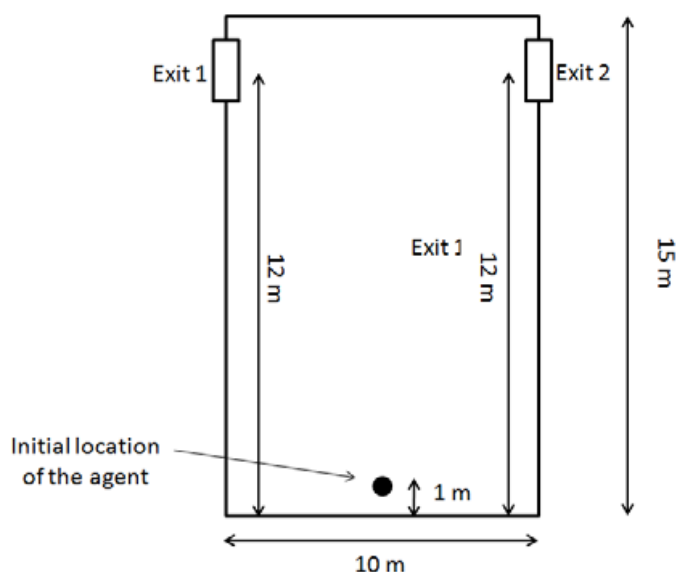
#### Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис. 10).

#### Сценарии

Сценарий 1: Вставьте человека в помещении с временем отклика, равным 0 с и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м / с, как показано на рисунке 10 (черная точка представляет пассажира которая 1 м от 10 м в длину стены в нижней части рис 10). Житель всегда должны быть размещены в том же положении между различными трасс и его / ее позиция должна быть на одинаковом расстоянии от обоих выходов. Предполагается, что пассажир будет знаком с выходов. Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным перспективе. Аннотации использование выхода для двух выходов

Сценарий 2: Вставьте пассажира в центральной части в начале коридора с мгновенным временем отклика и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м / с, как показано на рисунке 10. Это житель связан с выходом 2. То же пассажир не является аффилированным лицом выход 1 (например, выход 2 является излюбленным выход выбран пассажира, если все остальные условия, влияющие на выбор одинаковы для всех выходов). Запустите тест несколько раз, пока не получите стабильный процент использования выхода для обоих выходов т.е. использование выхода не меняется более чем на 1% с дополнительным run<sup>5</sup> (<sup>5</sup> Различные методы могут быть приняты для оценки сходимость процент использования выхода. Требование 1 % был выбран, так как он считается легко наносится на модельных Специалист по проведению испытаний ов и это позволяет сравнить проценты, снимающих сбивающий фактор воздействия числа серий более использования выхода). Аннотации использование выхода для обоих выходов.



**Рис. 10. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.3.3. тест.**

#### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что использование выхода 2 в сценарии 2 выше, чем использование выход 2 в сценарии 1.

#### Метод испытания

Метод оценки этого теста является количественная оценка результатов моделирования с точки зрения использования выхода.

#### Действия пользователя

Модель Специалист по проведению испытаний должен задокументировать если модель включает в себя

специальный алгоритм для моделирования принадлежности и если выход выбор субмодель основана на детерминированных условиях (т.е. определяется пользователем процент использования выхода), или же если она включает в себя интеллектуального суб- алгоритм.

#### 3.1.4 Доступность маршрута

Это основной элемент имеет дело с маршрутов, доступных для эвакуированных [Гвинн и др., 2012a]. Проверка тест (Вериф.4.1.) Предлагается, чтобы проверить способность модели для назначения определенных компонентов маршрута / выход для пассажиров и изменять статус маршрута с течением времени (динамический наличие). Например, дверь может быть оказана недоступен (во времени) из-за дыма, тепла и т.п. Тест должен убедиться, что модель назначение является правильным.

#### **Вериф.4.1. Динамика доступности выходов**

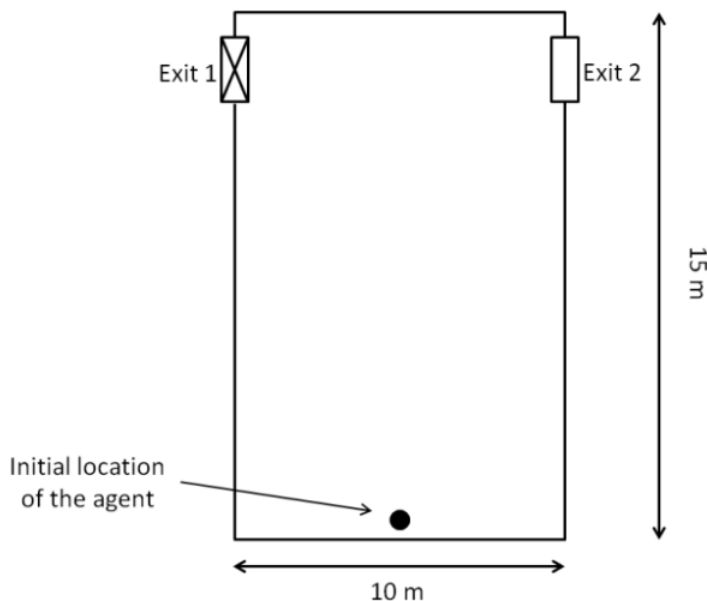
Этот тест направлен на качественно оценить возможности модели для представления динамического доступа к выходам.

##### Геометрия

Построить комнату размером 10 м на 15 м. Два выхода (1 м в ширину) доступны на 15 м стены комнаты и они одинаково удалены от 10 м длинной стены в конце комнаты (см. рис. 11).

##### Сценарий

Вставьте пассажира в комнате с временем отклика, равным 0 и постоянной скорости ходьбы, равной 1 м / с, как показано на рисунке 11. Выход 1 становится недоступным после 1 с времени моделирования. Проверьте использование выхода для обоих выход 1 и выход 2.



**Рис. 11. Схематический вид сверху геометрической макет для Вериф.4.1. тест.**

##### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что выход 1 не используется пассажира.

##### Метод испытания

Модельные возможности анализируются в этом тесте с использованием количественную оценку результатов с точки зрения использования выхода. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

##### Действия пользователя

Если модель не включает в себя возможность для имитации использование динамической выхода, модель Специалист по проведению испытаний должен задокументировать это ограничение.

#### 3.1.5 Ограничения потока

Это ядро поведенческие элемент сопряжен с представлением о соотношении жилья скорости, течет, плотность, размер населения и выход компонент на рассмотрении [Гвинн и др., 2012a]. Тест проверка (Вериф.5.1) предлагается проверить возможности воспроизвести заторов в моделях эвакуации. Тест на

максимальных скоростях потока также представлены (Вериф.5.2).

#### **Вериф.5.1. Скопление людей**

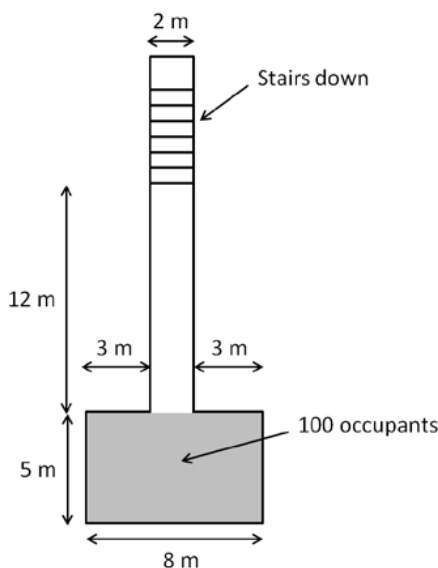
Тест предлагается для использования проверки, как модель имитирует заторов. Модифицированная версия IMO тесте 11 предлагается. Тест направлен на проверки ограничения потока в лестнице.

##### Геометрия

Построить номер, подключенный к лестнице через коридор (см. Рис. 12 за комнату, лестницы, и размеров коридора).

##### Сценарий

Заполните номер с субпопуляции, состоящей из 100 пассажиров, что соответствует плотности<sup>6</sup> (<sup>6</sup> Эта высокая плотность была выбрана для того, чтобы исследовать случаи скопления людей, то есть относительно большое число людей в узком пространстве) 2,5 человек/м<sup>2</sup> с характеристиками, в соответствии с населения здании(ях) (см. Лорд и др. [2005] для возможных демографически данных). Люди реагируют мгновенно и скорость ходьбы распределяется на 100 человек.



**Рис. 12. Схематический вид сверху геометрический макет для Вериф.5.1. Тест IMO 11 [Международная морская организация, 2007].**

##### Ожидаемый результат

Ожидаемый результат в том, что скопление появляется на выходе из комнаты, которая производит постоянный поток в коридоре с образованием заторов в основании (т.е. нижнюю) часть лестницы. Учитывая различные характеристики потока коридора и лестницы. Если возможно, эта оценка может быть выполнена с помощью визуализации инструмент модели.

##### Метод испытания

Метод испытания является качественным проверка результатов моделирования с точки зрения моделируемых скоплений.

##### Действия пользователя

Следует отметить, что, поскольку строительство эвакуации обычно возникает движется вниз, геометрия IMO тесте 11 была изменена, то есть, лестница ведет к более низкому уровню, а не на верхнем уровне.

#### **Вериф.5.2. Максимальная скорость движения потока**

Испытание предложено установить требование с запасом для максимально допустимое скорости движения потока. Этот тест основан на тесте IMO 4.

##### Геометрия

Построить помещение размером 8 м на 5 м с выходом 1 м, расположенного по центру 5 м стены.

##### Сценарий

Разместите 100 человек в помещении и направьте их к выходу<sup>7</sup> (<sup>7</sup> В соответствии с плотностью 2,5 человек/м<sup>2</sup>. Такая высокая плотность выбрана с целью исследования скорости потока в местах скопления

людей, то есть относительно высокое количество людей в узком пространстве).

#### Ожидаемый результат

Скорость потока на выходе за весь период не должна превышать заранее определенный максимальный порог.

#### Метод испытания

Метод испытания количественная оценка результатов моделирования, то есть сравнения результатов, полученных с помощью модели и максимального расхода.

#### Действия пользователя

Этот тест также может быть восприимчив к типу сетки / используемой сети в случае мелких и крупных сетевых моделей. По этой причине, Специалист по проведению испытаний должен продемонстрировать чувствительность результатов в отношении к другому дискретизации пространства. Этот тест можно интерпретировать двумя способами. Во-первых, он является проверка проверяет, является ли рассматриваемая модель представляет потоки через двери с использованием ограниченных потоков. Тем не менее, он может быть вместо этого предназначены в качестве внешнего требования проверки, если потоки возникшей и Специалист по проведению испытаний хочет гарантировать, что максимальный расход не был превышен. Пример максимального расхода является рекомендованной MSC / Circ. 1238 (1.33 p/м/с) [Международная морская организация, 2007]. Модель Специалист по проведению испытаний должен документировать предположения, принятые в представлении потоков.

### **3.2 Испытания по валидации**

В этом разделе представлен список тестов, предложенных для валидации моделей эвакуации. Набор изображений, перечисленные здесь, необходимо до начала обсуждения на тестах, предложенных для проверки:

1) Экспериментальные наборы данных на поведение человека в огне не хватает, тем самым ограничивая возможное количество оценочных испытаний, которые можно выполнять.

2) Определение теста проверки лежит техника, принятых для сбора эвакуации экспериментальные данные (и последующих неопределенности), в документации, прилагаемой экспериментальных наборов данных, и их доступность для общественности.

3) Современные модели эвакуации, учитывая отсутствие данных о поведении человеческого, относительно ограничены с точки зрения поведенческих предсказаний, то есть, они в основном детерминированным или зависимого пользователя.

4) Испытания по валидации выбираются с целью повышения понимания ограничений эвакуация модели.

Полный список оценочных испытаний должна включать в себя экспериментальные наборы данных, связанные с полным набором возможных поведений и сценариев, представляющих процесс эвакуации. Тем не менее, отсутствие экспериментальных наборов данных затрудняет для проверки всех аспектов инструментов моделирования эвакуации.

Модели эвакуации могут быть созданы, начиная с набором специфических экспериментальных данных. Проверка модели не следует проводить с использованием только одни и те же данные, используемые для ее развития. Это будет производить круговую логику, которая может ограничить степень, в которой предсказания модели могут быть обобщены для всех возможных сценариев.

Альтернативный тип эвакуации модели дизайна основывается на использовании гипотетических предположений, а не экспериментальных наборов данных. Примером этому вопросу является моделирование слияния потоков в лестнице. Например, эвакуации населения в настоящее время обсуждает соответствующий коэффициент лестницы слияния должна быть принята в высотных зданиях. Несколько экспериментальных исследований [Бойс и др., 2012], Хокуго и др. [1985], Мелли и др. [2009], Клык и др., 2012] доступны по этой теме. По этой причине, это не возможно, чтобы обеспечить проверочные тесты для этого вопроса или любые другие вопросы эвакуации, для которых существует непонимание реальных поведения водителя и пассажиров.

На сегодняшний день, определение полного набора экспериментальных данных, которые будут использоваться для проверки достоверности основных поведенческих компонентов моделей эвакуации не возможно в связи с ограниченным количеством экспериментов, пригодных для проверки. Тем не менее, этот раздел предлагает набор примеров экспериментальных / фактических наборов данных, которые подходят для проверки конкретных аспектов эвакуации. Следовательно, приведенные примеры не следует рассматривать как исчерпывающий перечень испытаний по проверке моделей эвакуации. Как только дальнейшие наборы данных и теория разрабатываются, список оценочных испытаний может быть расширен и обновлен.

### 3.2.1. Примеры наборов данных для валидации моделей

В этом разделе представлен ряд потенциальных наборов данных, которые могут быть пригодны для анализа основных поведенческих компонентов моделей эвакуации здания. Как упоминалось ранее, этот список не следует рассматривать как исчерпывающий перечень оценочных испытаний, а как набор примеров возможных наборов данных. В таблице 2 представлены предложенные наборы данных для анализа основных компонентов поведенческих моделей эвакуации. Выбор потенциальных наборов данных основана на их доступности для общественности, документации, связанной с ними, и способ сбора данных / анализа занятого. Также предоставляются Предложения по переменным, которые можно использовать для сравнения предсказаний модели с экспериментальными данными. Подробная информация о наборах данных можно найти в соответствующих справочниках. Примеры применения эвакуации наборов данных для проверки достоверности моделей эвакуации можно найти в Рончи и др. [2013b].

**Таблица 2. Примеры возможных экспериментальных данных для валидации основных ключевых компонентов моделей эвакуации здания.**

Основной компонент	Субэлемент	Рекомендуемая переменная для сравнения	Экспериментальные данные <sup>8</sup>
1	Распределение времени до начала эвакуации	Время эвакуации, выбор выхода	Байер и Рейно [1999]
2	Эвакуации лестничной клетки	Время эвакуации	Кулиговски и Пикок [2010]
3,4	Влияние указателей пути эвакуации	Выбор выхода	Нильссон [2009]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Францих и др. [2007]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Хогендорн и Даамен [2005]
5	Мелкомасштабный эксперимент	Время эвакуации, скорость движения, потоки	Сейфрид и др. [2007]
1,2,3,4,5	Эвакуация всего здания	Время эвакуации	Пожар в ночном клубе «The Station» [Гроссхандлер и др., 2005]

<sup>8</sup> Эти данные в дальнейшем не должны использоваться в качестве ориентира для разработки модели.

## 4.0 НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭВАКУАЦИИ

В предыдущих разделах этого документа представлен список испытаний по верификации и рекомендуемые наборы данных для валидации моделей эвакуации. В целях обеспечения оценки возможностей моделей эвакуации, есть необходимость обсудить неопределенность, связанную с моделированием эвакуации, которая отражена в методах для выполнения верификации и валидации.

Неопределенность делится на различные компоненты в контексте пожарной техники безопасности и моделирования [Хаминс и Макгрэттан, 2007]: неопределенность входных данных модели, неопределенность измерений и внутренняя неопределенность.

1) Неопределенность входных данных модели связана с параметрам, полученными из экспериментальных измерений, которые используются в качестве входных данных модели, т.е. предположений, используемых для получения входных данных модели из экспериментов как часть процесса конфигурации модели.

2) Неопределенность измерения связана с самими экспериментальными измерениями, т.е. используются методы сбора данных.

3) Внутренняя неопределенность – это неопределенность, связанная с физическим и математическим допущениями и методами, присущими формированию модели.

