

ООО «СИТИС»

---

**PATHFINDER 2012.1**  
**ВЕРИФИКАЦИЯ**  
**И ВАЛИДАЦИЯ**

---

Pathfinder 2012.1  
Verification and Validation

***TP – 5077***

04.07.2013

ООО «СИТИС»

Перевод выполнен программой автоматического перевода Google Translator.

Автоперевод от 04.07.2013

# СОДЕРЖАНИЕ

1.0 ВВЕДЕНИЕ .....	4
Режимы моделирования.....	4
Инерция.....	5
2.0 ИСПЫТАНИЯ IMO.....	5
Скорость движения (IMO_01).....	5
Скорость при движении вверх по лестнице (IMO_02) .....	6
Скорость при движении вниз по лестнице (IMO_03).....	7
Скорость потока через двери (IMO_04).....	8
Начальное время задержки (IMO_05) .....	11
Вогнутая геометрия, границы (IMO_06) .....	12
Несколько скоростей движения (IMO_07) .....	14
Встречный поток (IMO_08).....	16
Чувствительность к доступным дверям (IMO_09).....	17
Настройки выхода (IMO_10) .....	18
Затор (IMO_11) .....	20
3.0 ТЕСТОВЫЕ ЗАДАЧИ SFPE .....	22
Пример 1: Отдельное помещение с лестницей (SFPE_1) .....	22
Пример 2: 5-этажное здание (SFPE_2) .....	24
4.0 СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ.....	27
Сейфрид и др.....	27
5.0 СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ ПРОГРАММАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....	29
Ночной клуб «Station» .....	29
Составные элементы пространства .....	32
6.0 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	34

## 1.0 ВВЕДЕНИЕ

В настоящем документе представлены тестовые данные верификации и валидации для программы моделирования Pathfinder. В данном документе используются следующие определения:

- *Верификация* представляет собой синтетические тесты, предназначенные для проверки того, что программа моделирования работает в соответствии Техническим Руководством Pathfinder. Обычно эти тесты попытка выделить конкретные моделируемые количества или поведение и может содержать только небольшое число людей. Такое испытание часто имеет очень специфические критерии Пройдено/Не пройдено. Верификация подтверждает, что программное обеспечение реализует конкретную модель правильно – она не предназначена для оценки того, насколько точно эта модель отражает реальность.
- *Валидация* предназначена для измерения того, насколько хорошо внедрение моделей моделирования программы Pathfinder имитирует реальное поведение. Как правило, эти тесты будут изучать взаимодействие между несколькими элементами моделирования и, возможно, меньше конкретных критериев Пройдено/Не пройдено. Валидация, как правило, основана на экспериментальных данных или опыте (например, затор должен образоваться в определенной зоне).
- *Сравнения* представляют результаты Pathfinder вместе с результатами других программ моделирования. Эти тесты предназначены, чтобы дать читателю возможность понять, где Pathfinder "можно применять" по сравнению с другим программным обеспечением по моделированию.

Использование терминов *верификация* и *валидация* в настоящем документе должно соответствовать терминологии, представленной в ASTM E1472 (ASTM 1998).

### Режимы моделирования

Каждый тест в этой главе выполняется с использованием трех различных конфигураций (режимов) на основе опции **Режим поведения** и опции **Добавить базовые столкновения** (только в режиме SFPE) в диалоговом окне **Параметры моделирования** программы Pathfinder. Моделирование в режиме SFPE запускается путем выбора в **Режиме поведения** – режим **SFPE**, а моделирование в режиме SFPE+ выполняется путем выбора в **Режиме поведения** – режим **SFPE** и активного **Добавить базовые столкновения**, а Моделирование управления движением запускается путем выбора в **Режиме поведения** – **Управление движением**. В каждом случае все другие опции моделирования расположены слева при настройке по умолчанию, если не указано иное.

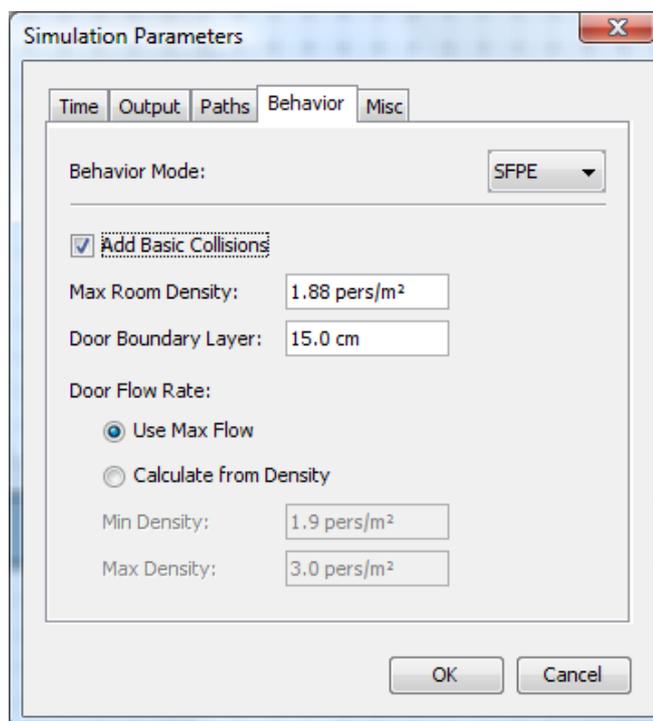


Рис. 1: Диалоговое окно параметров моделирования, показывающее настройки для режима SFPE+.

В некоторых случаях результаты сопровождаются временем выполнения моделирования. Это время выполнения представляет собой время выполнения задачи на одной из нескольких тестовых машин, поддерживаемых Thunderhead Engineering, и должно интерпретироваться только в качестве грубой оценки времени выполнения задачи на аппаратном оборудовании клиента.

## Инерция

Режимы на основе SFPE, поддерживаемые Pathfinder, позволяют людям мгновенно переходить между скоростями без учета ускорения. Тем не менее, если прогнозирование результатов моделирования выполняется с использованием Режима управления движением, необходимо учитывать инерцию. Допустим, человек должен пройти некоторое расстояние  $d$ , как правило, это происходит следующим образом:

1. Рассчитывается  $d_1$ , используя следующее уравнение движения:  $d_1 = 0.5 * (v_1 - v_0) * t_1$ , где  $d_1$  это пройденное расстояние,  $v_0$  это начальная скорость,  $v_1$  это конечная скорость, и время  $t_1$  это время, необходимое для перехода от  $v_0$  к  $v_1$ . В Pathfinder ускорение вычисляется, чтобы позволить людям переходить из неподвижного состояния в движение с максимальной скоростью за 0,5 секунды, что устанавливает  $t$  равное 0,5 с.  $v_0$ , как правило, равно 0,0 м/с и  $v_1$  это максимальная скорость человека.
2. Рассчитывается  $d_2$  как оставшееся расстояние, которое должно быть пройдено после  $d_1$ :  $d_2 = d - d_1$
3. Рассчитывается время  $t_2$  которое необходимо чтобы пройти оставшееся расстояние,  $d_2$ , по следующей формуле:  $t_2 = d_2 / v_1$
4. Полное время  $t$ , необходимое для ускорения с 0,0 м/с и прохождения расстояния  $d$  при этом имеет вид:  $t = t_1 + t_2$

Этот подход ссылаются несколько проблем ниже с этикеткой "для учета инерции". В разделе Скорость движения (IMO\_01) подробности, касающиеся подхода, представлены в качестве примера.

## 2.0 ИСПЫТАНИЯ ИМО

В этом разделе представлены тестовые задачи, описанные в Приложении 3 к 1238 ИМО (Международной морской организации 2007 года).

### Скорость движения (IMO\_01)

Этот пример теста проверяет скорость передвижения в коридоре для одного человека. Тест основан на Тесте 1, приведенном в Приложении 3 ИМО 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает коридор шириной 2 метра и длиной 40 метров, содержащий одного человека. Человек должен идти через коридор и выход. Скорость движения человека составляет 1,0 м/с.

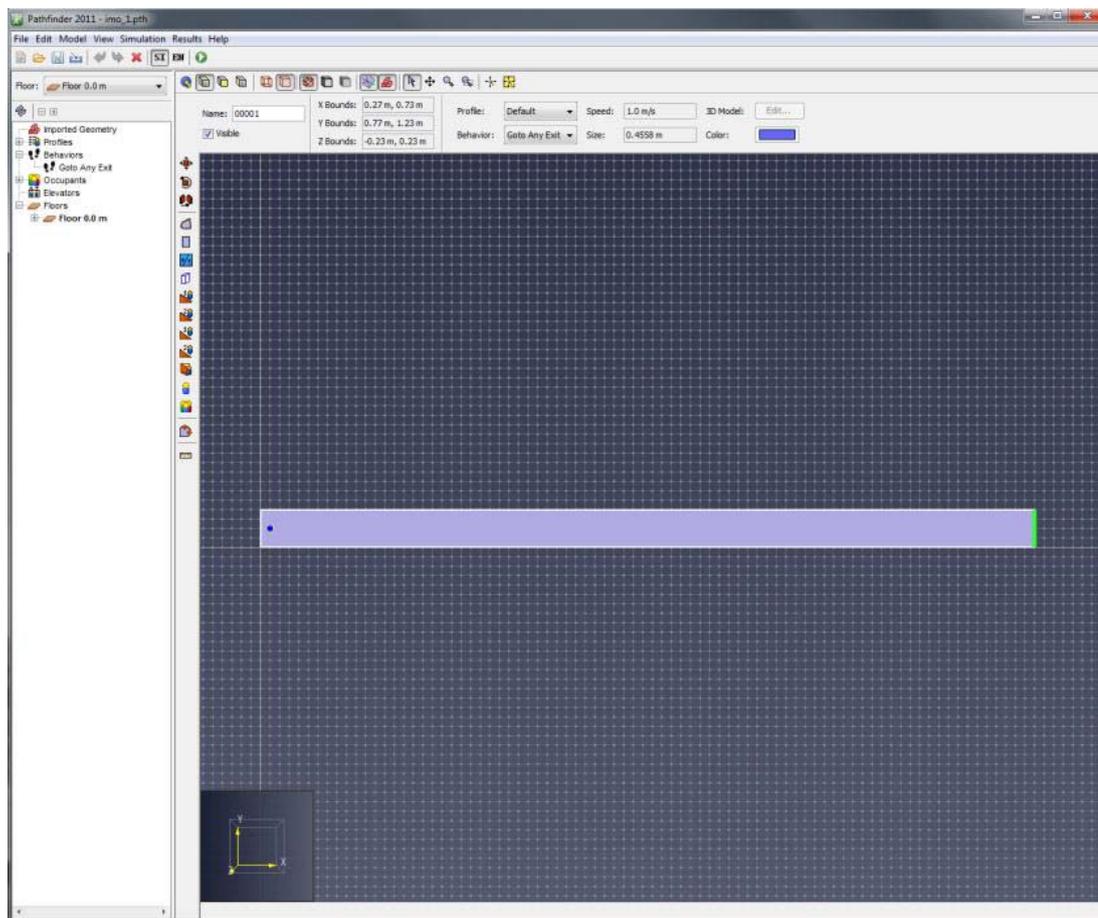


Рис. 2: Установка задачи IMO\_01.

### Примечания установки

Так как Pathfinder отслеживает расположение людей через центр, сетка навигации был продлен 0,5 метров за человеком, чтобы пространство для задней половины людей, стоя ровно 40 метров от выхода.

### Ожидаемые результаты

Режимы SFPE и SFPE+ должны давать результат времени выхода 40,0 секунд.

Режим управления движением использует инерцию, и мы должны учитывать время, необходимое для разгона до 1,0 м/с. Люди в Pathfinder могут разогнаться до максимальной скорости за 0,5 с. От  $S = 0,5 * (V1-V0)$  Т мы знаем, что с  $v0 = 0,0$  м/с,  $V1 = 1,0$  м/с, за время  $t = 0,5$  с человеком будет пройдено 0,25 м. Оставшиеся 39,75 метра будет покрываться за 1,0 м/с. Таким образом, режим управления движением должен дать время выхода 40,25 секунд.

### Результаты

В следующей таблице показано время, необходимое для выхода в каждом тестируемом режиме.

Режим	Время	Время расчета
SFPE	40,00	< 1 с
SFPE+	40,00	< 1 с
Управление движением	40,23	< 1 с

### Анализ

Все тесты были успешны. 0,02 с ошибкой объясняется размером временным шагом 0,025. Уменьшение размера шага по времени с коэффициентом 10 (0.0025) дает решение, которое соответствует предсказанным время точно.

### Скорость при движении вверх по лестнице (IMO\_02)

Этот тест проверяет скорость при движении вверх по лестнице для одного человека. Тест основан на Тесте 2, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает лестница шириной 2 метра и длиной 10 метров (по наклонной плоскости). Один человек с максимальной скоростью движения от 1,0 м/с начинает движение с основания лестницы и поднимается к выходу. В этом примере используется 7 "x11" ступенек.

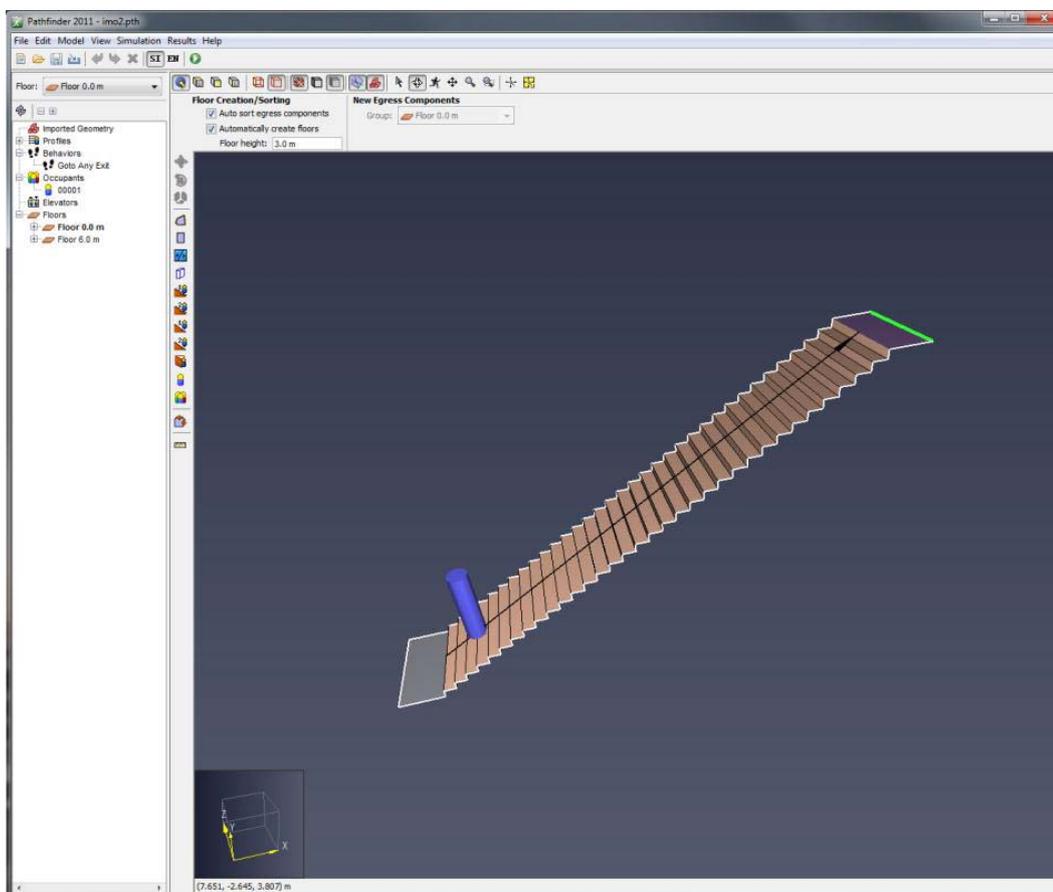


Рис. 3: Установка задачи IMO\_02.

### Примечания установки

Так как Pathfinder отслеживает расположение людей по центральной точке, длина лестницы была расширена за человеком, чтобы имелось пространство для половины людей сзади, если они стоят на ступеньке. Длина между центром исходного положения человека и верхней частью лестницы составляет 10,0 м.

### Ожидаемые результаты

Человеку задана базовая скорость не более 1,0 м/с. Эта скорость будет снижена во всех режимах на коэффициент масштабирования на основе наклона лестницы. Используя скорость уравнений, приведенных в Техническом руководстве Pathfinder, это масштабный коэффициент будет  $(0,918 \text{ м/с}) / (1,19 \text{ м/с}) = 0,77$ . Это делает эффективную скорость на лестнице у человека  $(1,0 \text{ м/с}) * 0,77 = 0,77 \text{ м/с}$ . На основании этой скорости, режим SFPE и режим SFPE+ должны давать результат 12,99с и Режим управления движением должен дать результат 13,16 с (для учета инерции).

### Результаты

В следующей таблице показано время, чтобы подняться на лестницу в каждой тестируемой режиме.

Режим	Время	Время расчета
SFPE	12,93	< 1 с
SFPE+	12,93	< 1 с
Управление движением	13,10	< 1 с

### Анализ

Все результаты испытаний находятся в пределах допустимой погрешности (0,06 с, 0,06 с, 0,06 с).

### Скорость при движении вниз по лестнице (ИМО\_03)

Эта тестовая задача проверяет скорость при движении вниз по лестнице для одного человека. Тест основан на Тесте 3, приведенном в приложении 3 ИМО 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает лестницу шириной 2 метра и длиной 10 метров (по наклонной плоскости). Один человек с максимальной скоростью движения от 1,0 м/с начинает движение от верха лестницы и спускается к выходу. В этом примере используется 7 "x11" ступенек.

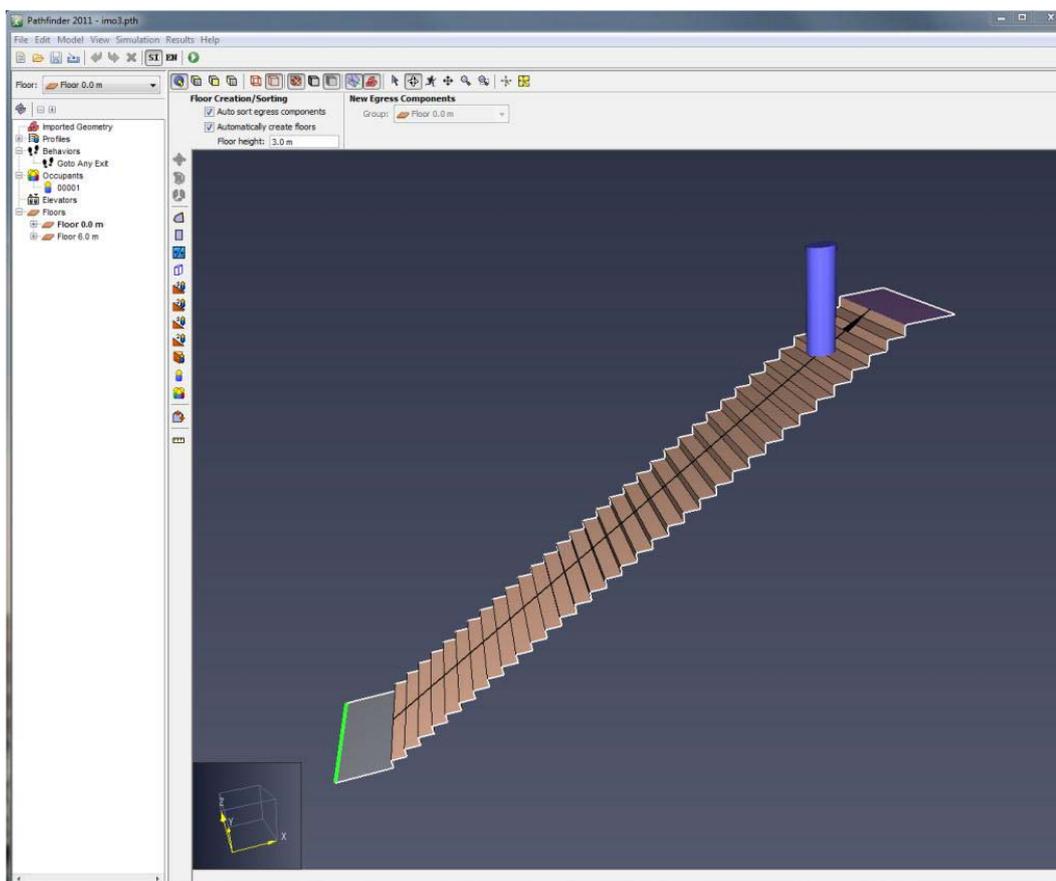


Рис. 4: Установка задачи ИМО\_03.

### Примечания установки

Так как Pathfinder отслеживает расположение людей через центр, длина лестницы была расширена за человеком, чтобы пространство для задней половины людей, стоя на шаг. Длина между центром человека исходное положение и нижней части лестницы 10,0 м.

### Ожидаемые результаты

Человеку задана базовая скорость не более 1,0 м/с. Эта скорость будет снижена во всех режимах на коэффициент масштабирования на основе наклону лестницы. Используя скорость уравнений, приведенных в техническом руководстве Pathfinder, это масштабный коэффициент будет  $(0,918 \text{ м/с}) / (1,19 \text{ м/с}) = 0,77$ . Это делает эффективную скорость лестнице человека  $(1,0 \text{ м/с}) * 0,77 = 0,77 \text{ м/с}$ . На основании этой скорости, режим SFPE и режим SFPE+ должны давать результат 12,99 с и Режим управления движением должен дать результат 13,16 с (для учета инерции).

### Результаты

В следующей таблице показано время, чтобы спуститься по лестнице в каждой тестируемой режиме.

Режим	Время	Время расчета
SFPE	12,93	< 1 с
SFPE+	12,93	< 1 с
Управление движением	13,10	< 1 с

### Анализ

Все результаты испытаний находятся в пределах допустимой погрешности (0,06 с, 0,06 с, 0,06 с).

### Скорость потока через двери (ИМО\_04)

Этот пример проверяет ограничения скорости потока в ходе прохождения через дверные проемы в режимах SFPE. Результаты Режимы управления движением включены для сравнения. Тест основан на Тесте 4, приведенном в приложении 3 ИМО 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает помещение 8 метров на 5 метров с выходом шириной 1 метр, расположенном в центре 5 метровой стены. В помещении находится 100 человек с предположением, что средняя скорость потока людей за весь период не превысит 1,33 человек в секунду.

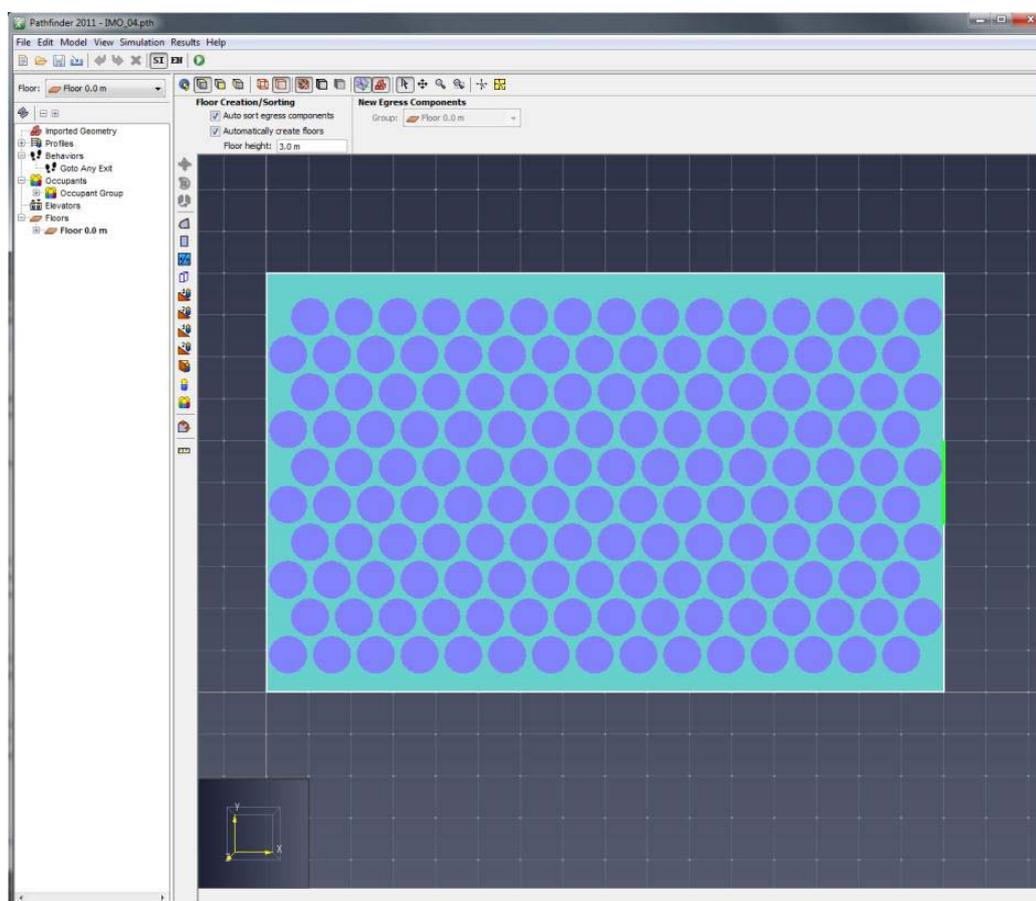


Рис. 5: Установка задачи ИМО\_04.

### Примечания установки

Равномерное распределение людей используется для достижения высокой плотности в помещении.

Скорость потока будет измеряться с использованием сводных данных моделирования. Эти данные представляют скорость потока как количество людей, чтобы пройти через дверь, деленная на количество раз, когда дверь была "активная". Дверь считается активным после первых людей достигло дверь и больше не является активным, когда последний человек открыл дверь.

Во время моделирования в режиме SFPE пограничный слой к двери будет установлен 0,0м. Это обеспечит максимально возможное (наименее консервативное) решение. Пограничный слой не используется при моделировании в режиме управления движением (всегда используется полная ширина двери 1,0м). При использовании режимов SFPE, это даст максимальную скорость потока через двери 1,33 чел/с.

### Ожидаемые результаты

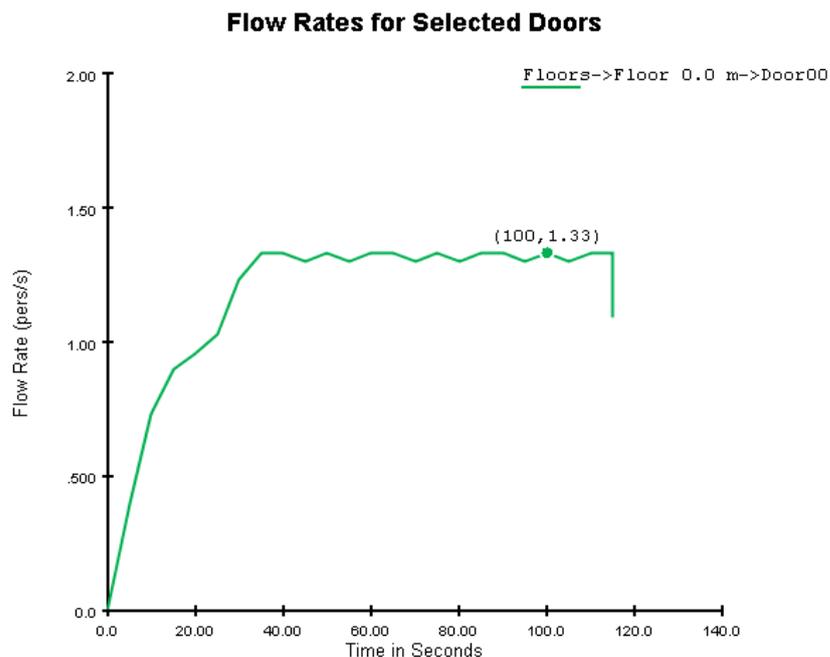
Максимальная наблюдаемая скорость потока должна быть меньше, чем 1,33 человек в секунду.

### Результаты

В приведенной ниже таблице показана максимальная скорость потока через двери выхода, наблюдаемая в каждом тестируемом режиме.

Режим	Средняя скорость потока	Время окончания	Время расчета
SFPE	1,32 чел/с	114,93 с	< 1 с
SFPE+	1,08 чел/с	139,75 с	1,4 с
Управление движением	1,75 чел/с	86,13 с	2,5 с

На следующих рисунках показаны кривые скорости потока во времени для каждого режима моделирования.



**Рис. 6: Скорость потока через двери в режиме SFPE.**

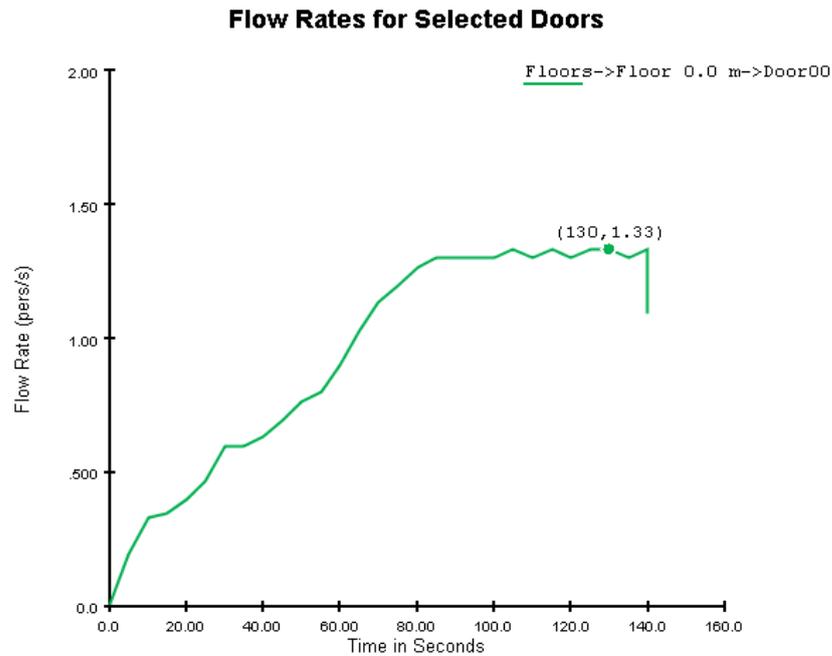


Рис. 7: Скорость потока через двери в режиме SFPE+.

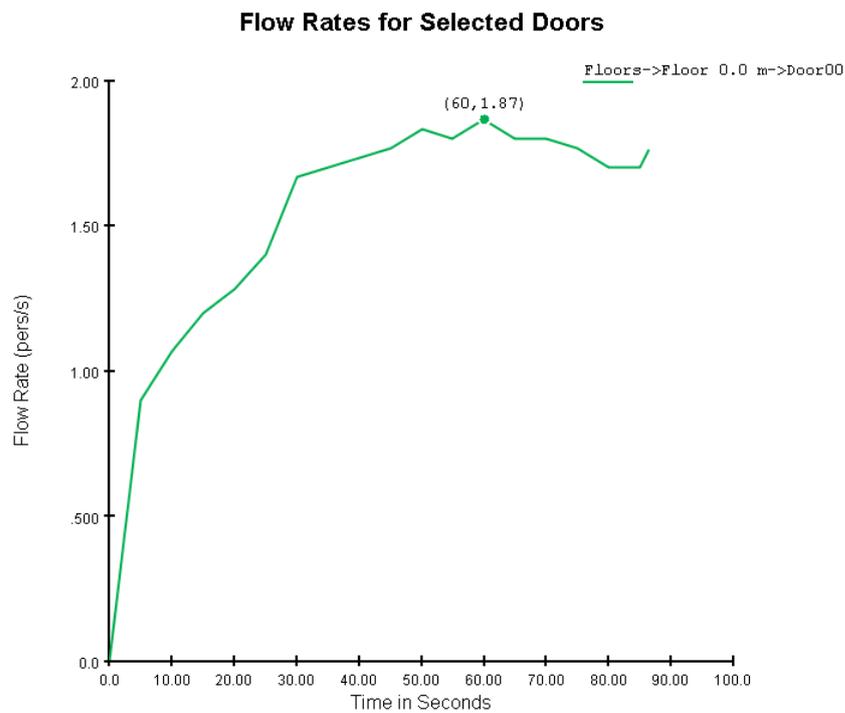


Рис. 8: Скорость потока через двери в режиме управления движением.