Чтобы объяснить различные типы неопределенностей в случае с пожарной эвакуации здания, мы

обращаемся к моделированию движения группы людей в здании при эвакуации во время пожарной тревоги. Неопределенность, связанная с измерением скоростей является неопределенностью измерения. Приблизительное распределение, используемое для настройки входных данных модели, является неопределенностью входных данных модели. Неопределенность, связанная с расчетным методом, используемым в модели, чтобы представить движение людей является внутренней неопределенностью.

В случае моделирования эвакуации, неопределенность включает в себя дополнительный компонент, здесь называемый *поведенческой неопределенностью*. Поведенческая неопределенность – это неопределенность, связанная со стохастическими факторами, используемыми для представления человеческого поведения [Аверилл, 2011], и один эксперимент или модель выполнения не может быть представителем полный спектр поведения пассажиров. На самом деле, *«эвакуировать же здание с теми же людьми, начиная с тех же местах на последовательных дней и ответы могут существенно различаться»* [Аверилл, 2011]. Существует последовательная необходимость в нескольких экспериментальных наборах данных одного и того же сценария, чтобы понять возможную изменчивость поведения людей в каждом отдельном сценарии эвакуации. К сожалению, экспериментальных данных о поведении человека при пожаре не достаточно, а отдельные наборы данных зачастую представляют собой единственный доступный источник для изучения индивидуального сценария. В идеале, специалисты, испытывающие модель, должны использовать ряд эвакуаций из реального мира, и когда модели дают выходные данные в соответствии с диапазоном данных реального мира, модель проходит валидацию. Поскольку данных недостаточно, специалисты, испытывающие модель, часто полагаются на одно реальное наблюдение без понимания, является ли кривая представительной для средней поведенческой характеристики. Поведенческая неопределенность должна быть проанализирована в обеих экспериментальных и модельных исследованиях. В этом контексте, оценка изменчивости результатов моделирования по отношению к поведенческой неопределенности является ключевым вопросом для обсуждения. Это нашло отражение в оценке сходимости индивидуальному сценарию эвакуации моделирования к "средним" предсказал пассажиров эвакуации тайм- кривой. Оценка результатов эвакуации модели может также включать анализ хвостов распределения, а не анализ пиков (т.е. средние значения). Тем не менее, авторы утверждают, что изучение в среднем предсказаний модели вместе с изменчивостью результатов по всему среднему считается полезным методом для анализа поведения неопределенность. Следует отметить, что термин поведенческая неопределенность здесь введены в контексте пожарной безопасности науки, то есть этот термин может иметь различные значения в других областях исследований.

Специалисты по моделированию пожаров и эвакуации по-разному рассматривают неопределенность. Неопределенность, как правило, рассматриваются в моделях пожарных как детерминированный задачи, т. е. он традиционно изучали путем анализа чувствительности на выходе модели по отношению к изменчивости модели ввода [Джонс и др., 1995]. Это обусловлено тем, что пожарные модели, как правило, на основе детерминированных уравнений (например, Макгрэттан и др. [2010], Джонс и др. [2009]). С другой стороны, модели эвакуации часто относятся к неопределенности как стохастической задачи. Основное различие между большинством моделей пожарных и эвакуационных является в определении входе модели и алгоритмы. Например, вход огонь модель, как правило, основаны на одном входе (например, одной кривой для тепловыделения коэффициентом отдельных значений для характеристик горелки, и т.д.). В моделях эвакуации, входы, как правило, вставляется в терминах распределений возможных значений. Кроме того, основные алгоритмы моделей эвакуации часто используются значения вероятностей. Например, модели могут использовать псевдо - случайные алгоритмы для моделирования вероятность действия происходят на каждом повторном перспективе (например, выход, что агент будет использовать может варьироваться в различных пробегов и тому же сценарию). Следствием является то, что, за исключением неопределенности, связанной с предположениями моделирования, в моделях пожарных, неопределенность на выходе по существу, приводимых в действие выбора значений для входа (один вход даст один выход), в то время как выход неопределенность в модели эвакуации связано с выбором входа, а также лежащих в основе вероятностных алгоритмов внутри модели (один вход может производить несколько результатов).

Использование стохастических / случайных величин приводит к неспособности уверенно представлять все сигналы и факторы, влияющие на поведение человека, которые отражены в различных методов представления агентом (например, с использованием случайных величин). Существует двойной интерпретации о том, почему разработчики модели принять это решение. Первое толкование является то, что «человеческий фактор» вводит факторы, которые не совсем предсказуемой. Другая интерпретация может вместо этого полагаются на тот факт, что современные знания о человеческом поведении ограничено и никогда не может быть достаточно информации, чтобы предсказать реакцию человека с какой-либо степенью определенности.

Для решения неопределенность, связанную с человеческим поведением, модели эвакуации часто используют распределения или стохастические переменные для имитации движения людей (Кулиговски и др. [2010], Лорд и др. [2005], Рончи и Кинси [2011]), например, распределение ходьбы скорости, распределение времен до эвакуации и т.д. на самом деле, случайных чисел / семена могут быть использованы для решения разрешение конфликтного пространства, моделировать выход выбор, знакомство с выходом, очередей поведение и т.д. Когда распределения создаются принятия случайной выборки метод, Это приводит к генерации нескольких временных кривых пассажир - эвакуационных за тот же сценарий с использованием той же модели входы производятся. Случайные переменные могут быть присуща алгоритмов модели, и пользователи модели могут не иметь контроль / доступ к ним (особенно в моделях с закрытым исходным кодом). Это приводит к необходимости изучения изменчивости результатов, связанных с случайных величин встроенных в моделях.



Поэтому эвакуации моделисты сталкиваются с проблемой выбора соответствующего количества трасс для моделирования для того, чтобы быть представителем среднего модельного результата. Эта проблема возникает как при использовании моделей эвакуации для дизайна пожарной безопасности, а также во время проверочных исследований. На самом деле, два основных вопроса можно задать во время моделирования сценариев эвакуации, которые включают распределения или стохастические переменные: 1) В какое время пассажир - эвакуация кривая представитель модельных прогнозов в конструкции пожарной безопасности? 2) В какое время кривая пассажир - эвакуация должна использоваться в качестве ссылки во время сравнения с экспериментальными данными в исследовании проверки? На сегодняшний день, ответы на эти вопросы остаются как качественный суждению эвакуация модели пользователя. Например, в контексте проверки эвакуация модели, пользователи модели могут выбрать лучший прогноз модели во время сравнения с экспериментальными данными [Галлея и др., 2012b] или использовать среднюю общее время эвакуации модели (возможно, включая информацию о стандартное отклонение) в качестве представителя модельных предсказаний. Изучение средних общих времен эвакуации и соответствующие стандартные отклонения дает представление только от требуемой безопасной времени выхода, а не всего процесса эвакуации. Существует вместо потребность в способе, который расследует размер вариации для всей кривой времени пассажира - эвакуаторной. Альтернативным методом является имитация фиксированным числом повторных вызовах для рассмотрения вероятностный характер процесса эвакуации, как это предписано в Руководстве IMO [Международной морской организации, 2007]. Тем не менее, на сегодняшний день нет общепринятого количественного метода, чтобы оценить, как средний прогноз может изменяться в числа серий.

Кроме того, сложные сценарии эвакуации может быть вычислительных ресурсов для имитации. Например, предыдущие исследования по использованию кривых распределения для Монте-Карло моделирование для анализа неопределенности в эвакуации модели предсказания продемонстрировали необходимость большой вычислительной работы [Лорд и др., 2005]. Поэтому существует необходимость оптимизировать выбор числа серий одного и того же сценария для того, чтобы быть представителем жильцов " среднего поведения ", и дать количественную и вычислительно недорогой характеристику изменчивость связана с моделируемых работает (и последующей оценки поведенческой неопределенности, связанной с индивидуальной настройки эвакуации модели).

Изучение модельных предсказаний, как правило, осуществляется с помощью статистической обработки данных или качественную оценку результатов моделирования. Эти методы опираются на опыт пользователя с точки зрения выбора статистического метода приеме на работу или при оценке модели надежности предсказаний. Метод, который позволяет простой и вычислительно недорогой анализ предсказаний модели является функциональный анализ. Эта отрасль математики представляет кривые как векторы, и использует геометрические операции на кривых. Операции функционального анализа в настоящее время работают при сравнении оценок огонь модельных и экспериментальных данных [Пикок и др., 1999], Международная организация по стандартизации, 2008] и сравнения результатов эвакуации модельных и экспериментальных данных [Галлея и др., 2012b]. Тем не менее, функциональный анализ не привлекался до сих пор, чтобы сравнить эвакуация предсказания модели (производства одной модели или нескольких моделей) друг против друга, чтобы проанализировать неопределенность, связанную с числа серий одного и того же сценария эвакуации, т.е. поведенческий неопределенность.

В этом разделе предлагается набор критериев конвергенции для анализа вариабельности эвакуация модельных предсказаний и тому же сценарию эвакуации (т.е. той же модели ввода, который включает дистрибутив или стохастические переменные) в отношении числа серий. Порядок определения оптимального количества трасс - по отношению к сценарию эвакуации, используемой модели и рамки моделирования - представлена . Объем настоящей работы является обеспечение количественный метод для оценки изменчивости, связанной с числом пробегов тому же сценарию эвакуации. Предложенный метод позволяет проводить анализ поведенческой неопределенности и прогноз средней кривой времени человек-эвакуация по отношению к предварительно определенным критериям приемлемости.

#### 4.1 Метод исследования поведенческой неопределенности при моделировании эвакуации

Использование моделей, использующих стохастические/случайные величины для моделирования поведения человека создает необходимость систематического и количественного анализа поведенческой неопределенности. Для решения этой проблемы, в данном разделе представлена методика анализа поведенческой неопределенности в эвакуации моделирования [Рончи и др., 2013с]. Она включает в себя определение пяти критериям конвергенции для анализа временных кривых пассажир - эвакуационных производимых моделей эвакуации и процедуры для оценки оптимального количества серий в связи с заранее определенным критерием приемлемости.

Предложенная методика основана на определении набора конвергенции мер, которые достаточно описывают распределение кривых времени люди-эвакуация. Этот вопрос рассматривается путем построения ряда для каждой меры и демонстрации, что мера достаточно близка к ожидаемому значению, т. е. ряды сходятся к средней кривой времени человек-эвакуация.

Серия  $S = \{s_1, \dots, s_n\}$  сходится к  $S_c$ , если для любого положительного действительного значения  $\epsilon$  существует  $n$  таким образом,  $|S_c - s_n| < \epsilon$ .

Серия представляет прогнозируемое время эвакуации моделей эвакуации на основе данных выборки. Это

означает, что серия, скорее всего, не плавно сходится, следовательно, это может случиться, что  $|S_c - s_{n+1}| > |S_c - s_n|$ . Чтобы повысить уверенность, что серия достаточно конвергентна, добавлено требование, чтобы последние значения  $b$  в серий (меры сходимости) находились в пределах  $S_c$ . Для некоторых серий мы не могли бы знать, ожидаемое значение  $S_c$ , то есть значение, к которому ряд сходится. В этих случаях, последнее текущее значение серии используется в качестве наилучшей предполагаемой оценки значения к которой сходится серия.

#### 4.1.1 Понятия функционального анализа

Прежде чем перейти к обсуждению критериев конвергенции, необходимо представить три понятия функционального анализа, а именно евклидову относительную разность (ERD), евклидову коэффициент проецирования (EPC) и секанс косинус (SC). Первоначальные применения этих понятий в области пожарной науки рассматриваются в работах Пикока и др. [1999] и Галея и др. [2012b].

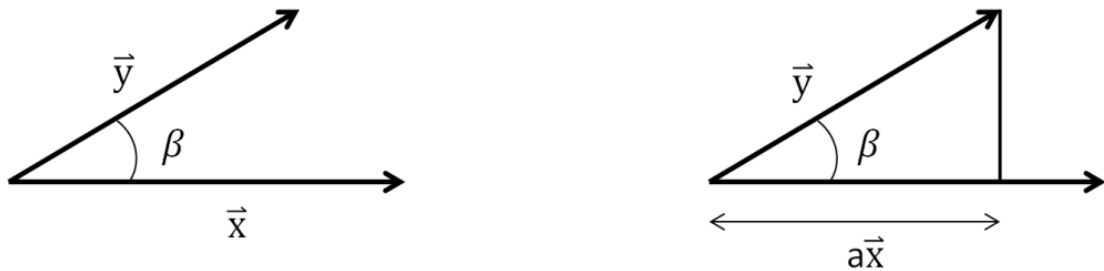
Единичное сравнение двух отдельных точек на кривой может быть сделано путем нахождения нормали разности между двумя векторами, представляющими данные. Нормаль представляет длину вектора. Расстояние между двумя векторами соответствует длине вектора и в результате дает разность двух векторов. Для общего вектора  $\vec{x}$ , нормаль представлена символом  $\|\vec{x}\|$ . Это понятие может быть расширена до нескольких измерений. Расстояние между двумя родовыми многомерными векторами  $\vec{x}$  и  $\vec{y}$ , следовательно, представляет собой нормаль разности векторов  $\|\vec{x} - \vec{y}\|$ . Евклидова относительная разность между двумя векторами может быть нормализована как относительная разность к вектору  $\vec{y}$  (см. уравнение 6).

$$ERD = \frac{\|\vec{x} - \vec{y}\|}{\|\vec{y}\|} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i)^2}} \quad [\text{Уравнение 6}]$$

Евклидова относительная разность (ERD) представляет, таким образом, общее соглашение между двумя кривыми.

Две составляющие могут рассматриваться при сравнении двух векторов, а именно расстояние между двумя векторами и угол между векторами.

Вводится понятие коэффициента проекции  $\alpha$ . С геометрической точки зрения, вектор  $\alpha\vec{x}$  представляет собой проекцию вектора  $\vec{y}$  на вектор  $\vec{x}$  (см. рис. 13).



**Рис. 13. Коэффициент проекции для двух векторов.**

$\alpha$  определяет коэффициент, сокращающий расстояние между двумя векторами до минимума (см. рис. 13). Решение минимальной задачи найдено и соответствует уравнению 7.

$$\alpha = \frac{\|\vec{y}\|}{\|\vec{x}\|} \cos \beta \quad [\text{Уравнение 7}]$$

$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$  – скалярное произведение двух векторов, т. е. произведение длины двух векторов и косинуса угла между ними. Скалярное произведение может быть истолковано как стандартное скалярное произведение, дающее уравнение 8.

$$\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle = \sum_{i=1}^n (x_i y_i) \quad [\text{Уравнение 8}]$$

Евклидов коэффициент проекции (ЕРС) может быть найден путем исследования минимальной задачи, т.е. исследования, когда производная функции равна нулю (см. Пикок и др. [1999] для полного решения минимума), что соответствует следующему уравнению:

$$\alpha = EPC = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{y}\|^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i y_i)}{\sum_{i=1}^n (y_i)^2} \quad [\text{Уравнение 9}]$$

ЕРС определяет коэффициент, который при умножении на каждой точке данных вектора  $\vec{y}$  сокращает расстояние между векторами  $\vec{y}$  и  $\vec{x}$  до минимума, то есть наиболее точный подбор двух кривых. Понятие секанса косинуса (SC) также представлено. Он представляет собой меру разностей формы двух кривых. Это исследуется путем анализа первой производной обеих кривых. Для точек данных  $n$ , многомерный набор  $n$ -1 векторов может быть определен для приближения производной, что приводит к уравнению 10 [Пикок и др., 1999.]:

$$SC = \frac{\langle \vec{x}, \vec{y} \rangle}{\|\vec{x}\| \|\vec{y}\|} = \frac{\sum_{i=s+1}^n \frac{(x_i - x_{i-s})(y_i - y_{i-s})}{s^2(t_i - t_{i-1})}}{\sqrt{\sum_{i=s+1}^n \frac{(x_i - x_{i-s})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})} \sum_{i=s+1}^n \frac{(y_i - y_{i-s})^2}{s^2(t_i - t_{i-1})}}} \quad [\text{Уравнение 10}]$$