### Анализ

Результаты варьировались в зависимости от режима моделирования. Общее среднее время в режимах SFPE и SFPE+ было существенно ниже максимальный общий среднее время (1,33 чел/с). Основано на рисунке 6 и 7, в обоих режимах SFPE потребовалось более 30 секунд, чтобы достичь максимального потока. Такое медленное время подход может быть связано с начальной плотностью в помещении. Помещение 8 x 5 м, содержащее 100 человек, имеет плотность 3,75 чел/м<sup>2</sup>. На основании предположения в режиме SFPE, это дает каждому человека очень медленную ходьбу скоростью (около 0,003 м/с). Дверь не может работать на максимальном потоке в течение длительного времени, потому что он просто занимает больше времени для людей, чтобы добраться до двери. Этот эффект преувеличен в режиме SFPE+ потому что люди не могут перекрыться в их подходе к двери.

В режиме управления движением общее время средним превышала проблема спецификации на 0,42 с. Максимальная скорость потока за время движения 5 секунд в среднем составила 1,87 чел/с. Так как скорость потока явно не управляется режимом управления движением, но выходит из основного поведения этот ре-

зультат считается в разумном согласии с ожиданием. Кроме того, режим управления движением приводит к намного более быстрому времени выхода, потому что люди могут свободно перемещаться рядом с передней группой и не ограничены общей плотностью помещения.

### Начальное время задержки (IMO\_05)

Этот случай подтверждает начальной задержки (до движения) раз. Тест основан на Тесте 5, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает помещение 8 метров на 5 метров с выходом шириной 1 метр, расположенном в центре 5 метровой стены. В помещении находится 10 человек с равномерно распределенным временем отклика в пределах от 10 до 100 секунд. На Рисунке 9 показана начальная настройка задачи. 10 человек были добавлены в помещение в случайных местах.

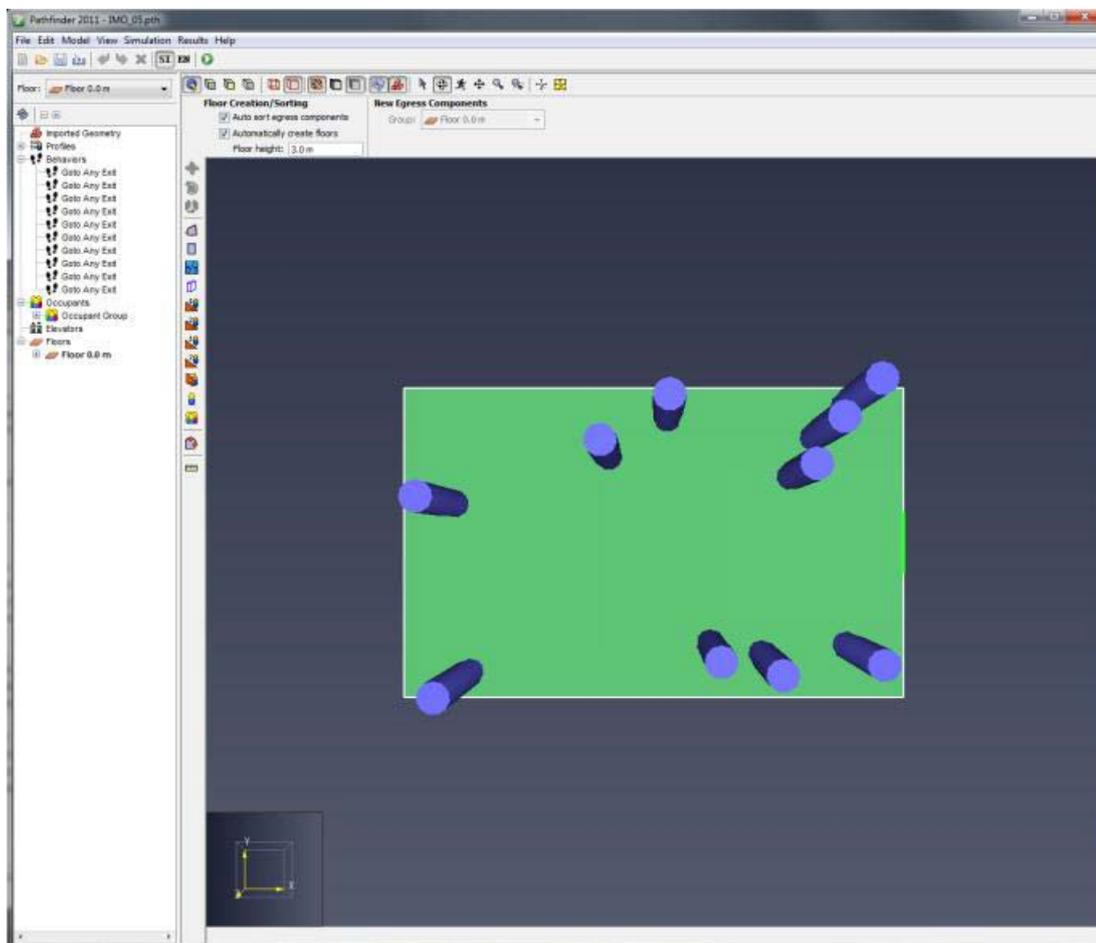


Рис. 9: Установка задачи для верификации начального времени движения.

#### Примечания установки

Любям был назначен профиль, который используется для равномерного распределения параметра задержки с мин = 10,0 с, а максимальная = 100,0 с.

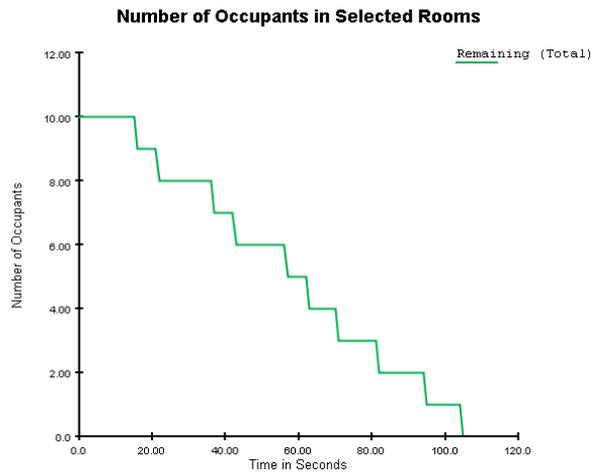
Параметры людей не были рандомизированы между моделированиями. Это должно привести к сходным графикам подсчета количества человек.

#### Ожидаемые результаты

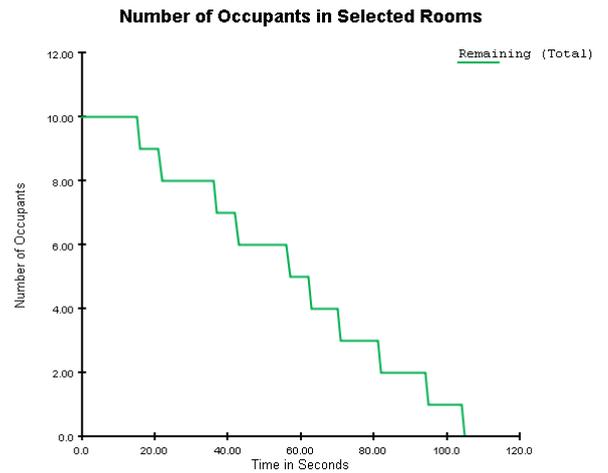
Начальная раз движение должно варьироваться от человек. В первую очередь, этот результат будет проверена просмотра результатов анимации, однако полезно (хотя и не убедительные) результаты будут представлены в виде количества человек для помещения. Эти данные Количество человек должны продемонстрировать, что выход людей в разное время между  $t = 10$ с и  $t = 110$ с.

#### Результаты

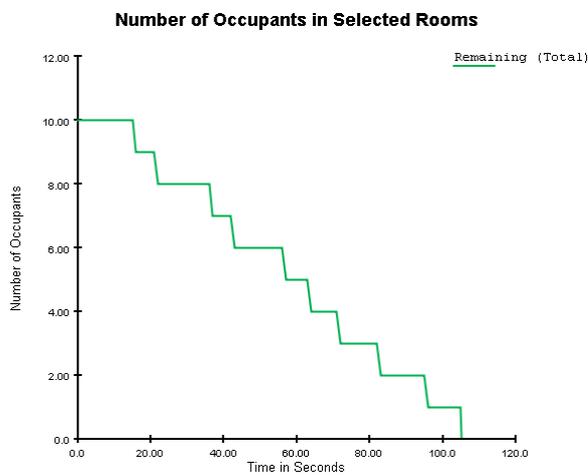
Результаты этой проблемы в основном базируются на данных анимации. Кроме того, на рисунке 10 показан подсчет человек с течением времени для помещения в этом моделировании.



(a)



(b)



(c)

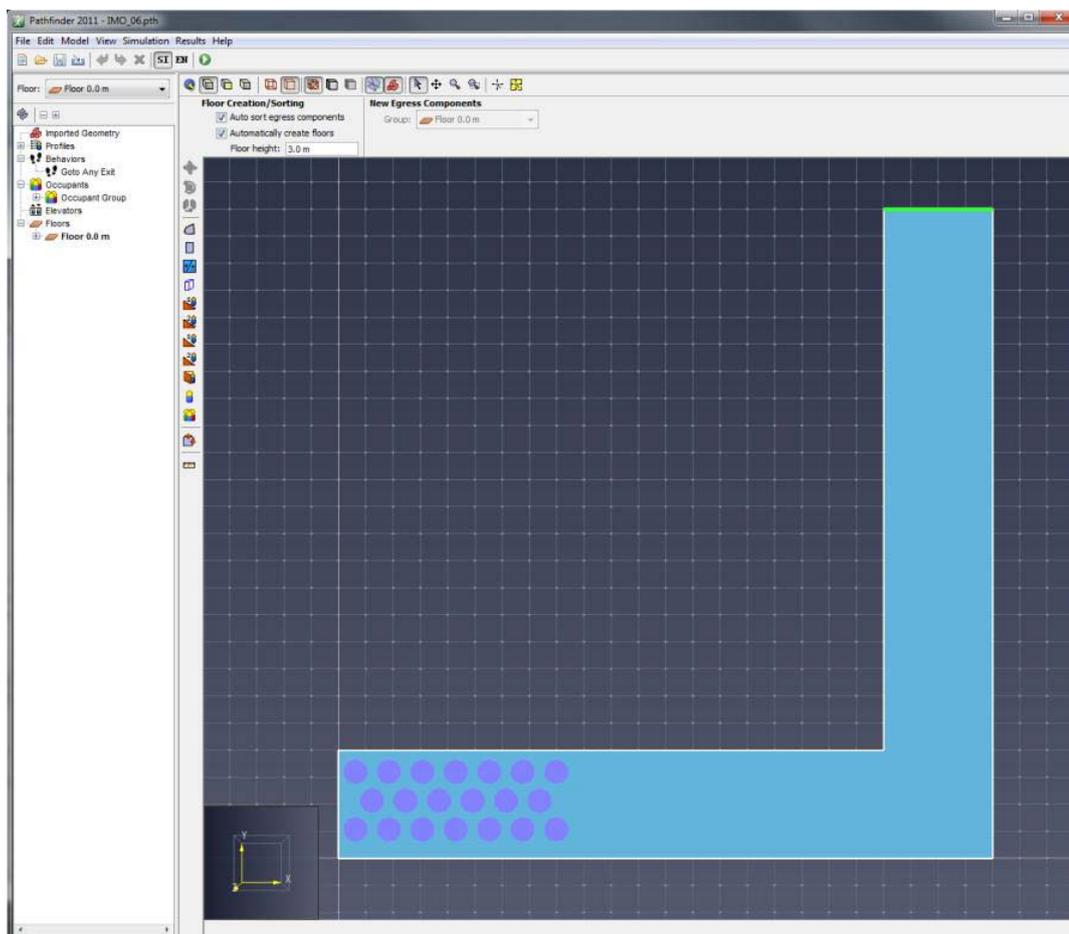
**Рис. 10: Количество человек, остающихся в помещении:**  
**(a) режим SFPE, (b) режим SFPE+ (c) режим управления движением.**

### Анализ

Время отклика привязано к равномерному распределению, заданному в пользовательском интерфейсе для всех трех режимов моделирования. Кроме того, графики количества человек подтвердили, что если у людей были сходные (короткие) расстояния пути и одинаковые скорости, они вышли в разное время в 70 секундный интервал между  $t = 20$  секунд и  $t = 90$  секунд. Считается, что все режимы моделирования прошли тест.

### Вогнутая геометрия, границы (IMO\_06)

Этот случай подтверждает поддержку в Pathfinder вогнутой геометрии. Тест основан на Тесте 6, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест описывает 20 людей движущихся по углу в коридоре шириной 2 метра. Ожидаемый результат в том, что люди за углом, не проникнут любая модель геометрии.



**Рис. 11: Установка задачи IMO\_06**

**Примечания установки**

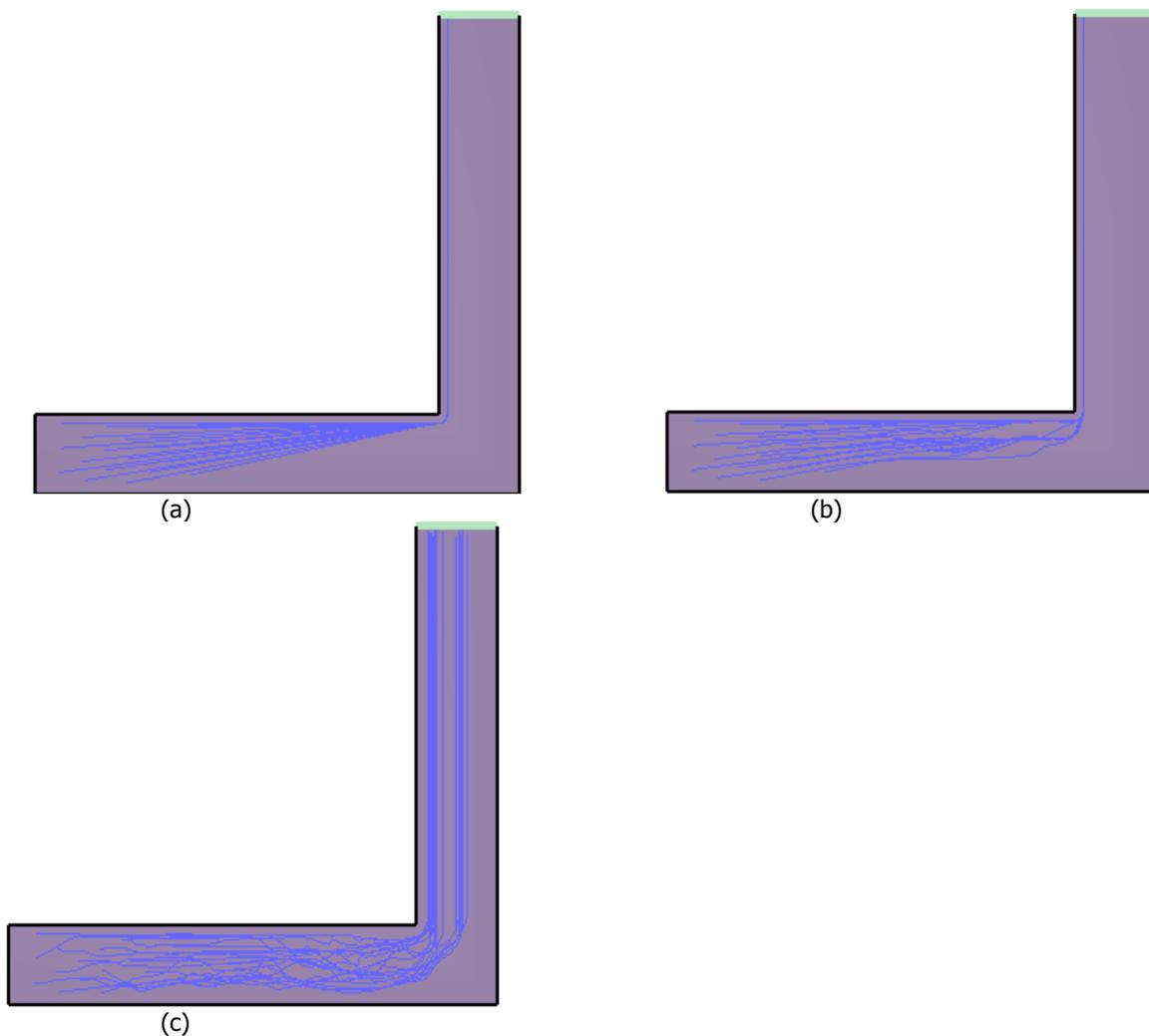
20 человек, которые равномерно распределены в течение первых 4 метров коридора.