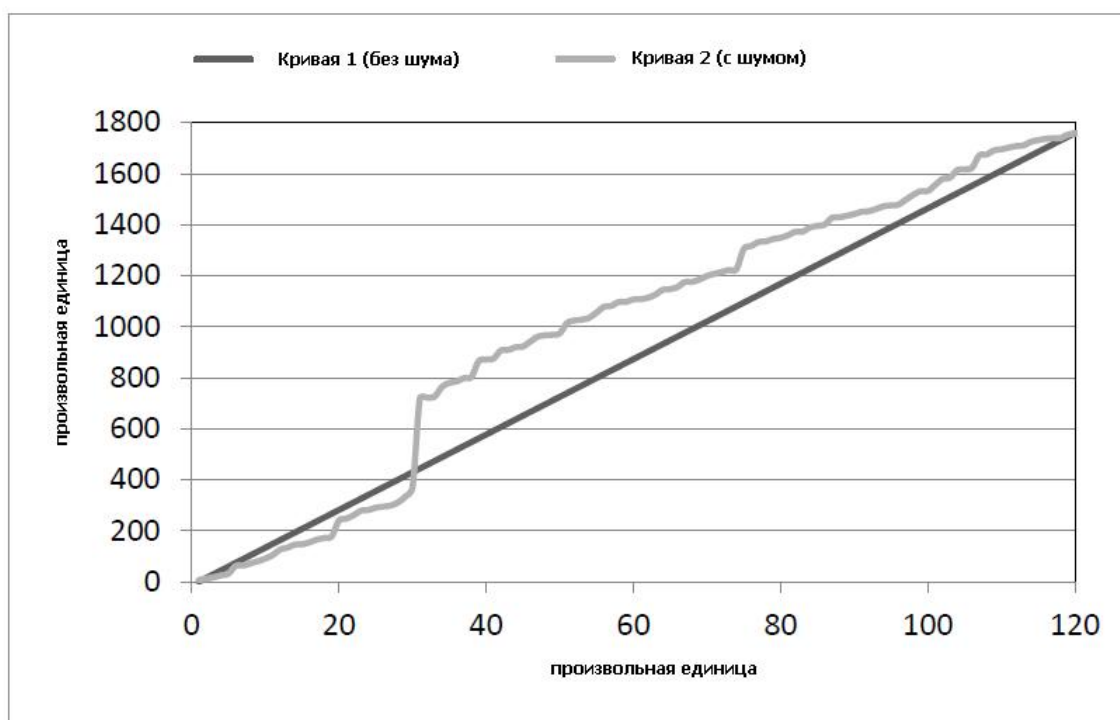
где:

$t$  – мера расстояния между данными, т. е.  $t = 1$ , если существует точка данных для каждого человека;

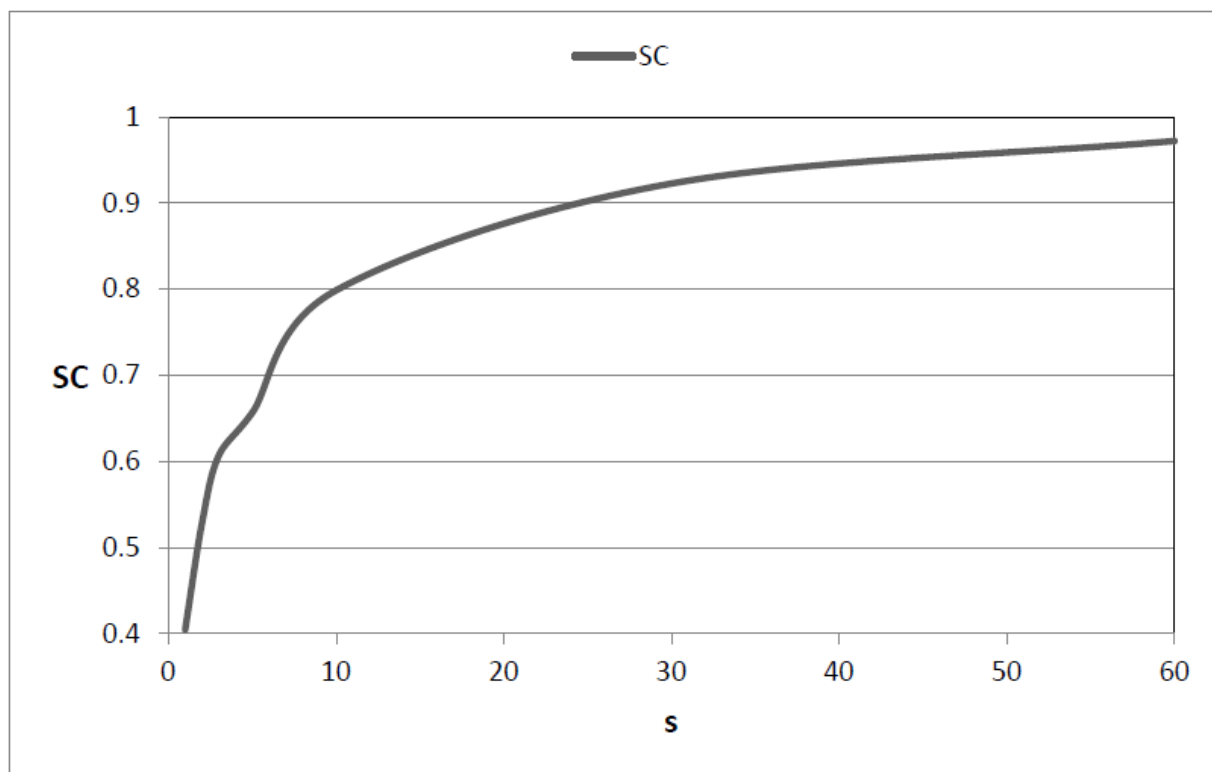
$s$  – количество точек данных в интервале;

$n$  – количество точек данных в набора данных.

Когда секанс косинус равен единице, формы двух кривых одинаковы. В зависимости от значения  $s$ , шум данных сглаживается. Пример влияния различных значений  $s$  на секанс косинус показан на рис. 14 и 15. На рис. 14 показаны две гипотетических кривых (полученные с помощью 120 значений  $x$  и  $y$ , соответствующих 120 произвольным точкам данных), которые включают шум или отсутствие шума. Сравнение форм двух кривых производится с использованием различных значений  $s$ . Например, на рис. 14 показано, что если  $s = 1$ , весь шум учитывается при расчете секанс косинуса с применением уравнения 10, в то время как, если  $s = 60$ , шум сглаживается и кривая линия рассматривается как прямая при расчете секанс косинуса. На рис. 15 показано, что использование более высоких значений  $s$  сокращает влияние шума при сравнении, например, секанс косинус стремится к 1 по отношению к увеличению значений  $s$ .

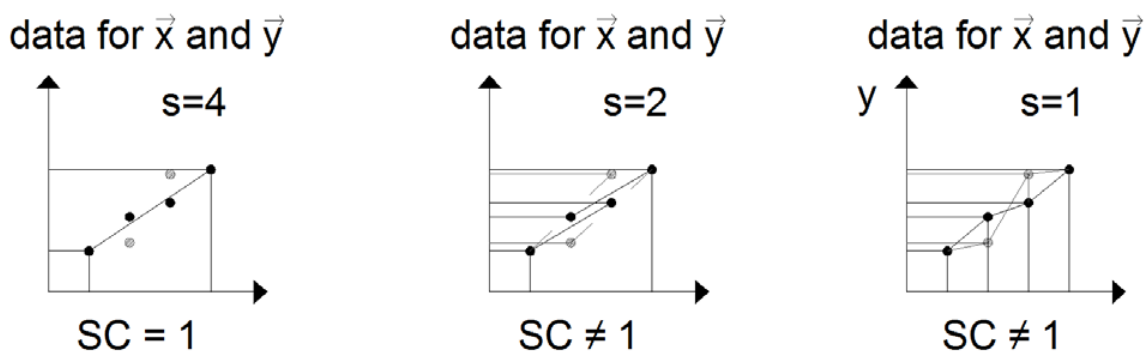


**Рис. 14. Предполагаемые кривые с шумом (серая кривая), и без шума (черная кривая)**  
**произвольная единица произвольная единица Кривая 1 (без шума) Кривая 2 (с шумом)**



**Рис. 15. Секанс косинус относительно различных значений  $s$ .**

Хотя  $s$  не должна быть слишком большой, так чтобы сохранялись естественные вариации в данных. Пример этому приводится на рис. 16, где, учитывая гипотетический набор из 4 точек данных, различных значений  $s$  образуют либо  $SC = 1$  для  $s = 4$  (форма кривых выглядит одинаково) или  $SC \neq 1$  в случае если  $s = 1$  и  $s = 2$ .



**Рис. 16. Схематическое изображение использования различных значений  $s$  при расчете секанс косинуса.**

#### 4.1.2 Меры сходимости

Набор переменных вводятся для того, чтобы представить метод анализа прогнозы модели эвакуации, основанные на функциональном анализе и критериях конвергенции. Измеренные экспериментальные данные представлены с использованием вектора  $\vec{E}$  (см. уравнение 11), где  $E_i$  представляет собой измеренное время эвакуации для  $i$ -го человека.

$$\vec{E} = (E_1, \dots, E_n) \quad [\text{Уравнение 11}]$$

Например, в случае если  $i=3$  людей, т. е.  $\vec{E} = (E_1, E_2, E_3)$ ,  $E_1$  – измеренное время эвакуации

соответствующий человеку 1,  $E_2$  – измеренное время эвакуации соответствующий человеку 2, а  $E_3$  – измеренное время эвакуации, соответствующее человеку 3.

Моделируемое время представлено вектором  $\vec{m}$  (см. уравнение 12), где  $m_i$  – моделируемое время эвакуации  $i$ -го человека, а  $m_n$  – время эвакуации, соответствующие последнему человеку, покидающему здание.

$$\vec{m} = (m_1, \dots, m_n) \quad [\text{Уравнение 12}]$$

Следовательно,  $\vec{m} = (m_1, m_2, m_3)$ , где  $m_1$  – моделируемое время эвакуации, соответствующее человеку 1,  $m_2$  – моделируемое время эвакуации, соответствующее человеку 2, а  $m_3$  – моделируемое время эвакуации, соответствующие человеку 3.

Моделируются несколько запусков одного и того же сценария. Моделируемое время эвакуации каждого человека  $i$  при каждом запуске  $j$  представлены с использованием  $n$  векторов  $\vec{m}_{ij}$  (см. уравнение 13). Здесь,  $q$  – общее число людей и  $n$  общее число запусков. Одно предположение, что люди подразделяются в соответствии с времени их эвакуации, т.е. люди могут покинуть здание в разном порядке при разных запусках.

$$\vec{m}_{ij} = m_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{qn} \quad [\text{Уравнение 13}]$$

Учитывая девять запусков одного и того же сценария эвакуации с одними и теми же тремя людьми, могут быть получены 9 векторов  $\vec{m}_{ij}$ , где  $i = 3$  и  $j = 9$ , т. е.  $\vec{m}_{i1} = (m_{11}, m_{21}, m_{31})$ ,  $\vec{m}_{i2} = (m_{12}, m_{22}, m_{32})$ ,  $\vec{m}_{i9} = (m_{19}, m_{29}, m_{39})$ .

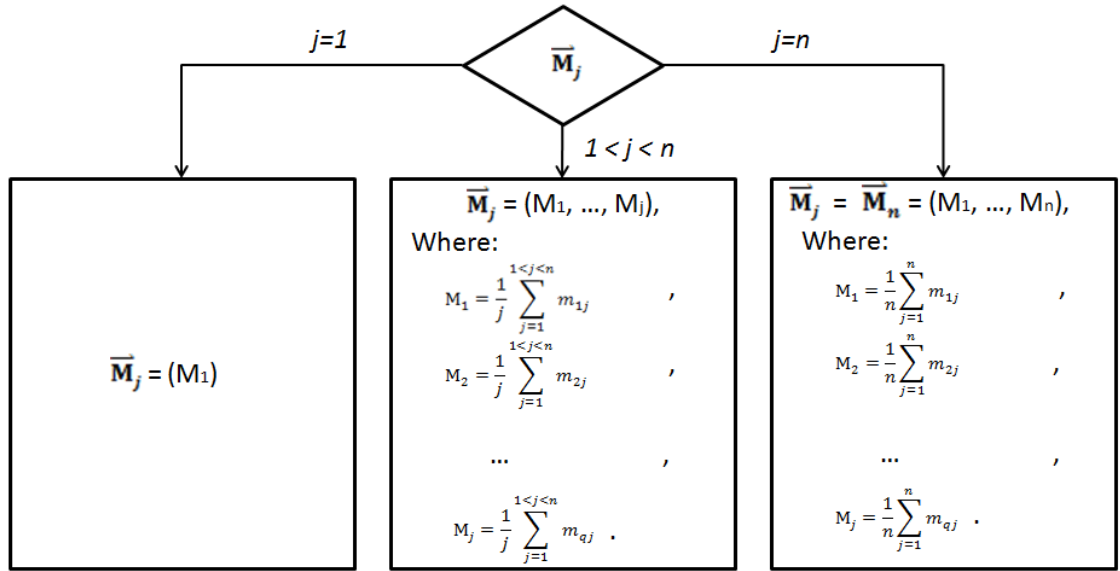
Следующая представленная переменная связана с расчетом среднего арифметического значения запусков. Средняя кривая  $j$  времени эвакуации, полученная с помощью модели с учетом среднего арифметического значения всех запусков представлена с использованием  $n$  размерного вектора  $\vec{M}_j$  (см. уравнение 14), где

$$M_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{1j}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{2j}, \dots, M_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{qn}$$

$$\vec{M}_j = (M_1, \dots, M_j, \dots, M_n) \quad [\text{Уравнение 14}]$$

Учитывая предыдущий пример, то есть 3 человека и 9 запусков ( $i = 3$  и  $j = 9$ ), средняя кривая  $\vec{M}_1$  соответствует значениям первого запуска. Средняя кривая для подгруппы набора из 4 запусков генерирует  $\vec{M}_4$ , что соответствует арифметическим средним значениям до четвертого запуска. В случае всех 9 запусков,  $\vec{M}_9$  соответствует арифметическим средним значениям всех запусков.

На рис. 17 представлен вектор  $\vec{M}_j$  в отношении числа рассматриваемых запусков.



**Рис. 17. Вектор  $\vec{M}_j$  относительно числа запусков.**

Следовательно, если  $j = 1$ ,  $\vec{M}_j = (M_1)$ , т.е. средняя кривая соответствует кривой первого запуска. Если  $1 < j < n$ ,  $\vec{M}_j$  становится  $\vec{M}_j = (M_1), \dots, M_j$ , где

$M_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{1 < j < n} m_{1j}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{1 < j < n} m_{2j}, \dots, M_j = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^{1 < j < n} m_{qj}$ . Тогда  $\vec{M}_j$  представляет среднюю

кривую, соответствующую запускам  $1 < j < n$ . Учитывая 4 вектора  $\vec{m}_{ij}$ , соответствующие прогнозируемому времени эвакуации для трех человек для запусков  $j = 4, n = 9$ ,

$$\vec{M}_4 = (M_1 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{1 < 4 < 9} m_{1j}, M_2 = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^{1 < 4 < 9} m_{2j}, M_3 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{1 < 4 < 9} m_{3j}).$$

Если  $j = n$ ,  $\vec{M}_j$  становится  $\vec{M}_n = (M_1, \dots, M_n)$ , где

$$M_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{1j}, M_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{2j}, \dots, M_n = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n m_{qj}.$$

Таким образом,  $\vec{M}_n$  представляет среднюю кривую, соответствующую всем запускам  $j = n$ . Например, если  $n = 9$  запусков,  $M_9 = (M_1 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 m_{1j}, M_2 = \frac{1}{9} \sum_{j=1}^9 m_{2j}, \dots, M_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^9 m_{3j})$ .

### Мера конвергенции 1: Общее время эвакуации (ТЕТ)

Вектор  $m_n$  может также называться  $TET_j$ , общее время эвакуации (также называемое Требуемое время безопасной эвакуации в контексте производительности на основе дизайна [Персер и Бенсилум, 2001]), соответствующее перспективе  $j$ . Таким образом, существует несколько смоделированных  $TET_j$ , каждый из которых соответствует запуску  $j$  для общего числа запусков  $n$ .

Общее время эвакуации  $TET_j$  для запусков  $n$  того же сценария смоделированные с моделью эвакуации могут быть представлены с использованием вектора  $TET = (TET_1, \dots, TET_n)$ .

Среднее арифметическое от общего времени эвакуации для  $j$  запусков можно выразить с помощью  $TET_{avj}$  (см. уравнение 15):

$$TET_{avj} = \frac{1}{j} \sum_{j=1}^j TET_i \quad [\text{Уравнение 15}]$$

Множество всех  $n$  последовательных средних значений общего времени эвакуации  $TET_{avj}$  того же сценария смоделированного с моделью эвакуации представляет собой  $TET_{av} = (TET_{av1}, \dots, TET_{avn})$ .  $TET_{av1}$

предположительно соответствует значению в запуске 1,  $TET_{av2}$  – это среднее значение для  $j=2, \dots, TET_{avn}$  это среднее значение для  $j=n$ .

Применяя закон больших чисел, последовательное среднее общее время эвакуации  $TET_{avi}$  можно интерпретировать как сходящееся к ожидаемым значениям (среднее общее время эвакуации). Таким образом, может быть выполнена мера сходимости ряда.

Мера сходимости два последовательных средние всего раза эвакуации  $TET_{avj}$  (например,  $TET_{avl}$  и  $TET_{av2}$ ) получается путем расчета  $TET_{convj}$  (см. уравнение 16). Это выражается (в %) в виде разности двух последовательных средней общей времени эвакуации, разделенной на среднее время последнего эвакуации. Это сближение мера предполагает, что наилучшее приближение ожидаемого значения (среднее общее время эвакуации) является последним среднее время эвакуации. Эта мера полезна для оценки влияния дополнительного прогона по средней прогнозируемой общее время эвакуации. Это производит в общей сложности  $p = n - 1 TET_{convj}$ .

$$TET_{convj} = \left| \frac{TET_{avj} - TET_{avj-1}}{TET_{avj}} \right| \quad [\text{Уравнение 16}]$$

Последнее значение  $TET_{convj}$ , соответствующее всем запускам  $n$ , составляет  $TET_{convjFIN}$  (см. уравнение 17).

$$TET_{convj} = \left| \frac{TET_{avj} - TET_{avj-1}}{TET_{avj}} \right| \quad [\text{Уравнение 17}]$$

## Мера конвергенции 2: Стандартное отклонение (SD) от общего времени эвакуации

При нормальном распределении общего времени эвакуации, сходимость переменных также может быть представлена с точки зрения стандартного отклонения от общего времени эвакуации.

$j$ -ое стандартное отклонение  $SD_j$  для запусков  $n$  общего времени эвакуаторной того же сценария, смоделированного с моделью эвакуации, может быть представлено вектором  $\vec{SD}_j = (SD_1, \dots, SD_n)$ .

Кроме того, в этом случае применение закона больших чисел позволяет интерпретировать последовательные стандартные отклонения общего времени эвакуации  $SD_j$  как ряд сходящихся к ожидаемому значению (средние стандартные отклонения от общего времени эвакуации). Следовательно, мера сходимости ряда вероятна.

Мера сходимости двух последовательных стандартных отклонений  $SD_j$  (например,  $SD_1$  и  $SD_2$ ) получена путем вычисления  $SD_{convj}$ . Она выражается (в %) в виде разности двух последовательных стандартных отклонений, деленных на последнее стандартное отклонение (см. уравнение 18). Это дает в общей сложности  $p = n - 1 SD_{convj}$ . Эта мера сближение предполагает, что наилучшее приближение ожидаемого значения (среднее стандартное отклонение общего времени эвакуации) является последним стандартное отклонением общего времени эвакуации. Эта мера пригодна для оценки влияния дополнительного запуска на стандартное отклонение.

$$SD_{convj} = \left| \frac{SD_j - SD_{avj-1}}{SD_j} \right| \quad [\text{Уравнение 18}]$$

Последнее значение  $SD_{convj}$ , соответствующее всем запускам  $n$ , представляет собой  $SD_{convjFIN}$  (см. уравнение 19).

$$SD_{convjFIN} = \left| \frac{SD_{avp} - SD_{avp-1}}{SD_{avp}} \right| \quad [\text{Уравнение 19}]$$

### Мера конвергенции 3: евклидова относительная разница (ERD)

Набор евклидовых относительных разностей (ERD) может быть рассчитан, каждый из которых соответствует двух последовательным парам векторов  $\vec{M}_j$ , представляющий прогрессивные средние кривые времени человек-эвакуация.

Вектор  $ER\vec{D} = ERD_1, \dots, ERD_p$  состоит из  $p$  последовательного  $ERD_j$ , где  $p = j - 1$ , что соответствует среднему числу запусков  $j$  того же сценария смоделированного с помощью модели эвакуации. Например, в случае  $j = 4$  запусков,  $ER\vec{D} = ERD_1, ERD_2, ERD_3$ , где  $ERD_1$  рассчитывается из сравнения  $M_1$  и  $M_2$ ,  $ERD_2$  рассчитывается из сравнения  $M_2$  и  $M_3$ , а  $ERD_3$  рассчитывается из сравнения  $M_3$  и  $M_4$ .  $M_1$  представляет собой кривую от запуска 1,  $M_2$  представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1 и запуска 2,  $M_3$  представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1, запуска 2 и запуска 3.  $M_4$  представляет собой среднюю кривую, созданную арифметическими средствами для времени эвакуации одного человека для запуска 1, запуска 2, запуска 3 и запуска 4.

Последовательная  $ERD_j$  можно интерпретировать как ряд сходящегося к ожидаемому значению, равному 0 (в случае двух кривых одинаковых по величине). Таким образом, мера сходимости ряда вероятна. Мера сходимости двух последовательных евклидовых относительных разностей  $ERD_j$ , соответствующие двум подряд средних кривых  $\vec{M}_j$  может быть получена путем вычисления  $ERD_{convj}$  (см. уравнение 20). Это выражается как абсолютная величина разности двух последовательных евклидовых относительных разностей,  $ERD_j$  и  $ERD_{j-1}$ .

$$ERD_{convj} = |ERD_j - ERD_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 20}]$$

Последнее значение  $ERD_{convj}$ , соответствующее различиям между последними средними кривыми является  $ERD_{convFIN}$  (см. уравнение 21).

$$ERD_{convFIN} = |ERD_p - ERD_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 21}]$$

Вычисление  $ERD_{convFIN}$  позволяет оценить влияние числа запусков на общие различия между последовательными средними кривыми.  $ERD_{convFIN}$  представляет поэтому инструмент для понимания неопределенность (например, *поведенческой неопределенности*), связанного с несколькими запусками индивидуального сценария эвакуации.

### Мера конвергенции 4: евклидов коэффициент проекции (EPC)

Тот же тип мер конвергенции может быть получен для евклидового коэффициента проекции (EPC).

Последовательный  $EPC_j$  может быть интерпретирован как ряд сходящийся к ожидаемому значению, равному 1 (наилучшее согласование между двумя последовательными  $EPC_j$ ). Таким образом, может быть выполнена мера сходимости ряда. В результате получаем уравнения 22 и 23.

$$EPC_{convj} = |EPC_j - EPC_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 22}]$$

$$EPC_{convFIN} = |EPC_p - EPC_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 23}]$$



$EPC_{convj}$  позволяет оценить влияние числа запусков о возможное согласование между двумя последовательными средними кривыми.  $EPC_{convFIN}$ , таким образом, является еще одним показателем поведенческой неопределенности, связанной с несколькими запусками отдельного сценария эвакуации.

#### Мера конвергенции 5: секанс косинус (SC)

Меры конвергенции могут быть разработаны для секанс косинуса (SC). Последовательный  $SC_j$  можно интерпретировать как ряд, сходящийся к ожидаемому значению, равному 1 (случай двух одинаковых форм последовательных кривых). Таким образом, мера сходимости ряда могут быть выполнена и она представлена в уравнениях 24 и 25.

$$SC_{convj} = |SC_j - SC_{j-1}| \quad [\text{Уравнение 24}]$$

$$SC_{convjFIN} = |SC_p - SC_{p-1}| \quad [\text{Уравнение 25}]$$

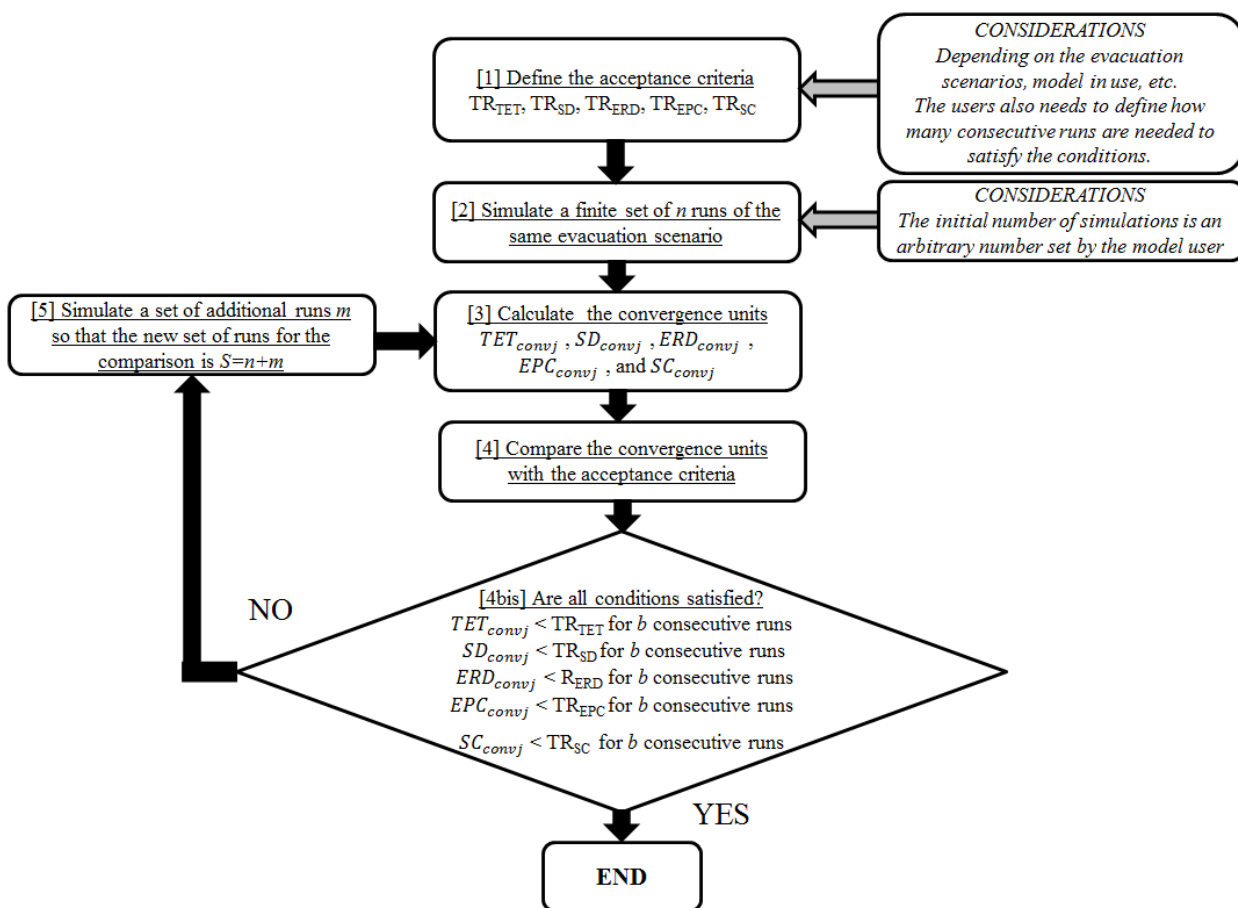
$SC_{convj}$  позволяет понять влияние числа запусков на возможные различия между формами двух последовательных средних кривых. Таким образом,  $SC_{convjFIN}$  представляет переменную для понимания поведенческой неопределенности, связанной со средней формой моделируемых кривых, при определенном количестве запусков  $n$  того же сценария эвакуации. Форма кривой человек-эвакуация облегчает понимание полного процесса эвакуации, а не только общего времени эвакуации.

#### 4.1.3 Метод оценки

В предыдущем разделе были представлены пять переменных, а именно  $TET_{convjFIN}$ ,  $SD_{convjFIN}$ ,  $ERD_{convjFIN}$ ,  $EPC_{convjFIN}$  и  $SC_{convjFIN}$ . Эти переменные характеризуют общее время эвакуации и кривые времени человек-эвакуация. Они используются для оценки сходимости результатов эвакуации по отношению к средним значениям. Эти переменные представляют основу для нового метода оценки. Предлагаемый способ обращается к двум ключевым аспектам моделирования эвакуации:

- 1) Анализ поведенческой неопределенности конкретного сценария эвакуации.
- 2) Определение минимального числа запусков, чтобы получить устойчивую кривую эвакуации того же сценария по отношению к сценарию эвакуации и используемой модели.

Предлагается итерационный метод для оценки результатов модели эвакуации. Данный метод основан на пяти этапах (см. рис. 18).



**Рис. 18. Схематическая блок-схема рекомендуемого метода оценки.**

Этап 1. Определить критерии приемки. (см. [1] рис. 18)

Первый этап способа метода идентификации приемлемых порогов, которые должны быть достигнуты, т.е. приемлемой поведенческой неопределенности, связанной со средней кривой, полученной путем многократных запусков одного и того же сценария. Это связано с пользовательским обоснованием использования конкретных значений для распределений вариантов поведения. На самом деле, неопределенность, связанная с выбранного входа должны повлиять на выбор критериев конвергенции. Цель состоит в том, чтобы получить кривую эвакуации, который является достаточно стабильной данный объем анализа. Например, в случае использования эвакуации моделирования в контексте производительности на основе дизайна, выявление этих приемлемых порогов может быть основано на оцененную неопределенность в расчете ASET (доступное время безопасной эвакуации) производится с использованием огня модель. Такой подход позволяет совместный анализ неопределенности, связанной как с огня и эвакуации моделирования. Пять пороги (соответствующие пяти мер конвергенции) определены, а именно  $TR_{TET}$ ,  $TR_{SD}$ ,  $TR_{ERD}$ ,  $TR_{EPC}$ ,  $TR_{SC}$ . Следует отметить, что есть дополнительные критерии приемки, которые должны быть оценены, то есть конечное число последовательных пробегов  $b$ , для которых допустимые пороги нельзя пересекать. Это должно быть оценено для того, чтобы убедиться, что конвергенция меры являются стабильными при определенных порогов по заранее определенной количество серий. Это требование основано на предположениях, описанных в разделе 4.1. Большее значение для  $b$  приведет к более высокой уверенностью, что критерии приемки будут удовлетворены.

Идентификация критериев приемлемости может зависеть от нескольких факторов, таких как сценарии эвакуации, используемой модели, неопределенности входных параметров и т.д. Выбор критериев приемлемости - которые могут включать или не включать все меры конвергенции - может быть, определенных сама эвакуация модельер или от третьего лица.

Этап 2. Смоделировать конечное множество запусков  $n$  того же сценария эвакуации (см. [2] на Рис. 18)

Пользователи модели эвакуации выбирают произвольное начальное количество моделирования индивидуальному сценарию эвакуации, т.е. та же модель вход используется. Получены  $n$  векторы  $\vec{m}_{ij} = (\vec{m}_{11}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{qn})$ , соответствующие моделируемому времени эвакуации каждого человека  $i$  в каждом из  $j$  запусков. Кривые времени человек-эвакуация получаются, подразделение людей производится

относительно их времени эвакуации.

Вектор, соответствующий последовательным средним кривым  $\vec{M} = (M_1, \dots, M_n)$  также создается.

Чтобы оптимизировать итеративный процесс, выбор начальной произвольного числа трасс может быть основана на качественной оценке сделанного эвакуации модельера изменчивости предсказанного результата данной модели вход рассматриваемой ситуации (например, на основе статистической соображения и размер выборки). Тем не менее, это решение - которая является текущей качественный метод принят эвакуации моделистов оценить оптимальное количество трасс - не является обязательным, поскольку предлагаемый метод позволяет количественное исследование о влиянии числа серий на кривой времени человек-эвакуация, выданное моделью.

Этап 3. Рассчитать меры конвергенции (см. [3] на рис. 18)

Меры конвергенции, представленные в предыдущих разделах рассчитываются для всех запусков, то есть,  $TET_{convj}$ ,  $SD_{convj}$ ,  $ERD_{convj}$ ,  $EPC_{convj}$  и  $SC_{convj}$ .

Для того чтобы выполнить расчет секущих косинусов для всех трасс, пользователи модели должны также определить конечное множество значений для  $s$ , необходимой для расчета  $SC_{convj}$ . Как сказано в пункте 4.1.1, выбор значений для  $s$  опирается на набор данных в стадии рассмотрения.  $SC_{convj}$  рассчитываются для всех запусков столько с значениями по выбору модели пользователя.