**Ожидаемые результаты**

Каждый человек должен перемещаться по модели, оставаясь внутри модели границ.

**Результаты**

На рисунке 12 показаны пути людей для всех 3 режимов моделирования. Эти пути движения могут быть использованы для проверки, что ни один человек не проходил через границы моделирования.



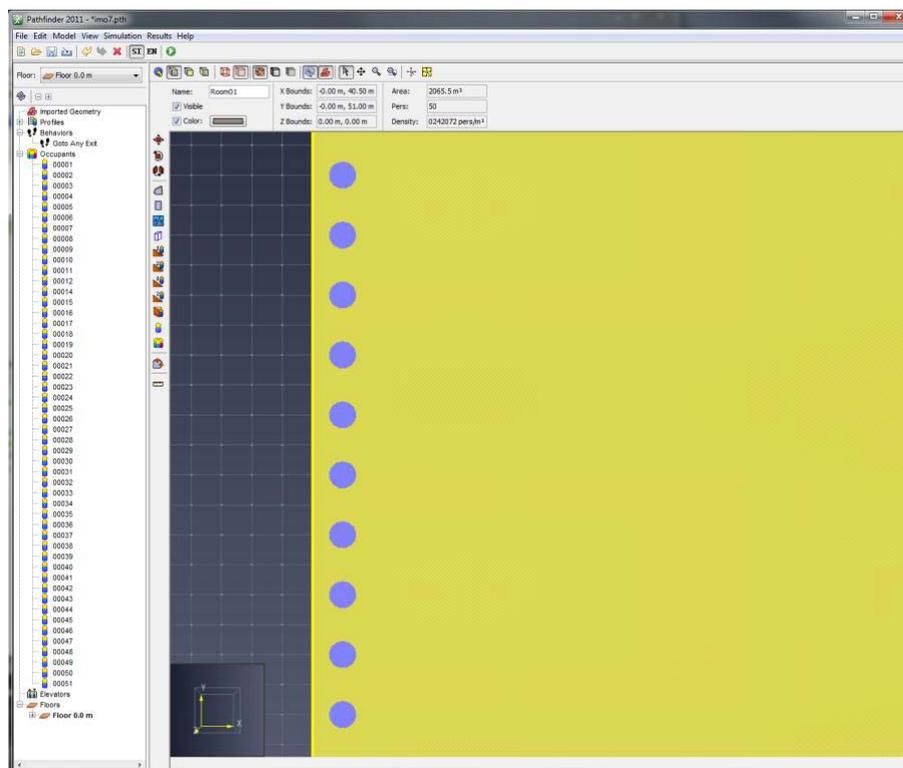
**Рис. 12: Пути людей при граничном тесте:  
(а) режим SFPE, (b) режим SFPE+ (с) режим управления движением.**

#### **Анализ**

Пути людей указывают, что люди не переходили за пределы границы моделирования в любом из трех режимов моделирования. Все режимы моделирования успешно прошли верификацию.

#### **Несколько скоростей движения (IMO\_07)**

Этот тест проверяет нескольких скоростях ходьбы в Pathfinder. Тест основан на Тесте 7, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест включает в себя назначение демографических данных о составе людей группе людей.



**Рис. 13: Установка задачи IMO\_07**

#### **Примечания установки**

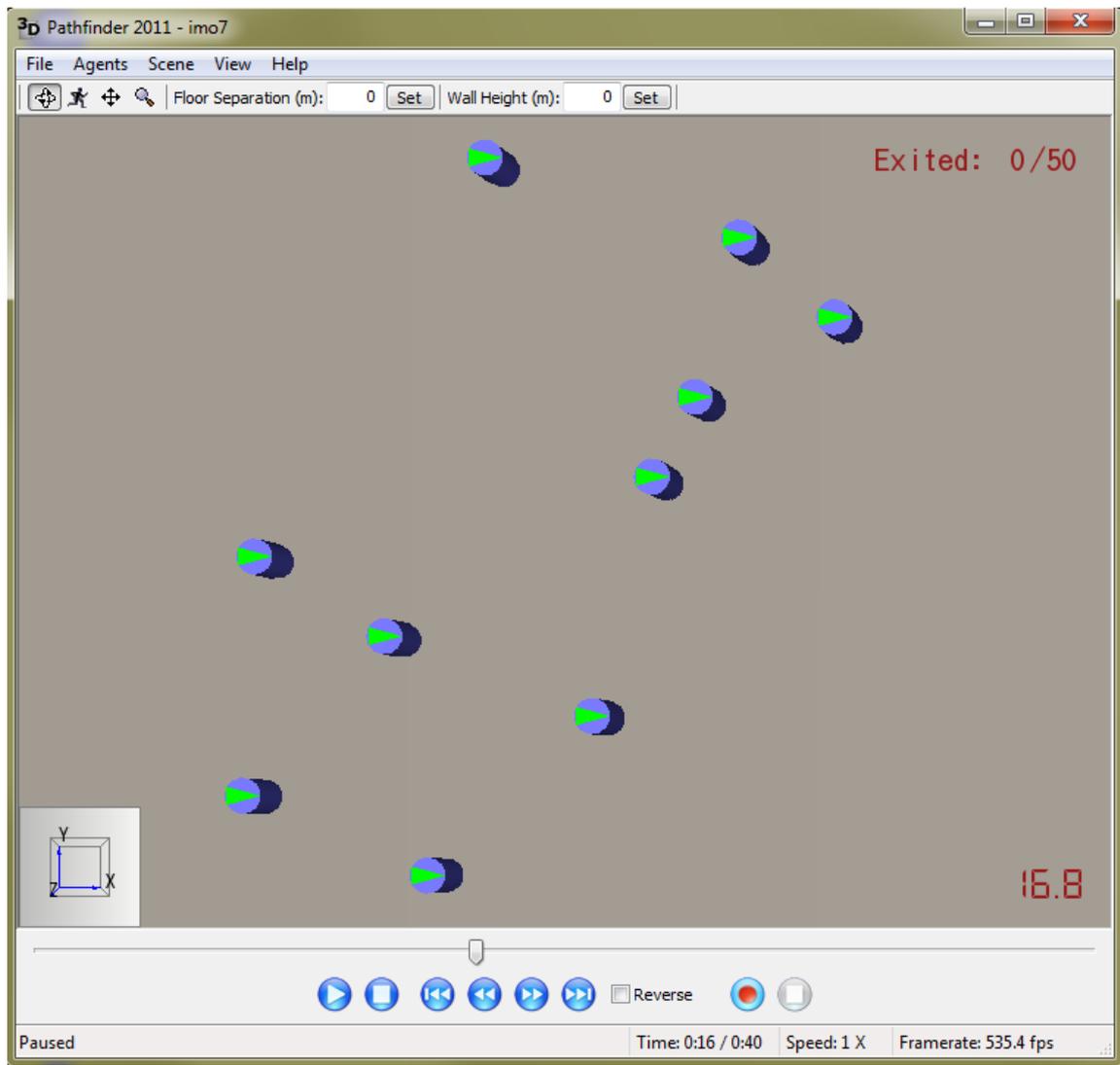
Профиль, представляющий мужчин в возрасте 30-50 лет, распределен по количеству 50 человек. Информация для этого профиля приходит из таблицы 3.4 в приложении к Временным руководящим принципам для расширенного анализа эвакуации новых и существующих судов.

#### **Ожидаемые результаты**

Люди должны отображать ряд пешеходных скоростей в пределах установленных лимитов.

#### **Результаты**

Скорость людей, наблюдаемая в моделировании, была в пределах установленных лимитов.



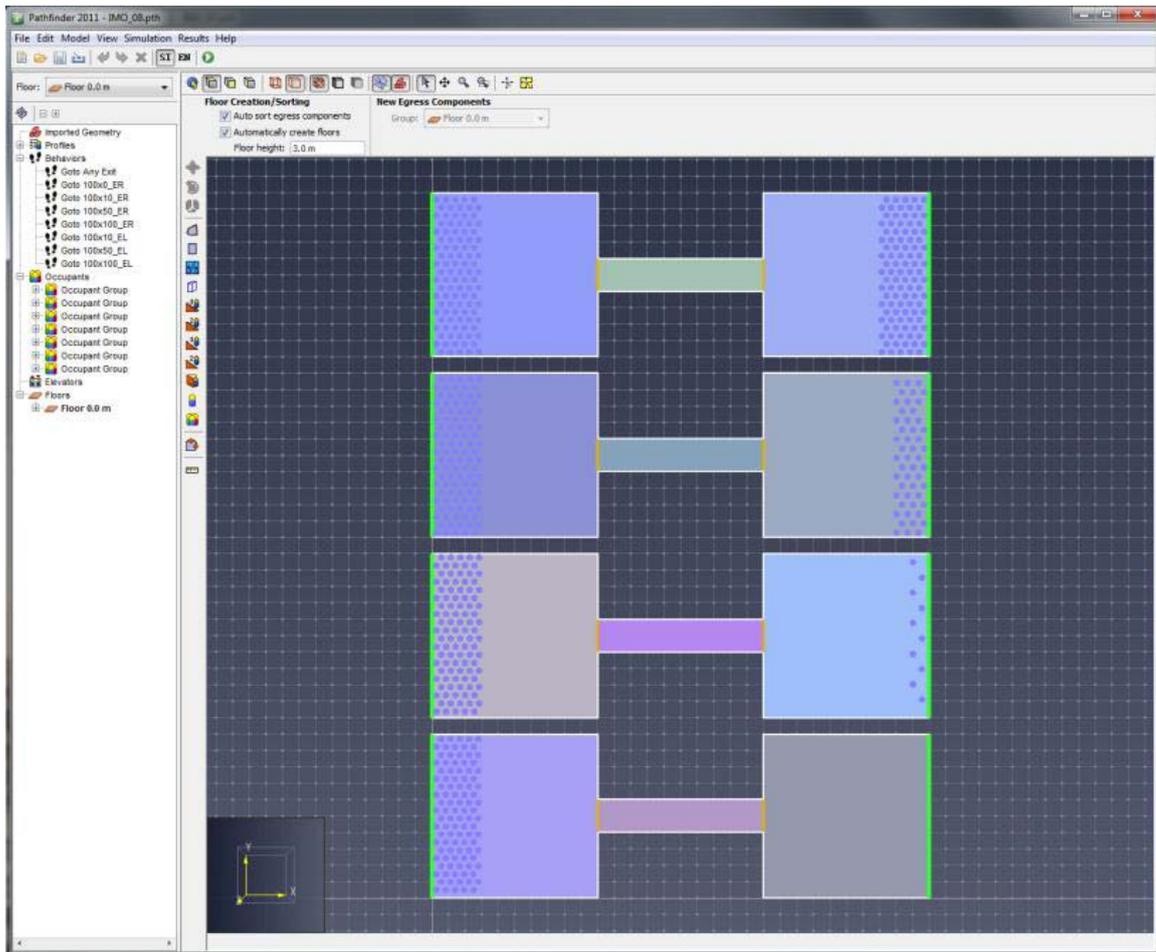
**Рис. 14: Анимация результатов IMO\_07**

### **Анализ**

Все режимы моделирования прошли испытания.

### **Встречный поток (IMO\_08)**

Этот тест проверяет поддержку встречного потока в Pathfinder. Тест основан на Тесте 8, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест предполагает взаимодействие людей при встречном потоке. Два помещения площадью 10 квадратных метров соединены в центре коридором 10 метров в длину и шириной 2 метра. 100 человек распределены на противоположной стороне из одного помещения как можно плотнее, и двигаться по коридору в другое помещение. Люди в другом помещении движутся в противоположном направлении. Испытания проводятся с 0, 10, 50 и 100 человек, движущихся во встречном потоке с исходной группой.



**Рис. 15: Установка задачи IMO\_08, содержащая все четыре конфигурации**

### Примечания установки

Проблема геометрии настроена, как описано выше, с добавлением двух дверей на дальние стены. Людям в каждом помещении присваивается выход в другое помещение.

Для упрощения коллекцию результатов, все четыре сценария моделирования создаются в той же модели. Это может быть достигнуто за счет дублирования исходной геометрии 3 раза, затем с помощью различного числа находящихся в помещении людей справа.

### Ожидаемые результаты

По мере увеличения числа людей во встречном потоке, люди должны замедлить и увеличить время моделирования.

### Результаты

В следующей таблице показано время, необходимое для выхода из моделирования на основе количества человек во встречном потоке.

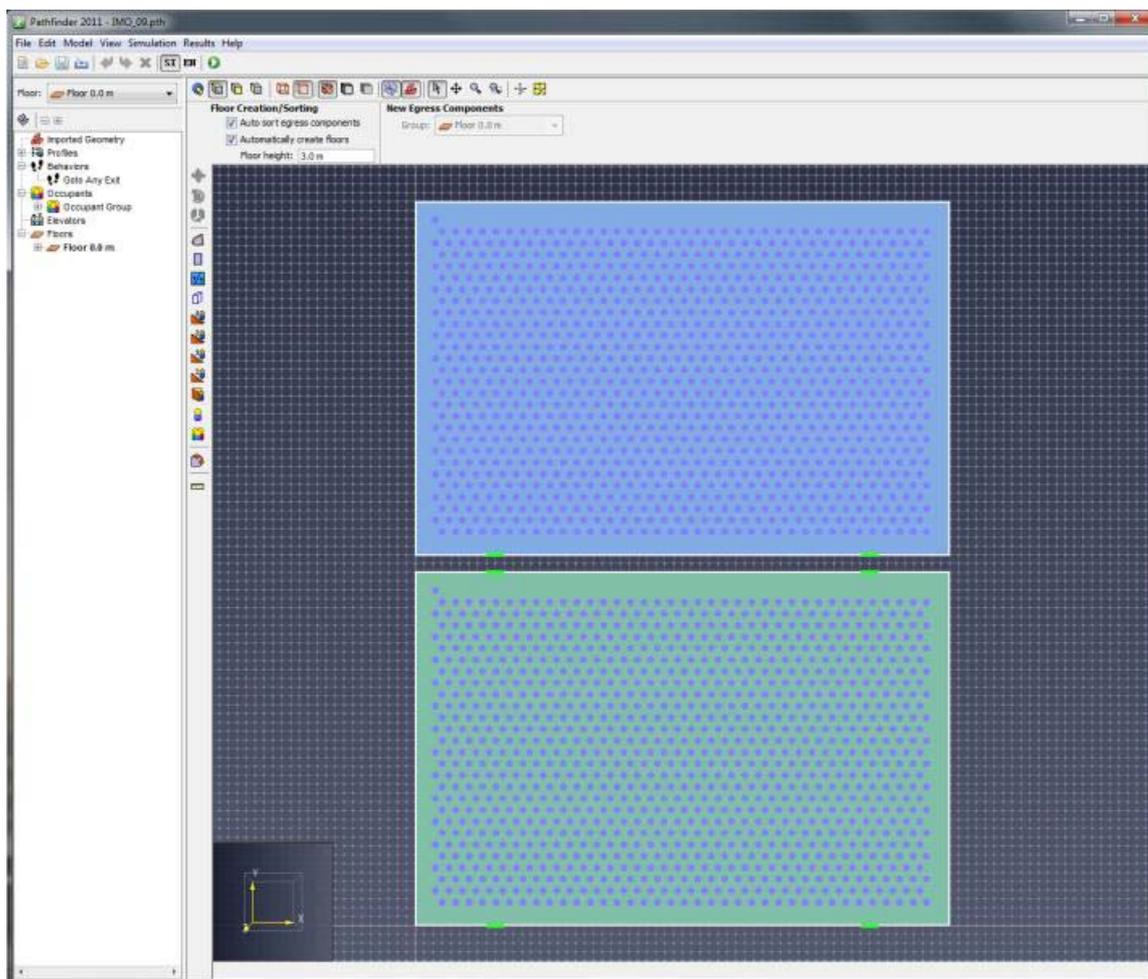
Режим	0	10	50	100
SFPE	71,83 с	76,50 с	92,33 с	107,00 с
SFPE+	71,60 с	76,20 с	89,00 с	155,00 с
Управление движением	53,95 с	70,20 с	108,58 с	152,70 с

### Анализ

В каждом режиме увеличение встречного потока увеличивает время моделирования. Все режимы пройденный тест критериев, хотя соотношение количества раз для количества человек во встречном потоке существенно отличалась между различными режимами моделирования.