Этап 4- 4-bis. Сравнить меры конвергенции с критериями приемлемости (см. [4 - 4-bis] на рисунке 18)

Пользователь модели сравнивает расчетные меры конвергенции против приемлемых порогов, определенных в течение этапа 1. Это производит пять испытаний, которые должны быть выполнены:

ИСПЫТАНИЕ 1:

$$TET_{convj} < TR_{TET} \text{ для числа } b \text{ запусков подряд} \quad [\text{Уравнение 26}]$$

ИСПЫТАНИЕ 2:

$$SD_{convj} < TR_{SD} \text{ для числа } b \text{ запусков подряд} \quad [\text{Уравнение 27}]$$

ИСПЫТАНИЕ 3:

$$ERD_{convj} < TR_{ERD} \text{ для числа } b \text{ запусков подряд} \quad [\text{Уравнение 28}]$$

ИСПЫТАНИЕ 4:

$$EPC_{convj} < TR_{EPC} \text{ для числа } b \text{ запусков подряд} \quad [\text{Уравнение 29}]$$

ИСПЫТАНИЕ 5:

$$SC_{convj} < TR_{CS} \text{ для числа } b \text{ запусков подряд} \quad [\text{Уравнение 30}]$$

Следует отметить, что критерии должны быть удовлетворены для заранее определенного конечного количества последовательных  $b$  запусков (как определено на этапе 1). Значения, соответствующие запуску  $j$ , когда условия будут проверены для  $b$  последовательных запусков представляют  $TET_{convjFIN}$ ,  $SD_{convjFIN}$ ,  $ERD_{convjFIN}$ ,  $EPC_{convjFIN}$  и  $SC_{convjFIN}$ .

Если пять условий все устраивает в течение заранее определенного числа последовательных прогонов, кривые, порожденные  $p$  трасс соответствуют критериям приемлемости, то есть кривая средних оценивается учитывая принимаются поведенческая неопределенность, связанная с числа серий (на основе принятия критерии). Если один или более из условия не выполняются, модель пользователь должен перейти к шагу 5.

Шаг 5. Выполнить ряд дополнительных моделирований  $m$ , так что новый ряд запусков для сравнения составлял  $S = n + m$  (см. [5] на рис. 18)

Пользователь модели задает произвольное количество дополнительных моделирований для выполнения. Определение дополнительных запусков может быть установлено в соответствии с качественным анализом любых неудачных испытаний (см. уравнения 26-30). Новый набор  $S = n + m$   $\vec{S}_{ij}$  векторы  $\vec{S}_{ij} = (S_{11}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{qS})$  соответствующих средних моделируемых раз эвакуации каждого пассажира  $j$  в каждом из  $j$  запусков получают. То же методология этапа 2 принята для того чтобы произвести временные кривые пассажир - эвакуационных, т. е. оккупанты, упорядоченных по отношению к их времени эвакуации.

Модель пользователь теперь может повторно начать процедуру, начиная с этапа 3.

#### 4.1.4 Пример применения метода оценки

Применение метода, представленного в предыдущем разделе описывается привести пример понятий. Учитывая пояснительной объем, например, данные, используемые в этом разделе, являются вымышленными, то есть, они не соответствуют реальным данным. Этот выбор был обусловлен отсутствием в настоящее время повторных экспериментальных данных, то есть метод был применен для изучения результатов моделирования. Данные создан для того, чтобы быть представителем полученных результатов с эвакуацией модели гипотетическом сценарии эвакуации. Фиктивный набор чисел производится с использованием Уичман и [1982] генератором псевдослучайных Хилла. В псевдослучайные числа используются в качестве входных для производства логнормальное - распределенных значений. Этот выбор был сделан для того, чтобы быть представителем гипотетическом сценарии эвакуации, которая зависит от времени предварительной эвакуации (которые, как правило, следуют логарифмически нормальное распределение [Персер и Бенсилум, 2001], Фиктивные данные затем используются для создания фиктивного индивидуальный эвакуации раз рассчитывается путем постепенного суммирования значения, полученные (чтобы быть представитель одного из гипотетического реального кейса, где эвакуации колеблется примерно между 1100 и с 1900 с). Например, если первый псевдослучайный генерируется число 12 с, а второй псевдослучайных генерируется число составляет 18 с, время эвакуации первого пассажира вне будет соответствовать 12 с, а время эвакуации второго пассажира вне будет составлять 12 с + 18 с = 30 с. процедура повторяется для всех 120 пассажиров (см. таблицу 3). пример одного из возможных кривой обеспечивается на рисунке 19.предполагается, население состоит из 120 пассажиров. оценку числа серий для моделирования является неизвестной переменной в этом примере.

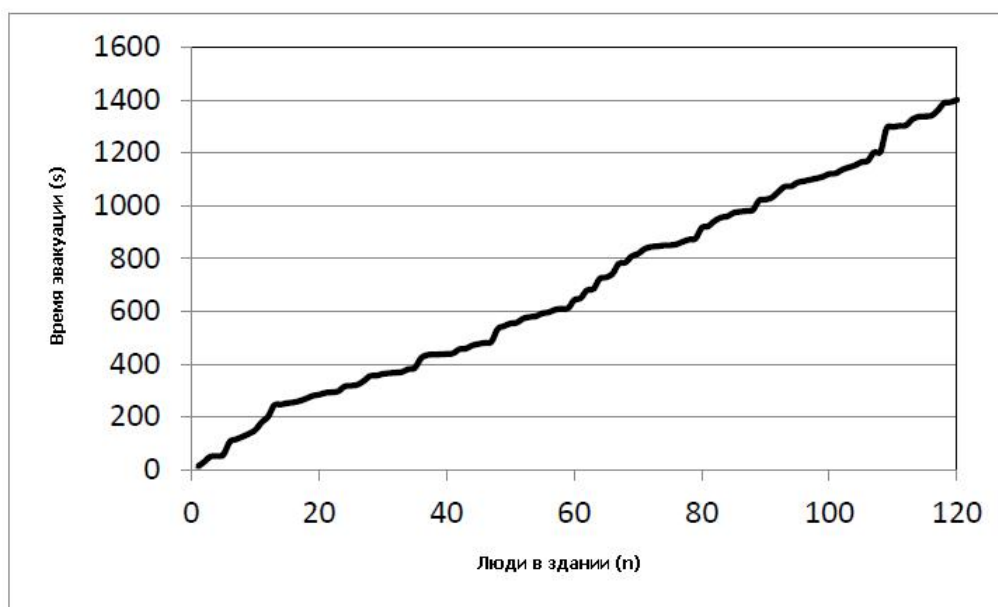


Рис. 19. Вымышленные данные, представляющие одну из возможных кривую времени эвакуации.

Таблица 3. Пример вымышленных данных, представляющих одну из возможных кривую пассажиров-эвакуации.

Люди, покинувшие здание	Псевдослучайно генерируемое число	Время эвакуации (с)
1	12	12
2	18	30
3	21	51
4	8	59
...	...	...
120	...	1401

Этапы оценки метода применяются следующим образом.

Этап 1. Определить критерии приемки.

Этот этап имеет дело с определением пяти приемлемых порогов,  $TR_{TET}$ ,  $TR_{SD}$ ,  $TR_{ERD}$ ,  $TR_{EPC}$ ,  $TR_{SC}$  о влиянии числа запусков на прогнозируемые итоги модели эвакуации для того же сценария эвакуации (см. уравнения 31-35). Также определяется число последовательных запусков ( $b = 10$ ), для которых пороги приемки должны быть достигнуты.

$$TR_{TET} = 0.5\% \quad [\text{Уравнение 31}]$$

$$TR_{SD} = 5\% \quad [\text{Уравнение 32}]$$

$$TR_{ERD} = 1\% \quad [\text{Уравнение 33}]$$

$$TR_{EPC} = 1\% \quad [\text{Уравнение 34}]$$

$$TR_{SC} = 1\% \quad [\text{Уравнение 35}]$$

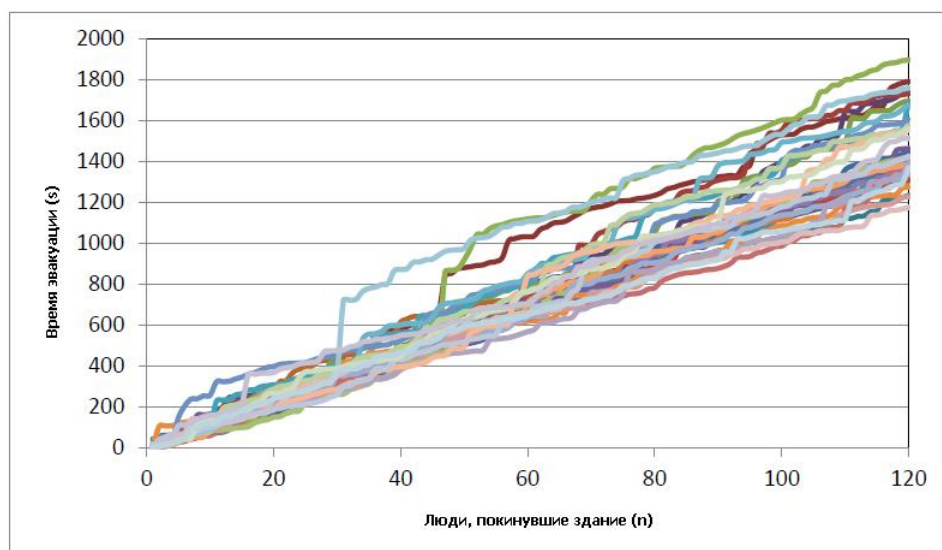
Например, критерии допустимости удовлетворены, если  $TET_{conj} < TR_{TET}$  в течение 10 последовательных запусков,  $SD_{conj} < TR_{SD}$  в течение 10 последовательных запусков и т.д.

Следует отметить, что критерии приемки были выбраны с единственной целью показать процедуру, т. е. они не представляют рекомендованные значения для использования в реальном техниче анализе. Тем не менее, эти критерии представляют возможные значения в контексте пожарной техники безопасности и все виды неопределенности, связанные с результатами моделирования. В самом деле, авторы утверждают, что пороги ниже 5% позволили бы оценки необходимого безопасного времени выходного с достаточной степенью точности. Определение критериев будет зависеть от нескольких факторов, таких как тип сценария эвакуации, данные, находящиеся на рассмотрении, рамки анализа, неопределенность в входных параметров и их распространения и т. д. На практике моделистов можете проверить сходимость меры на протяжении трасс и рассчитать прогрессивный разницу между пороговым значением и текущих значений каждого конвергенции меры. Модельер может также установить процент признанся разницы между порогами в  $b$  последовательных запусков.

#### Этап 2. Запустить конечное множество запусков $n$ того же сценария эвакуации

Произвольное начальное число моделирования одного и того же сценария установлен на 35.  $n = 35$  векторов 120 размеров  $\vec{m}_{ij} = (\vec{m}_{i1}, \dots, m_{ij}, \dots, m_{i120,35})$ , соответствующие моделируемому времени эвакуации каждого  $i$  человека (в общей сложности 120 человек) в каждом  $j$  запуске получены (для общего числа 35 запусков).

В данном примере, 35 фиктивные кривые были получены с использованием метода, описанного в начале раздела 3. Они приводят к 35 кривых показанных на рис. 20. Кривые, представленные на рисунке 20 являются представителями множества повторных результатов эвакуации модели в случае гипотетического сценария эвакуации для логнормального распределения времени эвакуации [Рончи и Нильссона, 2013]. Следует отметить, что форма кривых эвакуации может отличаться от примера, приведенного здесь (например, s-образные кривые человека-эвакуации). Метод основан на мерах конвергенции, которые независимы от формы кривых, и, таким образом, могут быть применимы для любого типа кривой.



**Рис. 20. Вымышленные данные, представляющие 35 запусков одного и того же гипотетического сценария эвакуации.**

Также генерируется вектор  $\vec{M} = (M_1, \dots, M_{35})$ , соответствующий последовательным средним кривым.

#### Этап 3. Рассчитать меры конвергенции

Меры конвергенции, представленные в предыдущих разделах рассчитываются для всех 35 серий, то есть,  $TET_{convj}$ ,  $SD_{convj}$ ,  $ERD_{convj}$ ,  $EPC_{convj}$  и  $SC_{convj}$  в соответствии с уравнением 16, уравнением 18, уравнением 19, уравнением 21 и уравнением 24, соответственно. В этом примере было использовано одно значение для  $s$  в уравнении 24, а именно  $s=4$ . Результаты представлены в таблице A.1 в Приложении A.

#### Этап 4-4-bis. Сравнить меры конвергенции с критериями допустимости

Результаты для 35 запусков сравниваются с критериями приемлемости, определенных в шаге 1 (см. также Уравнения 25-29). Таблица A.2 в Приложении A приведены результаты испытаний в отношении числа серий. Когда окно показывает «FAILED» («ОТКАЗ»), это означает, что испытание не удалось. Когда испытание пройдено, окно остается пустым. После 10 запусков подряд (с учетом критериев приемлемости, определенных в шаге 1), когда передается тест, коробка показывает «OK», что означает, что критерии приемки были выполнены.

В этом испытание 1 не удалось, испытание 2 пройдено после 25 запусков, испытание 3 выполнено после 26 запусков, испытание 4 не удалось, и испытания 5 выполнено после 15 запусков. Это означает, что наша прогнозируемая кривая соответствует критериям допустимости в отношении стандартного отклонения от общего времени эвакуации, евклидовой относительной разности и секанс косинуса. Тем не менее, есть два критерия, которые не были выполнены (Общее время эвакуации и евклидовой проекции коэффициент). Поэтому, необходимо приступить к стадии 5, проводя дополнительные запуски.

#### Этап 5. Выполнить ряд дополнительных моделирований $m$ , так, чтобы новый ряд запусков для сравнения составлял $S = n + m$ .

Другой набор запусков  $m=35$  того же сценария – соответствующий дополнительным 35 кривым времени человек-эвакуация – считаются в общей сложности  $S = n + m = 35 + 35 = 70$  запусков. В этом примере дополнительные фиктивные данные, полученные с использованием такого же метода, как первые 35 кривых. Новый набор  $S = n + m$   $\vec{S}_{ij}$  векторов  $\vec{S}_{ij} = (S_{i1}, \dots, S_{ij}, \dots, S_{iS})$ , соответствующих среднему моделируемому времени эвакуации каждого из 120 человек  $i$  в каждом из 70  $j$  запусков для которых определены  $S$ . Метод оценки повторяется для  $S=70$  запусков, начиная с этапа 3, называемый здесь этап 3.2.

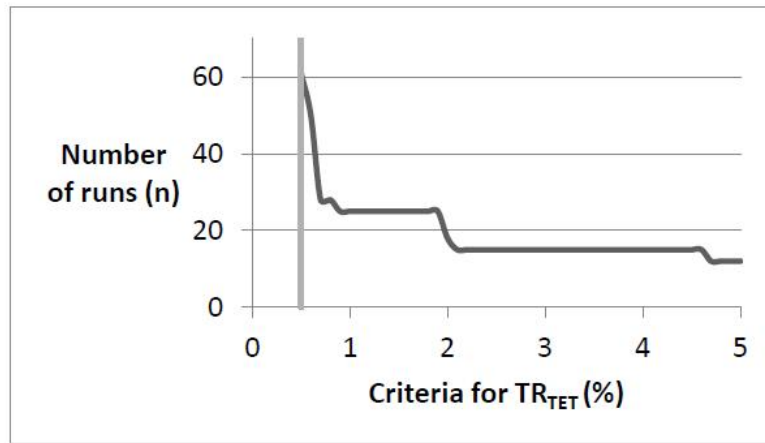
#### Этап 3.2. Рассчитать меры конвергенции

Неисправный меры конвергенции рассчитаны для  $S=70$  запусков, то есть,  $TET_{convj}$  и  $EPC_{convj}$  для нашего исследования.

#### Этап 4.2 - 4.2bis. Сравнить меры конвергенции с критериями допустимости

Результаты для  $S=70$  запусков снова сравниваются с критериями допустимости, установленными в этапе 1. В таблице A.3 в приложении A показаны результаты испытаний, которые ранее проходили безуспешно относительно количества запусков.

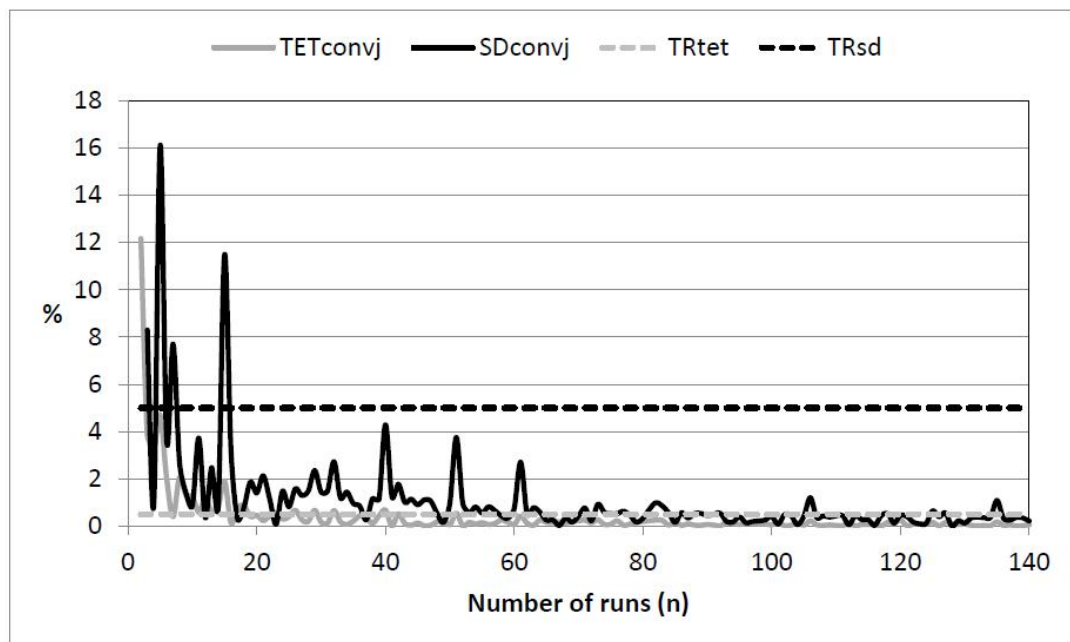
В таблице 3 показано, что испытание 4 осуществляется после 40 запусков. Примером числа запусков, необходимых для выполнения различных критериев  $TR_{TET}$  (где  $TET_{convj} < TR_{TET}$  для 10 запусков подряд) для рассматриваемого фиктивного набора данных показано на рис. 21. Серая вертикальная линия относится к критерию допустимости  $TR_{TET} = 0,5\%$ , который был выбран для анализа общего времени эвакуации на этапе 1. Испытание 1 пройдено после 61 запусков, если критерии конвергенции составляет  $TET_{convj} < 0,5\%$  при 10 запусках подряд, что означает, что наша прогнозируемая кривая теперь соответствует всем критериям допустимости.



**Рис. 21. Количество необходимых запусков относительно различных критериев  $TR_{TET}$**

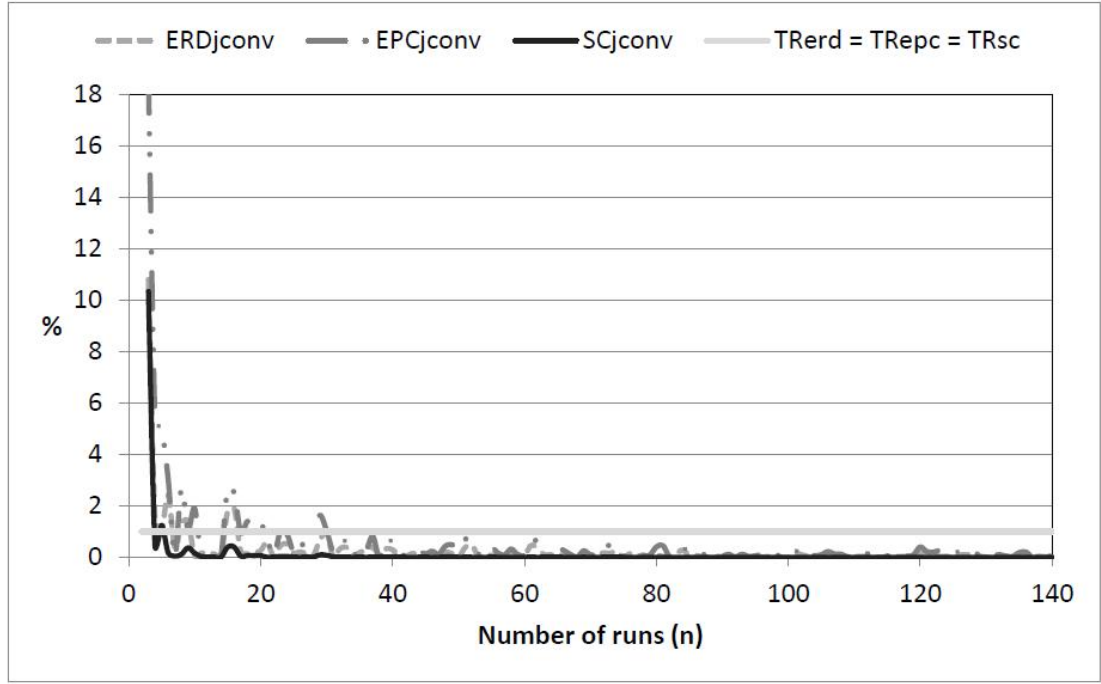
Анализ тенденции мер конвергенции пригоден для получения общей информации о типе рассматриваемого набора данных. Например, можно оценить поведенческую неопределенность и, следовательно, оценить влияние использования стохастических переменных/распределений на результаты модели эвакуации.

Пример из данных тематического исследования в пункте 4.1.3 представлен на рис. 22, где  $TET_{convj}$  и  $SD_{convj}$  а так же на рис. 23, где показаны  $ERD_{convj}$ ,  $EPC_{convj}$  и  $SC_{convj}$  (меры конвергенции рассчитываются для общего среднего числа 140 последовательных запусков, т.е. было рассчитано 70 дополнительных запусков).



**Рис. 22.  $TET_{convj}$ ,  $SD_{convj}$  относительно последовательного среднего количества запусков (выраженные в %).**

На рис. 22 и рис. 23 показано, что стандартное отклонение времени эвакуации  $SD_{convj}$  последнего эвакуируемого человека является самой медленно сходящейся переменной в приведенном здесь примере. Вместе с  $TET_{convj}$  эти переменные пригодны для понимания изменчивости общего времени эвакуации по отношению к количеству запусков. Оценка неопределенности (включая поведенческую неопределенность), связанную с общим временем эвакуации является ключевым аспектом расчета пожарной безопасности, поскольку она представляет собой RSET (время требуемой безопасной эвакуации) [Гвинн и др., 2012b], время, необходимое на безопасную эвакуацию всех людей.



**Рис. 23 .  $ERD_{conv}$ ,  $EPC_{conv}$  и  $SC_{conv}$  относительно последовательного среднего количества запусков (выраженные в %).**

Анализ сходимости  $ERD_{conv}$ ,  $EPC_{conv}$  и  $SC_{conv}$  также вносит значительный вклад в понимание поведенческой неопределенности, поскольку позволяет рассчитать изменчивость прогнозируемых кривых времени человек-эвакуация относительно количества запусков. Эти меры позволяют изучать всей кривой человек-эвакуация, а не анализ, основанный только на изучении общего времени эвакуации. В приведенном здесь примере, меры сходимости составляют ниже 2,5% после 17 запусков, что позволяет провести оценку средней кривой времени человек-эвакуация с допускаемой изменчивостью 2,5% за относительно небольшое количество запусков.

Моделирование дополнительных 70 запусков (для общего числа 140 запусков на рис. 22 и рис. 23) показывает, что, как и ожидалось, результаты продолжают сходиться и эффект поведенческой неопределенности по среднему времени эвакуации постепенно сокращается. Тем не менее, если критерии допустимости включают требование ниже пороговых значений для достаточного количества последовательных запусков (т.е. критическое число, которое пользователь модели должен выбрать в зависимости от рассматриваемого сценария для того, чтобы верифицировать устойчивость сходимости), моделирование дополнительных запусков не дает никаких дополнительных преимуществ для специалиста, проводящего моделирование. Выбор числа запусков оптимизирован в отношении заранее установленных критериев допустимости и нет необходимости проводить дополнительные запуски.

Статистическая оценка неопределенности, связанной с использованием мер конвергенции может быть выполнена относительно количества запусков. Это включает в себя изучение неопределенности выборки среднего значения общего времени эвакуации и выборки стандартных отклонений.

Предположим, что каждое общее время эвакуации в векторе  $TET$  является суммой случайных величин, соответствующих межвременным значениям времени между каждым человеком. Используя центральную теорему предельных значений, серия, соответствующая вектору  $TET$  состоит из предполагаемых нормально распределенных значений  $TET_j \sim N(\mu, \sigma^2)$ , где  $\mu$  – истинное среднее значение, а  $\sigma^2$  – истинная дисперсия. Выборочная дисперсия составляет:

$$s^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (TET_j - TET_{avg})^2}{n-1} \quad [\text{Уравнение 36}]$$

Где  $n$  – число запусков. Применяя теорему Кокрена,  $s^2 \sim \frac{\sigma^2}{n-1} \chi_{n-1}^2$ , что является chi-квадратным распределением со степенью свободы  $n-1$ . Затем дисперсия выборочной дисперсии,  $Var(s^2)$ , соответствует



следующему уравнению:

$$Var(s^2) = Var\left(\frac{\sigma^2}{n-1} \chi_{n-1}^2\right) = \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right)^2 Var(\chi_{n-1}^2) = \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right)^2 2(n-1) = \frac{2\sigma^4}{n-1} \quad [\text{Уравнение 37}]$$

Стандартное отклонение выборки  $s$  распространяется в виде  $\chi_1$ -распределения со степенью свободы  $n-1$ , т. е.  $s^2 \sim \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \chi_{n-1}$ . Поэтому дисперсия стандартных отклонений данных выборки соответствует:

$$\begin{aligned} Var(s) &= Var\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n-1}} \chi_{n-1}\right) = \frac{\sigma^2}{n-1} Var(\chi_{n-1}) \\ &= \left(\frac{\sigma^2}{n-1}\right) \left[ n-1 - 2 \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \right\}^2 \right] \end{aligned} \quad [\text{Уравнение 38}]$$

Где  $\Gamma(n)$  – гамма-функция. Таким образом, можно оценить относительное стандартное отклонение (относительная разница между использованием образцов стандартных отклонений и стандартных отклонений, соответствующих истинного распределения):

$$\text{относит.станд}(s) = \sqrt{\frac{\left[ n-1 - 2 \left\{ \frac{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{n-1}{2}\right)} \right\}^2 \right]}{n-1}} \quad [\text{Уравнение 39}]$$

Эта информация позволяет оценивать неопределенность, связанную с использованием предполагаемых стандартных отклонений  $SD_j$  занятых в метода оценки по отношению к количеству рассматриваемых запусков.

Кроме того, можно выполнить оценку неопределенности, связанной с использованием оценки дисперсии  $s^2$  выборки данных при вычислении средней пробы общее время эвакуации  $TET_{avj}$ . В самом деле, среднее значение общего времени эвакуации  $TET_{avj}$  распространяется как  $\frac{s}{\sqrt{n}} t_{n-1} + \mu$ , где  $t_{n-1}$  – случайная величина  $t$  студента со степенью свободы  $n-1$ .

Поэтому дисперсия выборки средней  $TET_{avj}$  соответствует:

$$Var(TET_{avj}) = \frac{s^2}{n} \frac{n-1}{n-3} \quad [\text{Уравнение 40}]$$

И неопределенность  $TET_{avj}$  представляет собой:

$$SD(TET_{avj}) = s \sqrt{\frac{n-1}{n(n-3)}} \quad [\text{Уравнение 41}]$$

Таким образом, можно оценить неопределенность, связанную с числом запусков при использовании выборки  $TET_{avj}$ .

На сегодняшний день поведенческий неопределенность обычно лечат только в качественном образом (выполнение качественную оценку числа серий для моделирования). Утверждается, что данная работа будет способствовать эвакуации пользователей модели производить количественную обработку этого типа неопределенности данной простота предложенного метода. Предлагаемый способ может появиться дорогостоящим по сравнению с моделированием низкой произвольного числа прогонов. Тем не менее, это позволяет экономить время вычислений, так как это позволяет оценить точное количество трасс, необходимых для получения предварительно определенного уровня точности.

Преимущества, получаемые при использовании метода применять для разработки исследований, а также проверки модели. Предлагаемый способ позволяет оценку сходимости моделируемой кривой житель - эвакуации к средней кривой, тем самым, увеличивая значимость предсказаний модели. Это отражено в лучшего понимания изменчивости RSET и возможной оценки запаса прочности конкретной конструкции по

отношению к поведенческой неопределенности.

С точки зрения проверки модели, на сегодняшний день, две противоположные подходы могут быть использованы для представления модели сравнение с экспериментальными данными, а именно: 1) использование лучшей оценки модели для кривой времени пассажир -эвакуаторной или 2) среднее время пассажир -эвакуаторной кривая. Метод, представленный в этом разделе увеличивает удобство второго подхода, так как это позволяет тщательный количественный понимание средних кривых производимых моделей эвакуации. Будущая работа основана на представленному способу, поэтому определение протокола эвакуация модели проверки, которая использует сходимость мер по оценке различия между прогнозами модели и экспериментальных данных с учетом поведенческого неопределенность.

Возможное дополнительное применение метода, представленного в этом документе, могут быть его использование для сравнения предсказаний модели производимых различными моделями эвакуации. Было бы на самом деле можно количественно оценить влияние стохастических переменных и допущений, использованных различными моделями эвакуации дали тот же сценарий эвакуации. Кроме того, такой же подход может быть использован для оценки другой тип результатов эвакуации модели, такие как уровень нагрузки, расстояния перемещения и т.д.

Набор ограничений предложенного метода можно определить как с точки зрения ее предположениях, а также возможность его применения.

Первое ограничение метода является то, что он использует понятия сходимости в среднем и центральную предельную теорему, а не статистической оценки ожидаемых значений. Следовательно, выбор требованием для конечного числа последовательных пробегов  $B$ , для которых приемлемые пороги не должны скрещенных должны быть тщательно оценены модельера по отношению к данным, находящимся на рассмотрении. Это ограничение смягчается простотой предлагаемого метода, то есть, он может применяться по эвакуации моделистов анализировать поведенческие неопределенность без сложной умозаключений статистической обработки данных, что может потребовать времени и опыта пользователя.

Другое ограничение метода связано с предположениями, что кривые эвакуации могут быть одинаковыми между модель работает даже в случае различных поведения, т.е. темпы прибытия к выходам такие же, но они относятся к разным пассажиров или различных выходов.

Что касается метода применимости, несколько наборы данных из одного сценария эвакуации редко имеются в наличии в литературе. Это делает его трудно изучать влияние поведенческого неопределенности на экспериментальных данных. Учитывая нынешний этап экспериментальных исследований эвакуации, предложенный метод используется главным образом для анализа поведенческой неопределенности в результатах моделирования. После того, как дополнительные экспериментальные данные по отдельным сценариям будут доступны, исследователи смогут использовать те же понятия, введенные в этой работе для анализа поведенческой неопределенности в экспериментальных данных.

Без нескольких экспериментальных данных, один эксперимент часто является единственной ссылкой на этом конкретном сценарии эвакуации, но не ясно, представляет ли это средний поведение или стоит особняком. На самом деле, оценка экспериментальных и эвакуация модельных результатов может также включать анализ хвостах распределения, а не анализ пиков (т.е. средние значения). Тем не менее, авторы утверждают, что изучение в среднем предсказаний модели вместе с изменчивостью результатов по всему среднему считается полезным методом для анализа поведения неопределенность. Поведение человека в пожарной исследовательского сообщества осознает отсутствия экспериментальных данных и необходимости восполнить этот пробел с усилий по сбору данных [20]. В последние годы значительные усилия по сбору данных были проведены (проводились например несколько проектов по различным аспектам / условий процесса эвакуации с помощью нескольких инструментов, чтобы помочь сбор и качество данных [Гвинн, 2013]). Таким образом, можно утверждать, что рассматривает долгосрочную перспективу, можно будет оценить поведенческие неопределенность также для экспериментальных данных (что делает метод, предложенный в работе применяется также для решения данного вопроса).

Метод представлена с помощью тематическое исследование на основе псевдослучайных генерируемых чисел. Будущая работа может быть основана на анализе результатов модели эвакуации из реальной примере мировой. Например, если повторные экспериментальные данные (что позволит расширять список наборов данных в разделе 3.2.1), метод будет полезен для оценки поведения неопределенность при выполнении аттестационных испытаний. Таким образом, необходимость для сбора повторных экспериментальных данных считается необходимым шагом для выполнения надежных проверочных исследований.

## 5.0 ОБЗОР ПРОТОКОЛА ВЕРИФИКАЦИИ И ВАЛИДАЦИИ

В этом разделе рассматриваются определение стандартного протокола верификации и валидации для эвакуации моделирования. Объем этого раздела не предоставлять критерии приемки о результатах модельных, но, чтобы открыть дискуссию по вопросам, связанным с их определением.