### Чувствительность к доступным дверям (IMO\_09)

Этот тест проверяет чувствительность времени выхода в Pathfinder к изменению количества доступных дверей. Тест основан на Тесте 9, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). Тест включает в себя эвакуацию 1000 человек из большого помещения 30 метров на 20 метров. 1000 человек распределены равномерно в центре помещения, 2 метра от каждой стены. Испытания проводятся с 4 выходами и 2 выходами, с ожиданием, что время эвакуации удвоится в случае с 2 выходами.



**Рис. 16: Установка задачи IMO\_09, содержащая обе конфигурации**

#### **Примечания установки**

Внутренние стены добавляются в середине наружных стен перед добавлением людей для того, чтобы такое же число людей пройти через каждую дверь.

Людям задан профиль, соответствующий мужчин 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к IMO 1238.

Чтобы упростить сбор данных, как модель конфигурации добавляются в одну модель моделирования.

#### **Ожидаемые результаты**

Время моделирования должна примерно в два раза при использовании вдвое меньше дверей. Допуском 5% будет использоваться для определения успеха.

#### **Результаты**

В следующей таблице показано время, необходимое для выхода из моделирования для обоих случаев. Кроме того, коэффициент колонка показывает соотношение количества 2 двери случай 4 двери случай, а столбец ошибки показывает процент насколько моделирование отличается от идеального, равным 2.

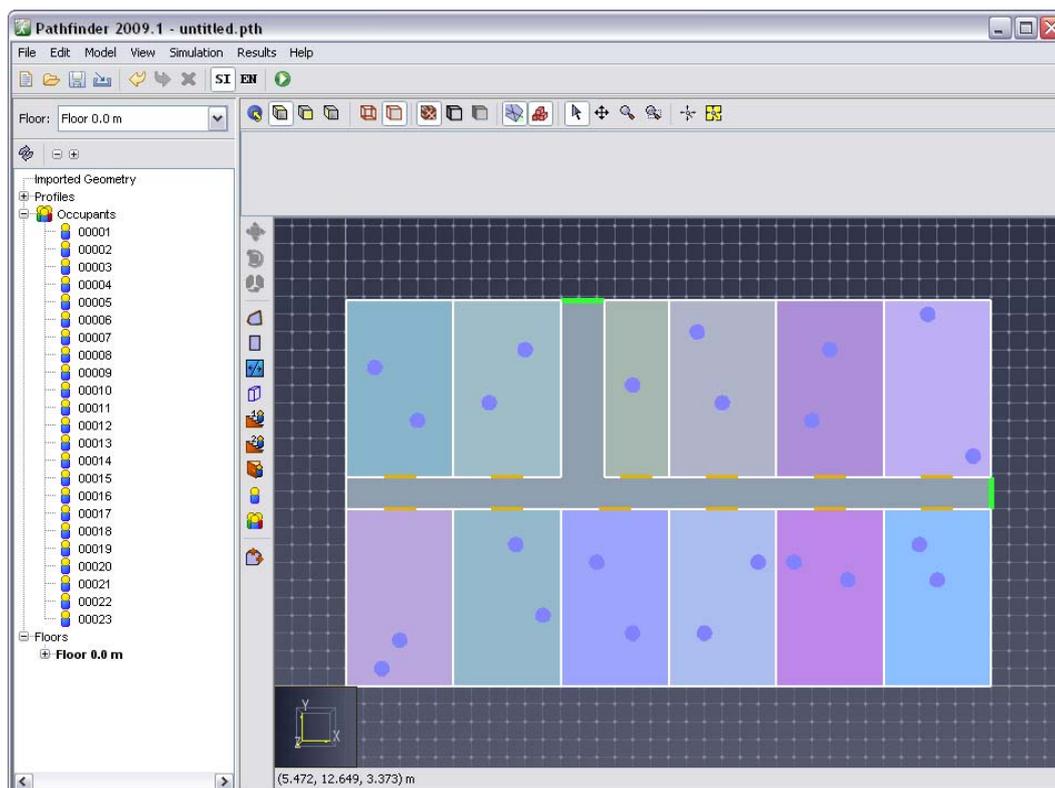
Режим	4 двери	2 двери	Коэффициент	Процент ошибок
SFPE	196,88 с	379,45 с	1,927	3,63
SFPE+	192,38 с	379,48 с	1,972	1,37
Управление движением	151,18 с	293,40 с	1,941	2,96

#### **Анализ**

Для всех режимов, время моделирования пока точно не удваивалось, находятся в пределах приемлемого запаса на правильность.

#### **Настройки выхода (IMO\_10)**

Этот тест проверяет настройки выхода в Pathfinder. Тест основан на тесте 10, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). 23 человека размещены в ряде помещений, представляющих кабины корабля? и поставлены конкретные выходы.



**Рис. 17: Установка задачи IMO\_10**

#### **Примечания установки**

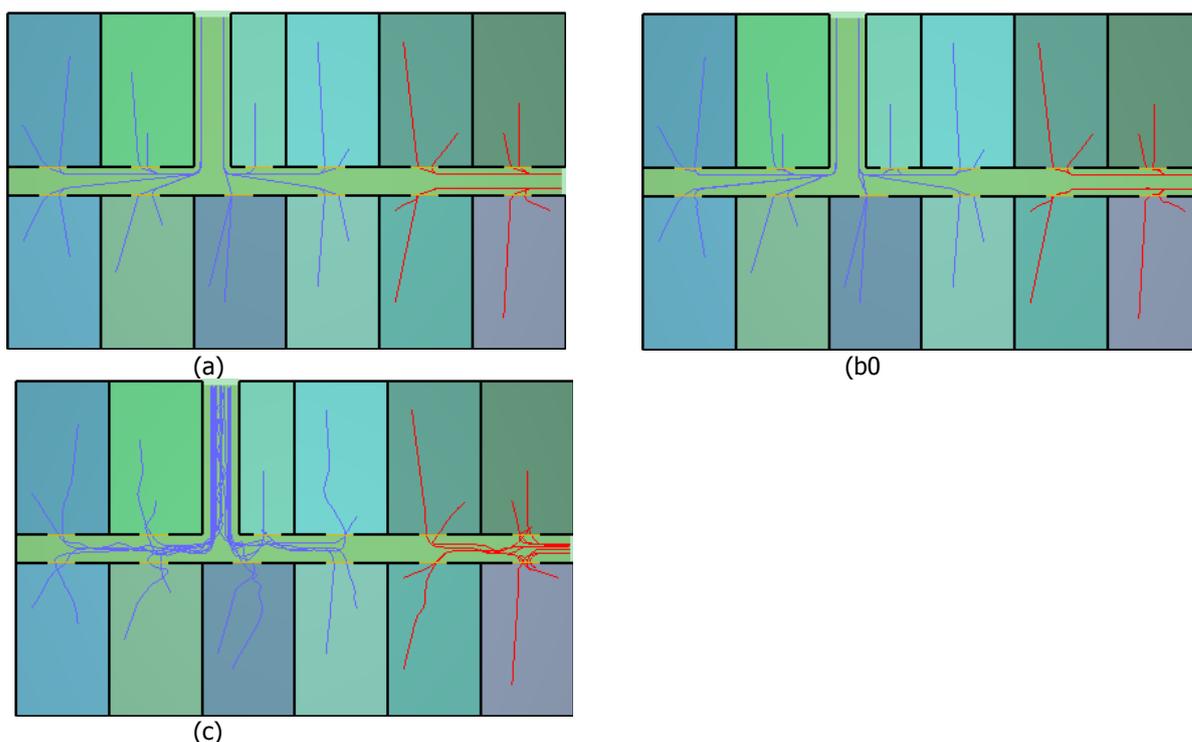
Люди в 8 помещениях слева относятся к главному (верхнему) выходу. Людям в оставшихся 4 помещениях присваивается запасной (справа) выход. Людям задан профиль, в соответствии с которым в помещении находятся мужчины в возрасте 30-50 лет из таблицы 3.4 в приложении к IMO 1238.

#### **Ожидаемые результаты**

Каждый человек должен покинуть модель с использованием указанного выхода.

#### **Результаты**

На рисунке 18 показаны пути людей в каждом режиме моделирования. Пути четырех человек, которые должны использовать запасной выход, показаны красным цветом, все остальные пути людей выделены синим цветом.



**Рис. 18: Отслеживание путей людей:  
 (a) режим SFPE, (b) режим SFPE+ (c) режим управления движением**

**Анализ**

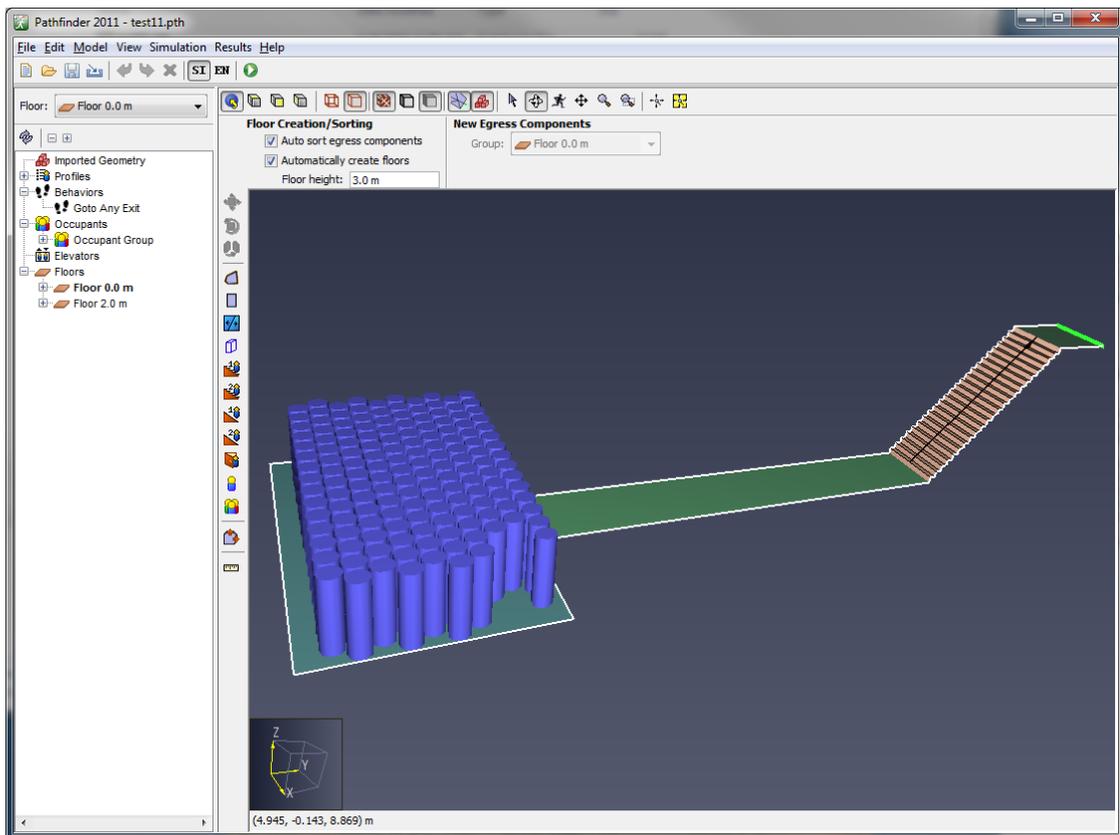
Результаты для всех режимов моделирования показывают, что четыре человека направлены на выход через запасной выход, так и сделал. Тем не менее, этот тест является слабым показателем, потому что эти люди, возможно, сделали тот же выбор, основанный на "ближайший выход" Выбор параметра. Тест не делает различий между двух вариантов параметра. Дополнительная верификация необходима для обеспечения выбора выхода работает правильно. Этот тест был сохранен в его нынешнем виде в соответствии с критериями, установленными Международной морской ассоциации.

**Затор (IMO\_11)**

Этот тест проверяет формирование заторов в Pathfinder. Тест основан на *Тесте 11*, приведенном в приложении 3 IMO 1238 (Международная морская организация 2007). 150 человек должны перейти из помещения 5 м x 8 м в коридор 2 м, вверх по лестнице, и выйти в моделировании с помощью платформы шириной 2.

Предполагается, что затор образуется изначально у входа в коридор, а затем у основания лестниц.

На рисунке 19 показана установка задачи в Pathfinder.



**Рис. 19: Установка задачи IMO\_11.**

Конкретное определение затора приведено в разделе 3.7 документа (Международной морской организации 2007 года). Затор присутствует если выполняется одного из следующих условий: плотность (изначально) составляет по крайней мере  $3,5 \text{ чел/м}^2$ , или наблюдается рост очередей (люди скапливаются) со скоростью более  $1,5 \text{ чел/с}$  в месте соединения между двумя компонентами выхода.

Начальная плотность в помещении  $5 \text{ м} \times 8 \text{ м}$ , содержащем 150 человек, составляет  $3,75 \text{ чел/м}^2$ . На основе критериев затора, этого условия достаточно, чтобы квалифицировать исходное помещение как помещение с затором.

Измерение затора у основания лестницы представляет сложность потому, что мы должны использовать скорость накопления, которая является интегрированной величиной и не поддерживается Pathfinder. В стандартном режиме SFPE можно измерить размер очередей у дверей. Однако, поскольку режим SFPE+ и режим управления движением не поддерживают измерение размера очереди, мы должны вместо этого смотреть на поток в и из коридора. Для всех трех режимах, мы можем определить время, когда люди начинают вытекать из коридора. С этого момента и до конца моделирования, в любое время изменения количества человек превышает  $1,5 \text{ чел/с}$ , будет считаться что в коридоре затор. Данные для измерения этого количества человек в течение долгого времени доступен в выходной файл `rooms.csv` и будет обработана с помощью электронных таблиц инструмента.

#### **Примечания установки**

150 человек добавляются в исходное помещение с помощью равномерного распределения.

Описание проблемы в IMO 1238 требует, чтобы люди были назначены скоростей, соответствующих 30-50 летних мужчин. Эти данные скорости представлены в зависимости от зоны: при движении по этажам, по лестницам при движении вверх и по лестницам при движении вниз. Так как Pathfinder вычисляет скорость лестнице в зависимости от скорости движения по этажам и наклона лестниц, мы вынуждены приблизительная скорость лестнице использовании (не указано) наклон лестницы. Если сравнить минимальные и максимальные значения скорости движения по этажам до минимального и максимального значений по лестнице на скорость, мы находим, что предположение IMO о том, что люди идут по лестнице, около половины так быстро, как они ходят на ровном месте (мин: 48%, не более: 49%). Для получения аналогичного снижения скорости в Pathfinder, мы будем использовать лестницу с уклоном 1,05.