На сегодняшний день нет стандартного протокола верификации и валидации для оценки результатов модели эвакуации здания. Мало исследований было проведено по методам оценки прогнозных возможностей построения моделей эвакуации. Лорд и др. [2005] обсудили вопросы, связанные с неопределенностью и изменчивостью в исходных данных и вычислительных методов для выходного анализа. В частности, они применяются, и уточнить способ анализа неопределенности. Этот метод включает в себя анализ чувствительности для изучения влияния различных параметров модели по результатам порожденных моделей (то есть, модель ввода неопределенность [Хэминс и Макгрэттен, 2007]). Раз эвакуации представляют собой основную переменную рассматриваемого в Лорд и др. [2005]. Галея и др. [2012a] указал, что просто предсказывать время эвакуации для населения в целом не является достаточным для определения точности представления процесса эвакуации. По этой причине они применяются концепцию функционального анализа, представленного Пикок и др. [1999] и в документе ISO 16730 [Международная организация по стандартизации, 2008] для сравнения предсказаний модели и экспериментальных наборов данных для полных кривых времени пассажир - эвакуационных. Метод Галея и др. С [2012a] позволяет оценку прогнозных возможностей моделей эвакуации анализирующих весь процесс эвакуации. Раздел 4 данного документа представляет собой метод, основанный на критериях сближения для изучения поведенческих неопределенности. Этот метод устраняет изучение поведенческой неопределенности, т. е. изменчивость эвакуация модельных прогнозов в отношении числа серий и использование стохастических алгоритмов / распределений. Следует также отметить, что использование предлагаемого способа не зависит от типа алгоритмов / распределений, используемых рассматриваемой модели, то есть метод может быть применен для любого эвакуации модели.

Два противоположных подхода могут быть использованы для сравнения результатов моделирования с экспериментальными данными, а именно: 1) использование лучшей оценки модели для кривой времени пассажир -эвакуаторной [Галея и др., 2012b], или 2) среднее время кривой пассажир - эвакуация. Метод, представленный в разделе 4 настоящего документа повышает удобство и простоту использования второго подхода, так как это позволяет тщательный количественный понимание средних кривых производимых моделей эвакуации. Это позволяет оценку сходимости моделируемой кривой пассажир -эвакуаторной к средней кривой, тем самым увеличивая понимание предсказаний модели. Это отражено в лучшего понимания изменчивости RSET и возможной оценки запаса прочности конкретной конструкции по отношению к поведенческой неопределенности.

Текущее состояние экспериментальных исследований эвакуации не позволяет полное понимание всех неопределенностей, связанных с экспериментальными данными по жильца поведения во время эвакуация здания при пожаре (погрешность измерения, внутренняя неопределенность и поведенческая неопределенность). Влияние поведенческой неопределенности по итогам эвакуации может быть сценарий в зависимости от, но его оценка имеет решающее значение для полного понимания процесса эвакуации. Тем не менее, несколько наборов данных из одного сценария эвакуации редко имеются в наличии в литературе, что делает его трудно оценить поведенческие неопределенности экспериментально.

Если повторные экспериментальные данные одиночных сценариев эвакуации доступны, можно было бы сравнить несколько пробегов модели для нескольких кривых данных. Таким образом, различные модели может быть подтверждено изучением сходимости их результатов по отношению к среднему по отношению к конвергенции различных экспериментальных кривых. Метод, представленный здесь позволит изучение модельных прогнозов в связи с соглашением между сходимости результатов моделирования и экспериментальных наборов данных.

Метод, представленный в данном документе, также могут быть использованы, чтобы сравнить различные модели прогнозирования друг против друга. Метод может быть использован для ранжирования разных моделей с точки зрения их согласии с экспериментальными наборами данных, что позволяет оценку высоких моделей исполнительских в отношении моделей с малых конвергенции мер.

Необходимость дополнительных экспериментальных данных по строительству сценариев эвакуации очевидно для того, чтобы полностью оценить критерии приемлемости включены в проверку и протокола валидации. Несколько вопросов влияет на определение этих критериев приемки. Как критерии приемки должны быть определены в зависимости от предполагаемого использования модели? Как мы определяем критерии приемки по отношению к текущей отсутствия знаний о человеческом поведении в огонь и неопределенности, связанной с человеческого фактора наборов данных? Кто должен устанавливать критерии? (А) разработчики модели, (Б) третья сторона (например, институциональные организации, например Международная морская организация, Международная организация по стандартизации и т.д.), (С) модельные пользователи, или (D) совместными усилиями всех участвующих сторон? Эти вопросы не имеют простых ответов, и они требуют обсуждения между всеми заинтересованными сторонами.

Критерии будет зависеть от двух основных факторов, а именно 1) цели использования модели и 2) неопределенности, связанной с эталонными данными и его природы. Второй аспект связан с типом теста рассматриваемого, является ли это идеальный случай, экспериментальный набор данных или фактического эвакуация набор данных. Предлагаемые критерии приемлемости уже доступны в литературе для различных контекстах использования [Майер- Кениг и др., 2007, Галея и др., 2012a]. Тем не менее, есть необходимость

для широкого обсуждения в рамках эвакуации моделирования сообщества о том, следует ли они быть только минимальные критерии (то есть должны модели достижения предложил пороги, они не будут автоматически становятся «сертифицированные модели», и это является обязанностью конце пользователям оценить уверенность, чтобы положить в модельных прогнозов) и в какой степени различные стороны должны быть вовлечены в определение критериев и оценки верификации и валидации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Averill, J.D. (2011). Five Grand Challenges in Pedestrian and Evacuation Dynamics, in: Peacock, R.D., Kuligowski, E.D., Averill, Jason D. (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*. Springer US, Boston, MA, pp. 1–11.
- Averill, J.D., Reneke, P.A., Peacock, R.D., (2008). Required Safe Egress Time: Data and Modeling, in: *Sky Is the Limit*. Society of Fire Protection Engineers, Bethesda, MD, Auckland, New Zealand, pp. 301–311.
- Bayer, K. and Rejnö, T. (1999). Optimizing genom fullskaleförsök [Evacuation alarm – Optimizing through full-scale experiments] (No. 5053). Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Lund, Sweden.
- Boyce, K.E., Purser, D.A., Shields, T.J. (2012). Experimental studies to investigate merging behaviour in a staircase. *Fire and Materials* 36, 383–398.
- Chooramun, N. (2011). Implementing a hybrid spatial discretisation within an agent based evacuation model. University of Greenwich, London, UK.
- Deutsch, M., Gerard, H.B. (1955). A study of normative and informational social influences upon individual judgment. *The Journal of Abnormal and Social Psychology* 51, 629–636.
- Fang, Z.-M., Song, W.-G., Li, Z.-J., Tian, W., Lv, W., Ma, J., Xiao, X. (2012). Experimental study on evacuation process in a stairwell of a high-rise building. *Building and Environment* 47, 316–321.
- Frantzich, H. and Nilsson, D., (2003). Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning [Evacuation in dense smoke: behaviour and movement] Technical Report 3126.
- Frantzich, H., Nilsson, D., Eriksson, O. (2007). Utvärdering och validering av utrymningsprogram [Evaluation and validation of evacuation programs] (No. 3143). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Lund, Sweden.
- Galea, E.R. (1997). University of Greenwich, Centre for Numerical Modelling and Process Analysis, Validation of evacuation models. CMS Press.
- Galea, E.R., Deere, S., Brown, R., Nicholls, I., Hifi, Y., Bresnard, N. (2012a). The SAFEGUARD validation dataset and recommendations to IMO to update MSC Circ 1238. Presented at the SAFEGUARD Passenger Evacuation Seminar, The Royal Institution of Naval Architects, London, UK, pp. 41–60.
- Galea, E.R., Deere, S., Brown, R., Filippidis, L. (2012b). An Evacuation Validation Data Set for Large Passenger Ships. Presented at the Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012 Conference, ETH, Zurich (Switzerland).
- Аверилл, Дж. Д. (2011). Пять величайших задач динамики эвакуации и движения людских потоков из: Пикок, Р. Д., Кулиговски, И.Д., Аверилл, Джейсон Д. (ред.), *Динамика эвакуации и движения людских потоков*. Спрингер США, Бостон, Массачусетс, стр. 1–11.
- Аверилл, Дж. Д., Ренеке, П. А., Пикок, Р. Д., (2008). Время необходимое на безопасную эвакуацию: данные и моделирование из: Небо это предел. Общество с защитой от огня инженеров, Бетезда, МД, Окленд, Новая Зеландия, стр. 301–311.
- Байер К., Рейно, Т. (1999). Оптимизация путем натурных испытаний [Сигнал к эвакуации - Оптимизация путем натурных испытаний] (№ 5053). Департамент пожарной безопасности технических наук, Университет Лунда, Лунд, Швеция.
- Бойс, К. И., Персер, Д. А., Шилдс, Т. Дж. (2012). Экспериментальные исследования по исследованию поведения слияния на лестничных клетках. *Пожар и материалы* 36, 383–398.
- Чурамуни, Н. (2011). Реализация гибридной пространственной дискретизации в модели эвакуации, основанной на агентах. Университет Гринвича, Лондон, Великобритания.
- Дойч, М., Джерард, Н. В. (1955). Исследование нормативных и информационных социальных влияний с точки зрения индивидуальной оценки. *Журнал аномальной и социальной психологии* 51, 629–636.
- Фанг, З.-М., Сонг, В.-Г., Ли, З.-Дж., Тянь У., Лв, В. Ма, Дж., Сяо, Х. (2012). Экспериментальное исследование процесса эвакуации на лестничной клетке многоэтажного здания. *Строительство и окружающая среда* 47, 316–321.
- Францих, Х. и Нильссон, Д., (2003). Эвакуация в условиях задымления: поведение и движения, Технический доклад 3126.
- Францих, Х. и Нильссон, Д., Эрикссон, О. (2007). Оценка и валидация программ эвакуации (№ 3143). Отдел проектирования пожарной безопасности и систем безопасности, Университет Лунда, Лунд, Швеция.
- Галеа, И. Р. (1997). Университет Гринвича, Центр численного моделирования и процессов анализа, валидации моделей эвакуации. CMS Пресс.
- Галеа, И. Р., Дир, С. Браун, Р., Николс, И., Хифи, Ю., Бреснард, Н. (2012а). Набор данных по валидации SAFEGUARD и рекомендации IMO по обновлению MSC Cir 1238, представленные на семинаре по эвакуации пассажиров SAFEGUARD, Королевский институт архитекторов морского флота, Лондон, Великобритания, стр. 41–60.
- Галеа, Э.Р., Дир, С. Браун, Р., Филиппидис, Л. (2012б). Набор данных валидации эвакуации для крупных пассажирских судов. Представлено на конференции по динамике движения людей и эвакуации 2012 года, ЕТН, Цюрих (Швейцария).

- Grosshandler, W.L., Bryner, N.P., Madrzykowski, D., Kuntz, K. (2005). Report of the Technical Investigation of The Station Nightclub Fire (NIST NCSTAR 2: Volume 1). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (US).
- Gwynne, S.M.V., Kuligowski, E.D., Spearpoint, M. (2012a). More thoughts on defaults. Presented at the Fifth International Symposium on Human Behaviour in Fire, Interscience Communications, Cambridge, UK, pp. 9–23.
- Gwynne, S., Kuligowski, E., Nilsson, D. (2012b). Representing evacuation behavior in engineering terms. *Journal of Fire Protection Engineering* 22, 133–150.
- Gwynne, S.M.V. (2013). Improving the Collection and Use of Human Egress Data. *Fire Technology* 49, 83–99.
- Hamins, A. and McGrattan, K. (2007). Verification and Validation of Selected Fire Models for Nuclear Power Plant Applications, Volume 2 (NUREG-1824). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (US).
- Hewstone, M. and Martin, R. (2008). Social Influence, in: *Introduction to Social Psychology*. Blackwell Publishing, London, UK.
- Hokugo, A., Kubo, K., Murozaki, Y. (1985). An Experimental Study on Confluence of Two Foot Traffic Flows in Staircase. *Journal of Architecture, planning and Environmental Engineering* 358, 37–43.
- Hoogendoorn, S.P. and Daamen, W. (2005). Pedestrian Behavior at Bottlenecks. *Transportation Science* 39, 147–159.
- International Code Council (2012). *International Building Code 2012*.
- International Maritime Organization (2007). *Guidelines for Evacuation Analyses for New and Existing Passenger Ships, MSC/Circ.1238*.
- International Standards Organization (2008). *Fire Safety Engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods. ISO 16730*.
- Jin, T. (2008). Visibility and Human Behavior in Fire Smoke, in: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (3rd Edition)*. National Fire Protection Association, Quincy, MA (USA), pp. 2–42 – 2–53.
- Jones, W.W., Peacock, R.D., Forney, G., Reneke, P.A. (2009). CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 6). *Technical Reference Guide. NIST Special Publication 1026*.
- Jones, W. W.; Peacock, R. D.; Reneke, P. A.; Forney, G. P.; Kostreva, M. M. (1995) Understanding Sensitivity Analysis for Complex Fire Models. Session II; *Fire Dynamics 3; European Symposium on Fire Safety Science, First (1st). Proceedings. Session II. Fire*
- Гроссхандлер, В. Л., Брайнер Н. П. Мадзиковски Д., Кунц, К. (2005). Доклад технического расследования пожара в ночном клубе «Station» (NIST NCSTAR 2: часть 1). Национальный институт стандартов и технологий, Гейтерсберг, Мэрилэнд (США).
- Гвинн, С. М. В., Кулиговски, Е. Д., Спэрпоинт, М. (2012a). Рассуждения на досуге. Представлено на пятом Международном симпозиуме по человеческому поведению при пожаре, межотраслевые научные коммуникации, Кембридж, Великобритания, стр. 9–23.
- Гвинн, С., Кулиговски И., Нильссон, Д. (2012b). Представление поведения при эвакуации с инженерной точки зрения. *Журнал по огнезащите* 22 133–150. Гвинн, С. М. В. (2013 г.). Усовершенствование методов сбора и использования данных по эвакуации людей. *Технология пожаров* 49, 83–99.
- Хэминс, А. и Макгрэттен, К. (2007). Верификация и валидация выбранных моделей пожаров в применении для АЭС, часть 2 (NUREG-1824). Национальный институт стандартов и технологий, Гейтерсберг, Мэрилэнд (США).
- Хьюстоун, М. и Мартин, Р. (2008). Социальное влияние, в: *Введение в социальной психологии*. Изд. Блэквелл, Лондон, Великобритания.
- Хокуго А., Кубо, К., Мурозаки, Ю. (1985). Экспериментальное исследование слияния потоков двуногих на лестничных клетках. *Журнал архитектуры, планирования и экологической проектирования* 358, 37–43.
- Хоогендоорн, С. П. и Даамен, В. (2005). Поведение пешеходов в узких проходах. *Наука о передвижении* 39, 147–159.
- Совет по международным нормам (2012). *Международные строительные нормы 2012*.
- Международная морская организация (2007). *Руководство по эвакуации анализов для новых и существующих пассажирских судов, MSC/Circ.1238*.
- Международная организация по стандартизации (2008). *Проектирование пожарной безопасности - Оценка, верификация и валидация методов расчета. ISO 16730*.
- Джин, Т. (2008). Видимость и поведение человека в условиях задымления при пожаре, из: *Справочника SFPE по противопожарной защите техники (3-е издание)*. Национальная ассоциация противопожарной защиты, Куинси, Массачусетс (США), с 2-42 - 2-53.
- Джонс, В. В., Пикок, Р. Д., Форни, Г., Ренеке, П. А. (2009). CFAST - Обобщенная модель роста пожара и распространения дыма (версия 6). *Техническое справочное руководство. Специальный выпуск NIST 1026*.
- Джонс, В. В.; Пикок, Р. Д.; Ренеке, П.А.; Форни Г. П.; Кострева, М. М. (1995) Понимание анализа чувствительности для сложных моделей пожара. Сессия II; *Динамика пожаров 3; европейский симпозиум по науке о пожарной безопасности, 1-й*

- Dynamics 3. August 21-23, 1995, Zurich, Switzerland, II-24/113-114 pp.
- Kinateder, M. (2013). Social Influence in Emergency Situations—Studies in Virtual Reality. Phd Dissertation.
- Korhonen, T. and Hostikka, S. (2009). Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac Technical Reference and User's Guide (Working paper No. 119). VTT Technical Research Center of Finland.
- Kuligowski, E. (2011). Predicting Human Behavior During Fires. Fire Technology 49, 101–120.
- Kuligowski, E.D., Peacock, R.D., Hoskins, B.L. (2010). A Review of Building Evacuation Models, 2nd Edition, NIST Technical Note 1680.
- Kuligowski, E.D. and Peacock, R.D. (2010). Building Occupant Egress Data, Report of Test FR 4024. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (US).
- Latané, B., Darley, J.M. (1970). The unresponsive bystander: why doesn't he help? Appleton-Century Crofts, New York.
- Lord, J., Meacham, B., Moore, A., Fahy, R., Proulx, G. (2005). Guide for evaluating the predictive capabilities of computer egress models NIST GCR 06-886.
- McGrattan, K., Hostikka, S., Floyd, J.E., Baum, H.R., Rehm, R.G. (2007). Fire Dynamics Simulator (Version 5): Technical Reference Guide (NIST Special Publication 1018-5 No. SP 1018). National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD (US).
- Meyer-König, T., Waldau, N., Klüpfel, H. (2007). The RiMEA Project — Development of a new Regulation, in: Waldau, Nathalie, Gattermann, P., Knoflachner, H., Schreckenberger, M. (Eds.), Pedestrian and Evacuation Dynamics 2005. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 309–313.
- Melly, M., Lennon, P., Lennon, R. (2009). Who defers to whom? Deference behaviour on stairs. Presented at the Human Behaviour in Fire 2009 Symposium, Interscience Communications, pp. 135–146.
- Mulholland G.W. (2008) Smoke Production and Properties. In the SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (Fourth Edition). National Fire Protection Association, Quincy MA, USA.
- Nilsson, D. and Johansson, A. (2009). Social influence during the initial phase of a fire evacuation—Analysis of evacuation experiments in a cinema theatre. Fire Safety Journal 44, 71–79.
- Nilsson, J. and Petersson, R. (2008). Utvärdering av videoanalysmetoder för utrymning med tillämpning på (первый). Труды. Сессия II. Динамика пожаров 3. 21-23 августа 1995 года, Цюрих, Швейцария, II-24/113-114 С.
- Кинатедер, М. (2013). Влияние социального фактора в чрезвычайных ситуациях – Исследования в виртуальной реальности. Кандидатская диссертация.
- Корхонен, Т. и Хостикка, С. (2009). Программа моделирования динамики пожаров при эвакуации: Технический справочник и Руководство пользователя FDS + Evac (Рабочий документ № 119). VTT Технический исследовательский центр Финляндии.
- Кулиговски, И. (2011). Прогнозирование поведения людей при пожаре. Технология пожаров 49, 101-120.
- Кулиговски, И. Д., Пикок, R.D., Хоскинс, Б. Л. (2010). Обзор модели эвакуации зданий, 2-е издание, Техническое примечание NIST 1680.
- Кулиговски, И. Д. и Пикок, R.D. (2010). Данные эвакуации людей из здания, Доклад по испытаниям FR 4024. Национальный институт стандартов и технологий, Гейтерсберг, Мэрилэнд (США).
- Латане, Б., Дарли, Дж. М. (1970). Безответный свидетель: почему он не помогает? Эпплтон-сенчерс Крофтс, Нью-Йорк.
- Лорд, Дж., Мичем, Б. Мур, А., Фахи, Р., Прулкс, Г. (2005). Руководство по оценке возможности прогнозирования компьютерных моделей эвакуации NIST ГКЛ 06-886.
- Макгрэттан, К., Хостика, С., Флойд, Дж. И. , Баум, Х. Р., Рем, Р. (2007). Программа моделирования динамики пожаров (Версия 5): Техническое справочное руководство (Специальный выпуск NIST 1018-5 номер SP 1018). Национальный институт стандартов и технологии, Гейтерсберг, Мэрилэнд (США).
- Майер-Кениг, Т., Вальдау, Н., Клюпфель, Х. (2007). Проект RiMEA - разработка новых норм, из: Вальдау, Натали, Гаттермана, Р., Кнофлачер, Х., Шреккенберг, М. (ред.), Динамика движения людей и эвакуации, 2005. Springer Berlin Heidelberg, Берлин, Гейдельберг, стр. 309-313.
- Мелли, М., Леннон, П., Леннон, Р. (2009). Кто кого задерживает? Учетное поведение на лестничных клетках. Представлено на симпозиуме по поведению людей при пожаре 2009, межотраслевые научные коммуникации, стр. 135-146.
- Малхолланд Г. В. (2008) Дымообразование и свойства дыма. В Справочник SFPE по огнезащите (четвертое издание). Национальная ассоциация противопожарной защиты, Куинси, Массачусетс, США.
- Нильссон, Д. and Йоханссон, А. (2009). Влияние социального фактора на начальном этапе эвакуации при пожарной – эксперименты по анализу эвакуации в кинотеатре. Журнал по пожарной безопасности 44, 71-79.
- Нильссон, Дж. и Петерсон, Р. (2008). Оценка методов видеоанализа для чрезвычайных сценариев

- horn [Evaluation of video analysis techniques for emergency scenarios] (Technical Report No. 5256). Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University., Lund, Sweden.
- Nilsson, D. (2009). Exit choice in fire emergencies: influencing choice of exit with flashing lights. Dept. of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Lund, Sweden.
- Peacock, R.D., Hoskins, B.L., Kuligowski, E.D. (2012). Overall and local movement speeds during fire drill evacuations in buildings up to 31 stories. *Safety Science* 50, 1655–1664.
- Peacock, R.D., Reneke, P.A., D. Davis, W., Jones, W.W. (1999). Quantifying fire model evaluation using functional analysis. *Fire Safety Journal* 33, 167–184.
- Purser, D. and Bensilum, M. (2001). Quantification of behaviour for engineering design standards and escape time calculations. *Safety Science* 38, 157–182.
- Purser, D.A. (2008). Assessment of Hazards to Occupants from smoke, toxic gases and heat, in: *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (4th Edition). Di Nenno P. J., Quincy, MA (USA), pp. 2–96 – 2–193.
- Ronchi, E. and Kinsey, M. (2011). Evacuation models of the future: Insights from an online survey on user's experiences and needs. Presented at the Advanced Research Workshop Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations EVAC11, Capote, J. et al, Santander, Spain, pp. 145–155.
- Ronchi, E., Gwynne, S.M.V., Purser, D.A., Colonna, P. (2013a). Representation of the Impact of Smoke on Agent Walking Speeds in Evacuation Models. *Fire Technol* 49, 411–431.
- Ronchi, E., Nilsson, D., Zechlin, O., Klein, W., Mayer, H. (2013b). Employing validation and verification tests as an integral part of evacuation model development. Presented at the 13th International Conference and Exhibition on Fire Science and Engineering, Interscience Communications, Royal Holloway College, University of London, UK, pp. 979–990.
- Ronchi, E., Reneke, P.A., Peacock, R.D. (2013c). A Method for the Analysis of Behavioural Uncertainty in Evacuation Modelling. *Fire Technol*. Doi: 10.1007/s10694-013-0352-7
- Ronchi, E. and Nilsson, D. (2013). Modelling total evacuation strategies for high-rise buildings. *Build. Simul.* Doi: 10.1007/s12273-013-0132-9
- Rykiel, E.J. (1996). Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological modelling* 90, 229–244.
- Seyfried, A., Rupperecht, T., Winkens, A., Passon, O., Steffen, B., Klingsch, W.W.F., Boltes, M. (2007). Capacity Estimation for Emergency Exits and (Технический отчет № 5256). Отдел пожарной безопасности и системам безопасности, Университет Лунда., Лунд, Швеция.
- Нильссон, Д. (2009). Выбор выход в чрезвычайных ситуациях при пожаре: влияние световых сигналов на выбор выхода. Отдел проектирования пожарной безопасности и систем безопасности, Университет Лунда, Лунд, Швеция.
- Пикок, Р.Д., Хоскинс, Б. Л. права, Кулиговски, И.Д. (2012). Общая и локальная скорость движения при учебной эвакуации при пожарной тревоге в зданиях до 31 этажей. *Наука о безопасности*, 50, 1655-1664.
- Пикок, Р. Д., Ренеке, П. А., Д. Дэвис, У., Джонс, В. В. (1999). Количественная оценка пожарной модели с использованием функционального анализа. *Журнал пожарной безопасности* 33, 167-184.
- Персер, Д. и Бенсилум, М. (2001). Количественная оценка поведения для стандартов проектирования и расчеты времени эвакуации. *Наука о безопасности*, 38, 157-182.
- Персер, Д.А. (2008). Оценка опасности дыма, токсичных газов и тепловых воздействий для людей в здании, из: *Справочника SFPE по противопожарной безопасности* (4-е издание). Ди Ненно П. Дж., Куинси, Массачусетс (США), с 2-96 - 2-193.
- Рончи, И. и Кинси, М. (2011). Модели эвакуации будущего: взгляд из онлайн опроса об опыте и требованиях пользователя. Представлено на Семинаре по продвинутым исследованиям эвакуации и человеческого поведения в чрезвычайных ситуациях EVAC11, Капоте, Дж. и др., Сантандер, Испания, стр. 145-155.
- Рончи И., Гвинн, С. М. В., Персер Д. А., Колонна, П. (2013а). Демонстрация влияния дыма на скорость ходьбы агента в моделях эвакуации. *Пожарная техника*, 49, 411-431.
- Рончи И., Нильссон, Д., Цехлин, О. Клейн, В. Майер, Н. (2013b). Используя испытания по валидации и верификации в качестве неотъемлемой части развития модели эвакуации. Представлено на 13-й Международной конференции и выставке по пожарной науке и технике, межотраслевые научные коммуникации, Королевский Колледж Холлоуэй, Лондонский университет, Великобритания, стр. 979-990.
- Рончи И., Ренеке, П. А., Пикок, Р. Д. (2013с). Метод оценки поведенческой неопределенности при моделировании эвакуации. *Пожарная техника*. Doi: 10.1007/s10694-013-0352-7
- Рончи, Е. и Нильссон, Д. (2013). Моделирование общее стратегий эвакуации для высотных зданий. *Сборка. Simul.* Doi: 10.1007/s12273-013-0132-9
- Рикель, И. Дж. (1996). Испытание экологических моделей: значение валидации. *Экологическое моделирование* 90, 229-244.
- Сейфрид, А., Рупрехт, Т., Винкерс А., Пассон О., Штеффен Б., Клингш, В. В. П., Болтс, М. (2007). Оценка возможностей аварийных выходов и узких



Bottlenecks. Presented at the 11th International Fire Science and Engineering Conference Interflam 2007, Royal Holloway College, University of London, UK.

Sime, J.D. (1985). Movement toward the Familiar: Person and Place Affiliation in a Fire Entrapment Setting. *Environment and Behavior* 17, 697–724.

Weidmann, U. (1992). Transporttechnik der Fussgänger. Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs Literatursauswertung. IVT, Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, Zurich, Switzerland.

Zhang, J., Klingsch, W., Schadschneider, A., Seyfried, A. (2011). Transitions in pedestrian fundamental diagrams of straight corridors and T-junctions. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment* 2011, P06004.

мест. Представлено на 11-й Международной Пожарной научно-технической конференции Interflam 2007, Королевский колледж Холлоуэй, Лондонский университет, Великобритания.

Сайм, Дж. Д. (1985). Движение по знакомому маршруту: связь человека и места в условиях пожара. *Окружающая среда и поведение*, 17, 697-724.

Вейдманн, У. (1992). Техника передвижения пешеходов. Технические характеристики движения пешеходов. IVT, Институт планирования транспорта, транспорт, дороги и железнодорожное строительство, Цюрих Швейцария.

Чжан Дж., Клингш, В., Шадшнейдер А., Сейфрид, А. (2011). Перемещения на основных пешеходных диаграммах прямых коридоров и Т-образных пересечениях. *Журнал статистической механики: теория и практика*, 2011, P06004.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОЦЕНКИ ДЛЯ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ

Таблица А.1. Результаты, соответствующие 35 запускам одного сценария эвакуации (в %).

Запуск (n)	$TET_{convi}$ (%)	$SD_{convi}$ (%)	$ERD_{convi}$ (%)	$EPC_{convi}$ (%)	$SC_{convi}$ (%)
1	/	/	/	/	/
2	12.163	/	/	/	/
3	3.852	8.294	10.800	18.674	10.337
4	3.369	0.886	1.555	5.446	0.439
5	4.691	16.110	1.059	4.962	1.238
6	2.024	3.639	2.399	3.022	0.176
7	0.405	7.698	0.368	0.052	0.045
8	2.054	2.709	1.321	2.658	0.115
9	1.323	1.400	1.403	1.086	0.365
10	1.238	0.875	0.055	1.900	0.165
11	0.582	3.723	0.158	0.088	0.024
12	1.139	0.358	0.169	0.187	0.011
13	0.626	2.473	0.122	0.138	0.008
14	0.820	0.772	0.081	0.068	0.004
15	1.901	11.480	1.761	2.673	0.392
16	0.140	3.194	1.883	2.505	0.396
17	0.758	0.312	0.235	0.969	0.042
18	0.861	0.779	0.134	1.393	0.064
19	0.403	1.859	0.166	1.248	0.062
20	0.453	1.400	0.254	1.355	0.062
21	0.234	2.124	0.578	0.696	0.003
22	0.420	1.159	0.028	0.092	0.010
23	0.569	0.080	0.443	0.980	0.032
24	0.298	1.473	0.514	0.893	0.029
25	0.393	0.819	0.170	0.206	0.012
26	0.663	1.576	0.206	0.210	0.002
27	0.267	1.297	0.138	1.033	0.016
28	0.198	1.480	0.084	0.955	0.006
29	0.666	2.348	0.666	1.631	0.095
30	0.166	1.442	0.958	1.043	0.079
31	0.129	1.481	0.031	0.231	0.020
32	0.652	2.721	0.323	0.359	0.012
33	0.184	1.193	0.382	0.646	0.013
34	0.075	1.441	0.044	0.075	0.001
35	0.207	0.956	0.181	0.424	0.012

**Таблица А.2 Обзор результатов испытаний этапа 4 метода оценки.**

<b>Запуск</b>	<b>TEST 1</b>	<b>TEST 2</b>	<b>TEST 3</b>	<b>TEST 4</b>	<b>TEST 5</b>
1	/	/	/	/	/
2	ОТКАЗ	ОТКАЗ	/	/	/
3	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ
4	ОТКАЗ		ОТКАЗ	ОТКАЗ	
5	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ
6	ОТКАЗ		ОТКАЗ	ОТКАЗ	
7		ОТКАЗ			
8	ОТКАЗ		ОТКАЗ	ОТКАЗ	
9	ОТКАЗ		ОТКАЗ	ОТКАЗ	
10	ОТКАЗ			ОТКАЗ	
11	ОТКАЗ				
12	ОТКАЗ				
13	ОТКАЗ				
14	ОТКАЗ				
15	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОТКАЗ	ОК
16			ОТКАЗ	ОТКАЗ	
17	ОТКАЗ				
18	ОТКАЗ			ОТКАЗ	
19				ОТКАЗ	
20				ОТКАЗ	
21					
22					
23	ОТКАЗ				
24					
25		ОК			
26	ОТКАЗ		ОК		
27				ОТКАЗ	
28					
29	ОТКАЗ			ОТКАЗ	
30				ОТКАЗ	
31					
32	ОТКАЗ				
33					
34					
35					

**Таблица А.3. Результаты испытания 1 и испытания 4 для 70 запусков.**

<b>Запуск</b>	<b>TEST 1</b>	<b>TEST 4</b>	<b>Запуск</b>	<b>TEST 1</b>	<b>TEST 4</b>	<b>Запуск</b>	<b>TEST 1</b>	<b>TEST 4</b>
1			24			47		
2	ОТКАЗ		25			48		
3	ОТКАЗ	ОТКАЗ	26	ОТКАЗ		49		
4	ОТКАЗ	ОТКАЗ	27	ОТКАЗ		50		
5	ОТКАЗ	ОТКАЗ	28			51	ОТКАЗ	
6	ОТКАЗ	ОТКАЗ	29	ОТКАЗ	ОТКАЗ	52		
7			30	ОТКАЗ		53		
8	ОТКАЗ	ОТКАЗ	31			54		
9	ОТКАЗ	ОТКАЗ	32	ОТКАЗ		55		
10	ОТКАЗ	ОТКАЗ	33			56		
11	ОТКАЗ		34			57		
12	ОТКАЗ		35			58		
13	ОТКАЗ		36			59		
14	ОТКАЗ		37			60		
15	ОТКАЗ	ОТКАЗ	38			61	ОК	
16	ОТКАЗ		39			62		
17	ОТКАЗ		40	ОТКАЗ	ОК	63		
18	ОТКАЗ	ОТКАЗ	41			64		
19	ОТКАЗ		42	ОТКАЗ		65		
20	ОТКАЗ		43			66		
21			44			67		
22			45			68		
23	ОТКАЗ		46			69		
						70		