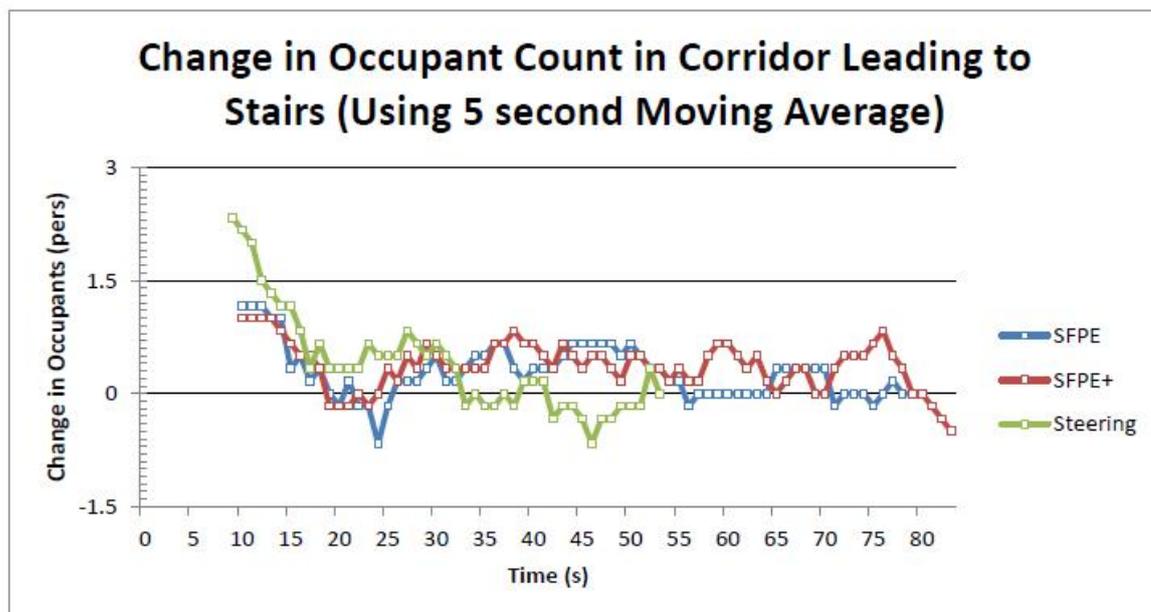
Все люди были назначены профиль, соответствующий уровню скорости ходьбы в течение 30-50 летних мужчин (как указано в (Международной морской организации 2007 года)). Это дает равномерное распределение скорости в пределах от  $0,97 \text{ м/с}$  до  $1,62 \text{ м/с}$ . Основе наклон лестницы, это должно также дать лестнице скорости (вверх и вниз) от  $0,50 \text{ м/с}$  до  $0,84 \text{ м/с}$ . Эти скорости немного выше, чем приведенные в IMO 1238 ( $0,47 \text{ м/с}$  до  $0,79 \text{ м/с}$ ). Более высокие скорости на лестнице сведут к минимуму образование заторов и обеспечат консервативный результат.

### Ожидаемые результаты

В исходном помещении уже образовался затор, поэтому этот элемент теста идет по умолчанию. Кроме того, затор должен образоваться в коридоре, ведущем к лестницам. Это был бы представлен чистое увеличение количества человек (по крайней мере 1,5 чел/с) в коридоре после первого человека прошел через коридор и вошел в лестнице.

### Результаты

Время истории данные, описывающие изменение количества человек в коридоре показано на рисунке 20. Приводятся значения для каждой секунде после первого человека расчистила коридор вошел в конце лестницы и перед последним человеком вышел из начального помещения.



**Рис. 20: Изменение количества человек с течением времени для IMO 11. Данные начинаются, когда первый человек входит по лестнице, и заканчиваются, когда последний человек покидает начальное помещение. Значения выше 1,5 указывают на затор.**

### Анализ

Во всех режимах моделирования, начальное помещение имело плотность 3,75 чел/м<sup>2</sup>. Это значение соответствует критериям затора для начального помещения в соответствии с данным определением.

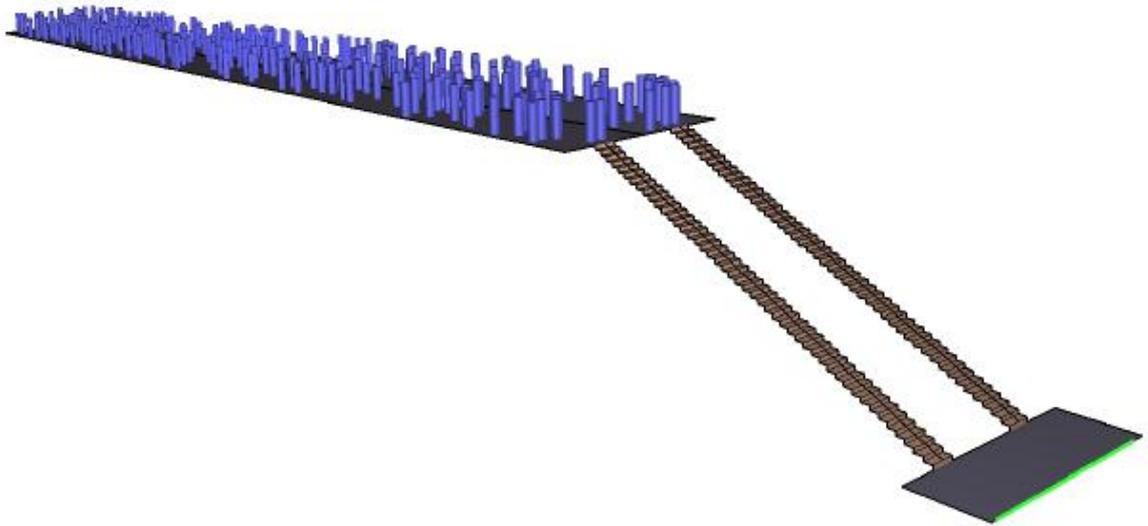
Pathfinder не дал ожидаемых заторов коридора в любом из трех режимов моделирования. Хотя все три режима последовательно показали увеличение количества человек в коридоре (указывая на то, что люди входили в коридор быстрее, чем они могли бы оставить), это увеличение не оправдали 1,5 чел/с критериями, определенными IMO 1238.

## 3.0 ТЕСТОВЫЕ ЗАДАЧИ SFPE

В данном разделе представлены результаты Pathfinder для моделей на основе тестовых задач, приведенных для расчетов, выполненных вручную, в Руководстве SFPE (Нельсон и Моурер, 2002 год) и Техническом руководстве по поведению людей при пожаре (Общества инженеров противопожарной защиты, 2003 год).

### Пример 1: Отдельное помещение с лестницей (SFPE\_1)

Данная верификация предназначена для результатов моделирования на основе SFPE. Данная тестовая задача воспроизводит Пример 1 приведенный в Техническом руководстве SFPE (Общество инженеров противопожарной защиты, 2003 год). В данном примере в помещении с неопределенной геометрией размещаются 300 человек. Помещение соединено (напрямую) с двумя лестницами шириной 44 дюйма посредством двух дверей шириной 32 дюйма, которые ведут в помещение размером 30 x 6 футов. Люди должны двигаться через двери и вниз по лестнице длиной 50 футов (по диагонали). Достигнув основания лестницы, люди покидают модель. В задаче определено, что максимальное расстояние пути от исходного положения людей до ближайшей двери, ведущей к лестнице, составляет 200 футов. В задаче предполагается, что площадь первого помещения составляет 200 x 30 футов с обеими лестницами, расположенными на одной из стен 30 футов в длину, см. Рис. 21. Небольшое помещение составляет 6 x 30 футов с выходом в стене напротив лестницы.



**Рис. 21: Начальная конфигурация для SFPE\_1.**

#### **Установочные примечания**

Чтобы убедиться, что нагрузка на лестницы распределяется равномерно (т.е. гарантировать, что каждая лестница используется одинаковым количеством людей), помещение было разделено на две части. Каждая часть содержит 150 человек.

Два человека, ближайšie к входу на лестницу, находятся ровно в 2 футах от входной двери на лестницу, чтобы иметь возможность точно рассчитать время движения до регулирующего элемента.

Ширина слоя двери определяется равной 6 дюймам (граничный слой по умолчанию составляет 5,91 дюйма или 15 см).

Не забывайте указать ширину дверей в верхней и нижней части каждой лестницы. По умолчанию, двери будут той же ширины, что и лестница (т.е. 44 дюйма).

#### **Ожидаемые результаты**

В данном примере дверь, ведущая на каждую лестницу, является регулирующим элементом. Задача симметрична, таким образом, для расчета, выполненного вручную, разделенный поток может быть смоделирован в виде одной широкой двери с лестницей. Для расчета общего времени движения, необходимо вычислить  $T_{TOTAL} = T_1 + T_2 + T_3$ , где: ( $T_1$ ) время, необходимое первому человеку, чтобы достичь регулирующей элемент, ( $T_2$ ) время, необходимое 300 людям, чтобы пройти через две двери шириной 32 дюйма, и ( $T_3$ ) время, необходимое последнему человеку, чтобы пройти от регулирующего элемента к выходу.

Поскольку ближайший человек первоначально находится в 2 футах от регулирующего элемента,  $T_1$ , равно:

$$T_1 = \frac{d}{v} = \frac{2 \text{ ft} \left( \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right)}{0.85 \times 1.40 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.51 \text{ s}$$

Время, необходимое 300 людям, чтобы пройти через две двери шириной 32 дюйма,  $T_2$ , равно:

$$T_2 = \frac{P}{F_{s \max} W_e} = \frac{298 \text{ pers}}{1.32 \frac{\text{pers}}{\text{m} \cdot \text{s}} \times 2[32 \text{ in} - 2(6 \text{ in})] \times \frac{\text{ft}}{12 \text{ in}} \times \frac{.3048 \text{ m}}{\text{ft}}} = 222.20 \text{ s}$$

Обратите внимание, что в предыдущем расчете, мы использовали  $P=298$  человек. В Pathfinder время задержки очереди применяется только после того, как человек прошел через дверь. Первый человек проходит немедленно. Если бы мы проводили расчет для 300 человек в уравнении, результаты являлись бы разницей между временем, когда первый человек прошел через дверь, и временем, когда очереди у дверей позволила бы пройти дополнительному человеку после того, как вышел последний человек. Более подробная информация о данном подходе дана в Техническом руководстве Pathfinder. Данный подход позволяет получить немного более короткие значения времени (например, для 300 человек,  $T_2$  составило бы 223,7 с).

Время, необходимое последнему человеку, чтобы пройти от регулирующего элемента к выходу,  $T_3$ , равно:

$$T_3 = \frac{d}{v} = \frac{50 \text{ ft} \left( \frac{.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right)}{0.85 \times 1.08 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 16.60 \text{ s}$$

Общее время эвакуации,  $T_{total}$ , равно:

$$T_{total} = T_1 + T_2 + T_3 = 0.51 \text{ s} + 222.20 \text{ s} + 16.60 \text{ s} = 239.31 \text{ s}$$

Также будут представлены результаты для режима управления движением. Однако режим управления движением не регулирует явно скорость потока через дверь – определяющий фактор в данной тестовой задаче. Таким образом, данная тестовая задача не *верифицирует* определенную функцию программы моделирования при использовании режима управления движением. Данные результаты по-прежнему будут представлены в виде сравнения между режимом управления движением и методами SFPE.

### Результаты

Для каждого режима моделирования, в следующей таблице приведены результаты в контексте расчетов SFPE, выполненных вручную.  $T$  – общее время движения,  $T_1$  – время, в течение которого первый человек достигнет двери в верхней части лестницы,  $T_2$  – время, в течение которого все люди освободят дверь в верхней части лестницы и  $T_3$  – время, в течение которого последний человек пройдет от двери в верхней части лестницы до двери в ее нижней части.

Режим	TOTAL (с)	T1 (с)	T2 (с)	T3 (с)
Вычислено	239.31	0.51	222.20	16.60
SFPE	242.23	0.78	222.15	19.30
SFPE+	242.23	0.78	222.15	19.30
Управление движением	173.48	0.98	153.35	20.13

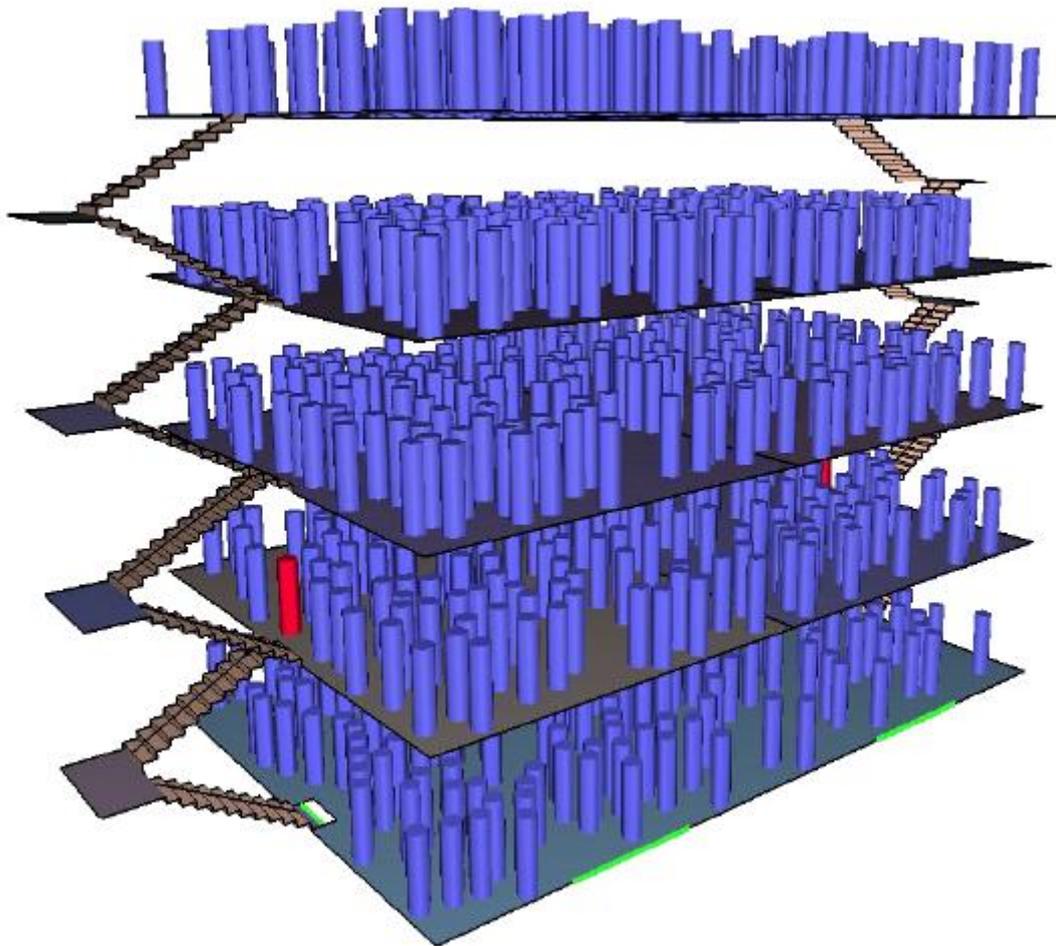
### Анализ

Режим моделирования SFPE и SFPE+ на 2,92 секунды медленнее, чем расчетное время, соответственно. Поскольку эта разница составляет всего лишь на 1,2% больше, чем ожидаемое время, считается, что моделирование в режиме SFPE проходит данное тестирование.

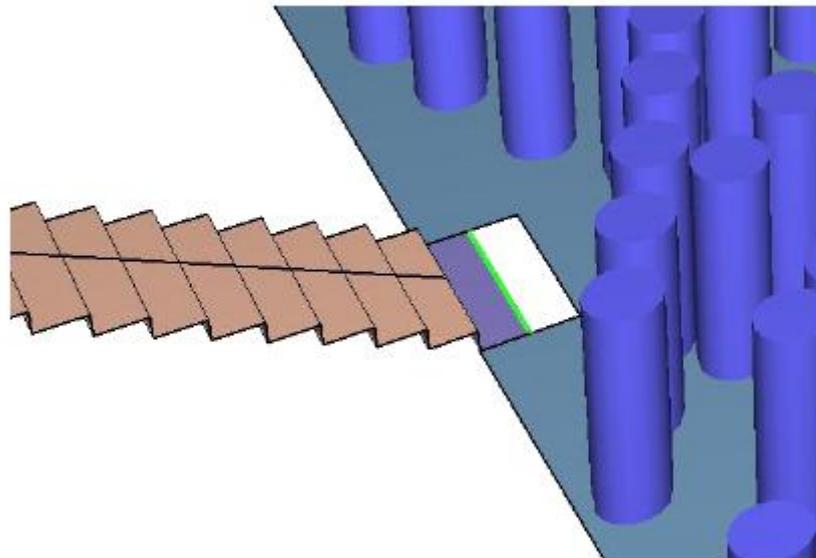
Для сравнения были представлены результаты режима управления движением. Основным различием была скорость потока через дверь ( $300 / T_2$ ), которая составляет 1,96 чел/с по сравнению с 1,35 чел/с в программах моделирования, использующих режим SFPE. Общее время движения при моделировании в режиме управления движением составило на 28% быстрее, чем время, полученное при моделировании в режиме SFPE.

### Пример 2: 5-этажное здание (SFPE\_2)

Данная верификация предназначена для результатов моделирования на основе SFPE. Этот пример воспроизводит Пример 2 приведены в Техническом руководстве SFPE (Общество инженеров противопожарной защиты 2003). В этом примере у нас есть 5-этажного здания. Каждый этаж обслуживается двумя лестницами шириной 44 дюйма. Лестницы имеют 7-дюймовый подъем и 11 дюймов перспективе. Лестницы есть поручни с обеих сторон 2,5 см от стены. Каждая лестница соединяется с 4 футов x 8 футов платформа расположена между уровнем пола. Расстояние между этажами 12 футов лестницы подключения к этажи с 32-дюймовым дверей. Есть 200 человек на каждом этаже. На Рис. 22 показана задача. Люди, отмеченные красным цветом, использовались в расчете  $T_1$  в разделе Ожидаемые результаты.



**Рис. 22: Установка к тестовой задаче SFPE номер 2**



**Рис. 23: Дверь выхода в тестовой задаче SFPE номер 2**

#### **Установочные примечания**

Подробные установочные примечания приведены в примере руководства Pathfinder.

Данная тестовая модель представляет собой вариант модели, рассмотренный в примере руководства. Пример описания в Техническом руководстве SFPE предполагает, что люди могут выйти сразу после регулирующей двери. Однако пример руководства Pathfinder предполагает, что люди будут быстро проходить через первый этаж перед тем, как выйти. Чтобы позволить людям выйти сразу после двери, регулирующей поток, и ближе совпадать с примером описания, мы добавили небольшое помещение с выходом у основания обеих лестниц и отсеки часть пола на первом этаже (для предотвращения людей с первого этажа от использования

двери). На Рис. 23: тестовая задача SFPE номер 2, дверь выхода, показана данная установка. Помещение и отрезок вместе составляют 1 x 44 фута (ширина лестницы), а дверь выхода занимает всю ширину помещения.

Для обеспечения симметричного расчета, два человека, находящиеся ближе всего к двери лестницы на втором этаже, расположены в 2 футах от этой двери. Кроме того, каждый этаж был разделен пополам и 100 человек были добавлены на каждой стороне.

### Ожидаемые результаты

В этом примере, контролирующий компонент является дверью в основании лестницы (также дверь выхода). Будем считать, люди распределяются на лестницах равномерно, и в этом случае нам нужно только для моделирования времени, за которое половина людей на втором по пятый этажи, чтобы пройти через регулирующую 32-дюймовую дверь.

Для расчета общего времени движения, мы должны вычислить  $T_{TOTAL} = T_1 + T_2 + T_3$ , где: ( $T_1$ ) – время, необходимое первому человеку, чтобы достичь регулирующей элемент, ( $T_2$ ) – время, которое требуется 400 людям, чтобы пройти через регулирующей элемент (дверь 32 дюймов в ширину) и ( $T_3$ ) – будет равна нулю, поскольку регулирующим элементом является дверь выхода.

Расчет  $T_1$  состоит из четырех компонентов: ( $T_A$ ) – время, необходимое человеку, находящемуся ближе всего к двери на втором этаже, чтобы пройти от своего первоначального расположения к лестнице приходя, ( $T_B$ ) – время движения вниз по лестнице до площадки, ( $T_C$ ) – время прохождения через площадку, и ( $T_D$ ) – время движения вниз по лестнице к выходу. Для  $T_A$  предположим, человек находится в 2 футах от с двери, ведущей к лестнице. Поскольку данный человек будет первым, кто войдет на лестницу, мы используем расчетную скорость низкой плотности в начальном помещении, на лестнице и площадке. Для  $T_B$  предположим, человек должен пройти 4 фута, чтобы пересечь площадку. Это приводит к следующим вычислениям:

$$v_{level} = 0.85 \times 1.40 \frac{m}{s} = 1.19 \frac{m}{s}$$

$$T_A = \frac{d}{v_{level}} = \frac{2 \text{ ft} \left( \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right)}{1.19 \frac{m}{s}} = 0.51 \text{ s}$$

$$v_{stair} = 0.85 \times 1.08 \frac{m}{s} = 0.92 \frac{m}{s}$$

$$T_B + T_D = 2 \left( \frac{d}{v_{stair}} \right) = 2 \left( \frac{11.24 \text{ ft}}{0.92 \frac{m}{s}} \right) \left( \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right) = 7.45 \text{ s}$$

$$T_C = \frac{d}{v_{level}} = \frac{4 \text{ ft} \left( \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}} \right)}{1.19 \frac{m}{s}} = 1.02 \text{ s}$$

$$T_1 = T_A + T_B + T_C + T_D = 0.51 \text{ s} + 7.45 \text{ s} + 1.02 \text{ s} = 8.98 \text{ s}$$

Время на 400 человек для перемещения по 32-дюймовым дверь,  $T_2$ :

$$T_2 = \frac{P}{F_{s \max} W_e} = \frac{399 \text{ pers}}{1.32 \frac{\text{pers}}{m \cdot s} \times [32 \text{ in} - 2(6 \text{ in})] \times \frac{\text{ft}}{12 \text{ in}} \times \frac{0.3048 \text{ m}}{\text{ft}}} = 595.03 \text{ s}$$

Для приведенного выше расчета,  $P = 399$  из-за того, как Pathfinder дверные ручки очередей. Первый человек не встает в очередь (проходит беспрепятственно). Подробнее данный подход представлен в Техническом руководстве Pathfinder. Данный подход дает немного более быстрые значения времени (например, для 400 человек –  $T_2$  будет равно 223,7 с).

Общее время эвакуации,  $T_{total}$  равно:

$$T_{total} = T_1 + T_2 + T_3 = 8.98 \text{ s} + 595.03 \text{ s} + 0.0 \text{ s} = 604.01 \text{ s}$$

### Результаты

Для каждого режима моделирования, в следующей таблице приведены результаты в контексте расчетов SFPE, выполненные в ручную.  $T_{TOTAL}$  показывает общее время движения,  $T_1$  указывает время, в течение которого первый человек достигнет двери выхода в нижней части лестницы, а  $T_2$  обозначает время прохождения всех людей через эту же дверь.

Режим	TTOTAL (s)	T1(s)	T2 (s)
Рассчитанный	604.01	8.98	595.03
SFPE	600.98	10.73	590.25
SFPE+	601.33	10.93	590.4
Управление движением	385.58	11.03	374.55

### Анализ

Режимы моделирования SFPE и SFPE+ дали практически идентичные результаты. Моделирование в режимах SFPE и SFPE+ составили на 3,03 и 2,68 секунд быстрее ожидаемого времени, соответственно. Эта разница составляет менее 1% от расчетного времени. Считается, что режим моделирования SFPE прошел данное испытание.

Основное различие заключалось во времени выхода первого человека, в частности, часть  $T_c$  расчета  $T_1$ . Руководство SFPE предполагает расстояние пути через площадку, равное 4 футам, в то время как расстояние пути в моделировании в среднем составляет 5 футов, что составляет 0,26 секунд отличие в  $T_1$ .

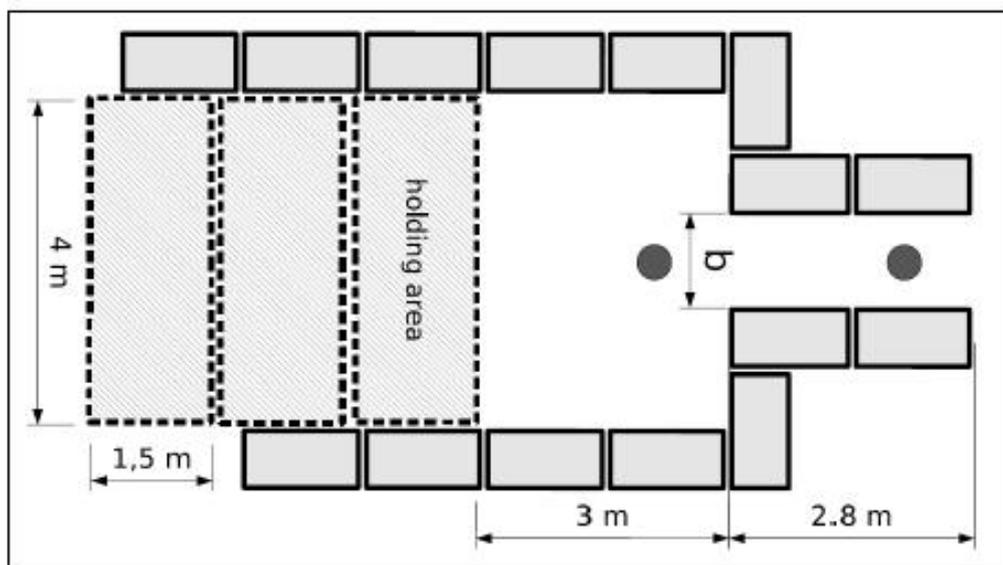
Результаты управления движением были представлены для сравнения. Основное различие было в скорости потока через дверь ( $400 / T_2$ ), которая составляла 1.07 чел/с по сравнению с 0,68 чел/с в программах моделирования, использующих режим SFPE. Общее время движения для моделирования в режиме управления движением составило на 35% быстрее, чем время для моделирования в режиме SFPE.

## 4.0 СРАВНЕНИЕ С ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

В данном разделе представлены модели Pathfinder предназначенные для воспроизведения результатов эксперимента.

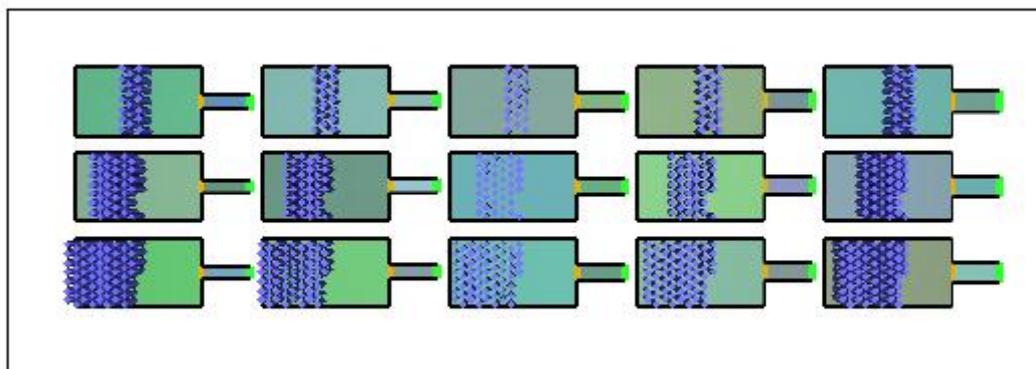
### Сейфрид и др.

Данная валидация сравнивает Pathfinder с серии небольших экспериментов (Сейфрид, Пассон и др., Оценка пропускной способности аварийных выходов и узких выходов, 2007 год). Испытания проводились в помещении с перегородками и коридором регулируемой ширины. Как только люди выходили из коридора, они покидали область проведения испытания. Площадка проведения испытания показана на Рис. 24.



**Рис. 24: Площадка проведения испытания (Сейфрид, Пассон и др., Оценка пропускной способности аварийных выходов и узких выходов, 2007 год.).**

Каждая зона ожидания может вместить 20 человек, что позволяет для экспериментов, которые будут работать с 20, 40 и 60 человек. Ширина коридора была скорректирована в диапазоне от 0,8 м до 1,2 м на 0,1 м интервалами. Эти две переменные обеспечивают 15 тестов. Рисунок 25 показана модель Pathfinder использоваться для моделирования всех 15 случаев. В настоящее время только нижний ряд тестов можно сравнивать, потому что имеющиеся экспериментальные данные для прямого сравнения ограничена  $N = 60$  случаями.



**Рис. 25: Модель Pathfinder предназначена для репликации всех 15 случаев экспериментов.**

#### **Установочные примечания**

Все варианты количества людей и ширины двери обрабатываются с помощью одной модели Pathfinder.

Распределения скорости ходьбы человека не были приведены в настоящей работе, однако предположительно это молодые мужчины и женщины, на основе данных служебной камеры. Исходя из этого предположения, равномерное распределение скорости ходьбы было выбрано с нижней границей, равной 0,93 м/с и верхней границей 1,85 м/сек. Эти границы представляют собой объединение двух групп населения, представленных в документе IMO 1238 (Международная морская организация, 2007 года): «Женщины моложе 30 лет», «Мужчины моложе 30 лет».

Каждое тестирование проводилось 3 раза. Перед каждым тестированием, все данные людей были разупорядочены (выбрать всех людей, правой кнопкой мыши в контекстном меню выбрать команду **Randomize**).

Моделирование в режиме SFPE и SFPE+ были проведены с граничным слоем, равным 15 см.

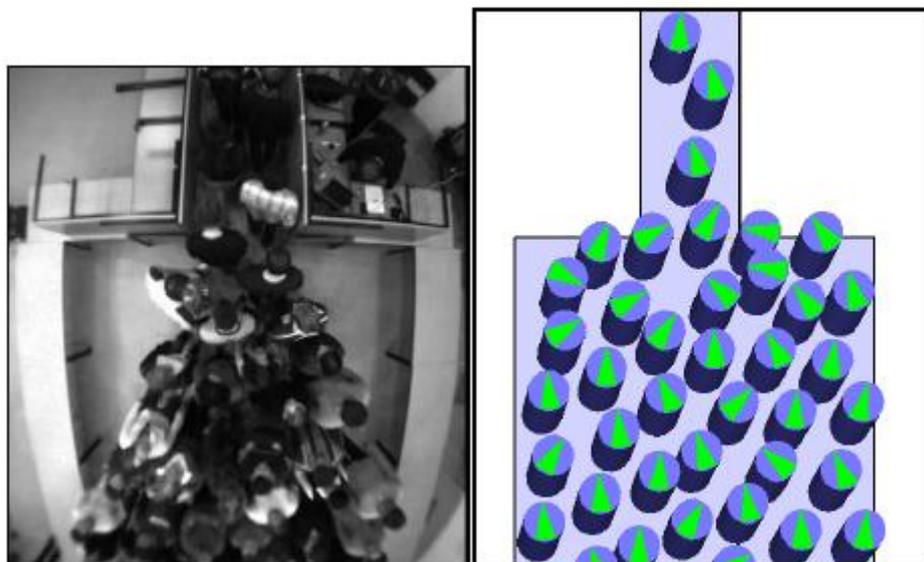
#### **Результаты**

Достаточно сравнения данных доступна только для N = 60 экспериментальных сценариев.

Первый результат мы рассмотрим это время, которое потребовалось для людей, чтобы пройти через вход в коридор. Эти данные могут быть извлечены из рисунка 3 в оригинальной работе путем определения времени, когда плотность равна 0,0 (то есть пересекли у-перехват).

Ширина (м)	Испытание (с)	SteeringAVG (с)	SFPEAVG (с)	SFPE+AVG (с)
0.8	47.0	45.9	94.6	94.6
0.9	36.9	43.7	79.7	79.7
1.0	34.0	38.8	69.1	69.1
1.1	28.9	35.9	61.1	61.1
1.2	25.0	32.5	54.9	54.9

Кроме того, мы имеем возможность сравнить накладные кадры камеры в эксперименте результаты визуализации в Pathfinder. Точный сценарий показано на видео в левой части рис 26, неизвестно, но, основываясь на видимую ширину двери и способность людей с образованием двух различных столбцов, результаты видео для моделирования управления движением с использованием двери шириной 1,1 метра был выбран для сравнения (справа). Данный рисунок был создан при цилиндрической визуализации, которая показывает расположение человека с помощью вставки в виде треугольника.



**Рис. 26: Видеосъемка эксперимента (Сейфрид, Пассон и др., динамика эвакуации и перемещения людей NETwork, 2009 года.) в сравнении с визуализацией Pathfinder.**

### Анализ

Все три режима моделирования в Pathfinder дают показатели времени выхода, которые были значительно более длительными, чем экспериментальные данные. Отчасти это объясняется "микро" масштабом эксперимента в сочетании с молодым, трудоспособным составом людей. Однако встречаются существенные различия в формировании (форме) очереди в режиме управления движением и соотношении времени выхода в режимах SFPE и SFPE+.

В следующей таблице показано соотношение между средними смоделированными значениями времени и экспериментальными данными.

Ширина (м)	Испытание (с)	SteeringAVG	SFPEAVG	SFPE+AVG
0.8	47.0	1.0x	2.0x	2.0x
0.9	36.9	1.2x	2.2x	2.2x
1.0	34.0	1.1x	2.1x	2.1x
1.1	28.9	1.2x	2.1x	2.1x
1.2	25.0	1.3x	2.2x	2.2x

Расчет управления движением дает результаты, которые были существенно медленнее, чем экспериментальные данные. Расхождение в экспериментальных данных и в режимах SFPE и SFPE+ обусловлено строго определенной скоростью потока через дверь, установленной методом SFPE. Вполне вероятно, что основная схема, на которой основан режим SFPE (Нельсон и Моурер, 2002 год) неадекватно представила данный конкретный сценарий. Комментарий по данной теме доступен в документации к эксперименту.

Графическое сравнение предполагает, что лица в эксперименте были расположены относительно узким клином по сравнению с людьми в моделировании (в режиме управления движением). Это преимущественное действие "застежки" не было отражено в моделировании и, вероятно, привело к некоторой разнице во времени между режимами управления движением и экспериментом.

## 5.0 СРАВНЕНИЕ С ДРУГИМИ ПРОГРАММАМИ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В данном разделе представлены результаты моделирования Pathfinder наряду с ранее опубликованными результатами для других программ моделирования. Эти сравнения можно использовать, чтобы лучше понять, какое место Pathfinder занимает среди другого программного обеспечения в области моделирования.

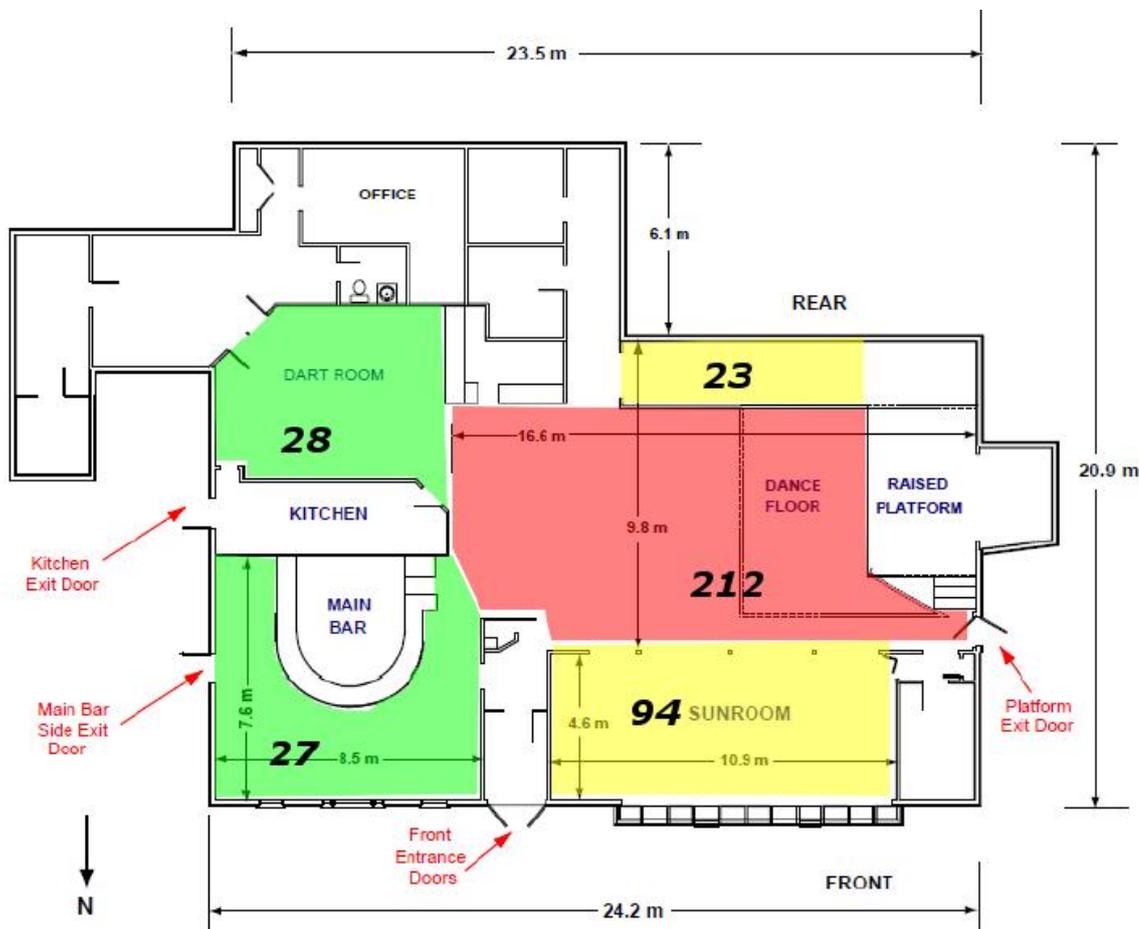
### Ночной клуб «Station»

Данное сравнение предполагает воспроизведения альтернативного моделирования эвакуации для станции ночной клуб, представленный в разделе 6.6 отчета NIST из технического расследования своих ночной клуб Станция (Grosshändler, Bryner и Madrzykowski 2005). Моделирование эвакуации, описанное в докладе NIST, предполагает использование двух коммерчески доступных модели компьютерного моделирования эвакуации, buildingEXODUS и Simulex, прогнозирующих время эвакуации из ночного клуба в условиях отсутствия пожара и при условии, что количество выходящих, ширина и предельные сроки пребывания соответствуют действующим национальным модельным строительным нормам. Цель воспроизведения данного моделирования заключается в сравнении результатов времени движения приводит Pathfinder с временем движения, прогнозируемым buildingEXODUS и Simulex, представленным в отчете NIST.

Задача (сценарий 1) включает в себя входные данные плана этажа одноэтажного ночного клуба с 420 людьми, размещение людей было описано в отчете NIST следующим образом:

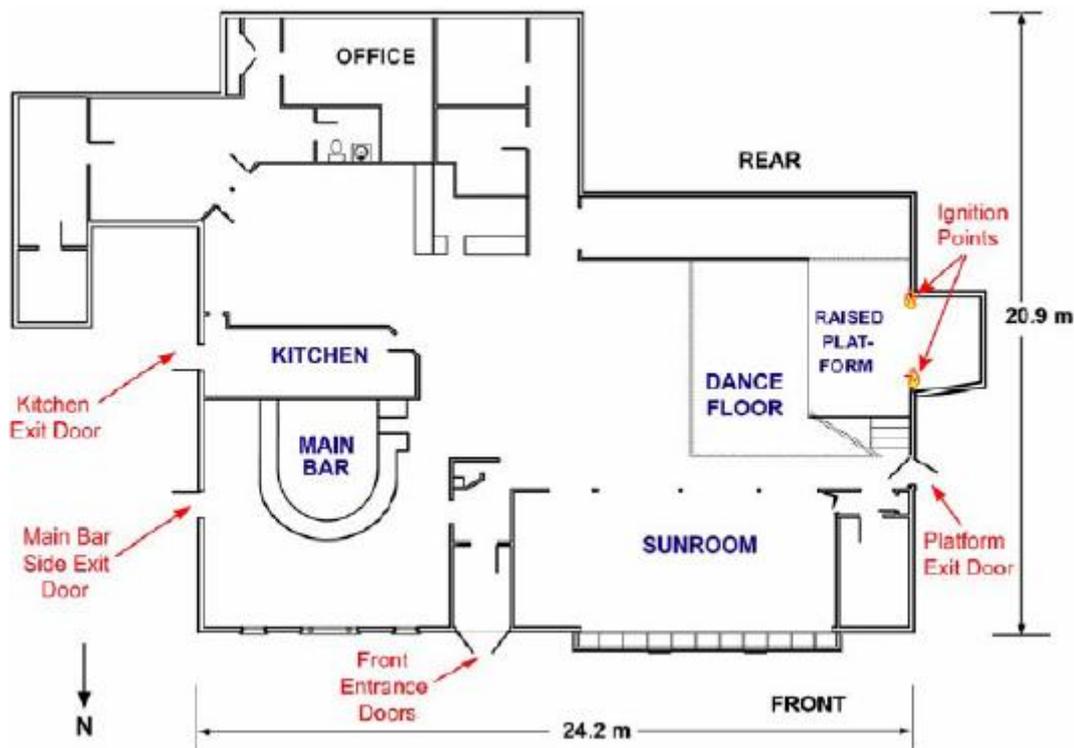
*Для запуска этих моделей необходимо было распределить 420 людей по всему зданию. Предполагалось, что танцпол и зона вокруг платформы были при максимальной плотности допускаются действующим национальным нормам, описанная в главе 7, 2,17 чел./м<sup>2</sup> (5 футов<sup>2</sup>/чел), что солярий и подиум вокруг танцпола имели плотность 1,56 чел./м<sup>2</sup> (7 футов<sup>2</sup>/чел), что основной бар и заднее помещение были населены с плотностью 0,72 чел./м<sup>2</sup> (15 футов<sup>2</sup>/чел), а оставшиеся 36 людей распределялись на кухне, за баром, в туалетах, складах, гардеробных, и коридоре.*

Расчеты людей на основе плотности (не включая 36 новых людей) и области размещения показаны на Рис. 27.

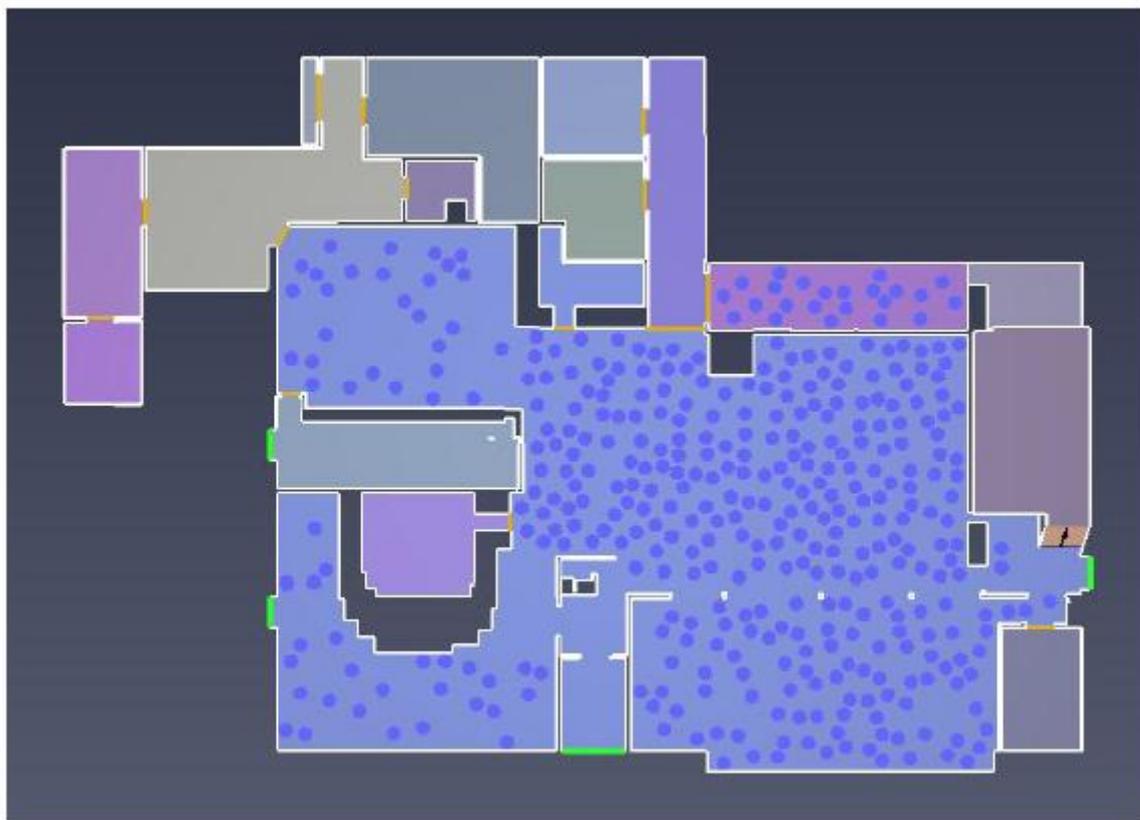


**Рис. 27: Рассчитанные нагрузки от людей для модели ночного клуба «Station». Основной рисунок взят отчета NIST (Гросхандлер, Брайнер и Мадзиковски, 2005 год). Добавлено окрашивание и значения количества людей.**

На основании информации, представленной в приложении L доклада NIST, моделирование ночного клуба включает четыре доступных внешних двери выхода: 36-дюймовая дверь в кухню, которая доступна только для 3 человек на кухне, 36-дюймовая двери около Главного бар, 36-дюймовая дверь возле платформы / сцены, и 72-дюймовая двери главного входа. Кроме того, моделирование Pathfinder делает доступным главный выход со стороны бара только для людей, стоящих в главном баре и его окружении на начальном этапе моделирования.



**Рис. 28: План ночного клуба «Station»  
(Гросхандлер, Брайнер и Мадрзиковски, 2005 год)**



**Рис. 29: Начальная конфигурация моделирования  
ночного клуба «Station» в Pathfinder**

#### **Результаты и анализ**

На Рис. 30 показаны результаты моделирования Pathfinder для альтернативного сценария 1 моделирования эвакуации. Таблица является воспроизводством таблицы 6-2 в отчете NIST которая суммирует результаты building EXODUS и Simulex результатов для эвакуации сценарию.

Программа моделирования	Общее время эвакуации	Люди к передней двери	Люди к двери на площадке	Люди к кухонной двери	Люди к главной двери бара	Всего осталось на 90 сек
Simulex Building EXODUS	188 с	213	184	3	20	166
PathFinder (SFPE)	202 с	214	180	4	22	208
PathFinder (SFPE+)	145 сек	280	115	3	22	154
PathFinder (управление движением)	154 сек	275	120	3	22	156
PathFinder (управление движением)	151 сек	205	190	3	22	152

Рис. 30: Результаты сравнения с другими программами моделирования эвакуации

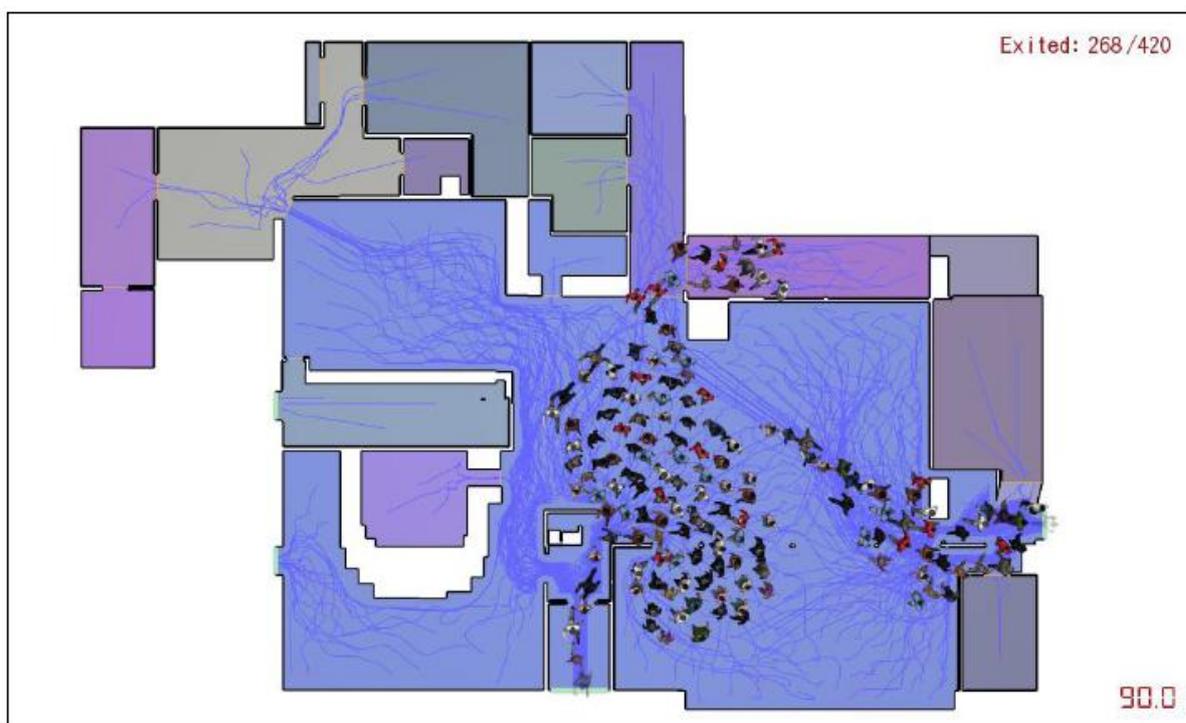
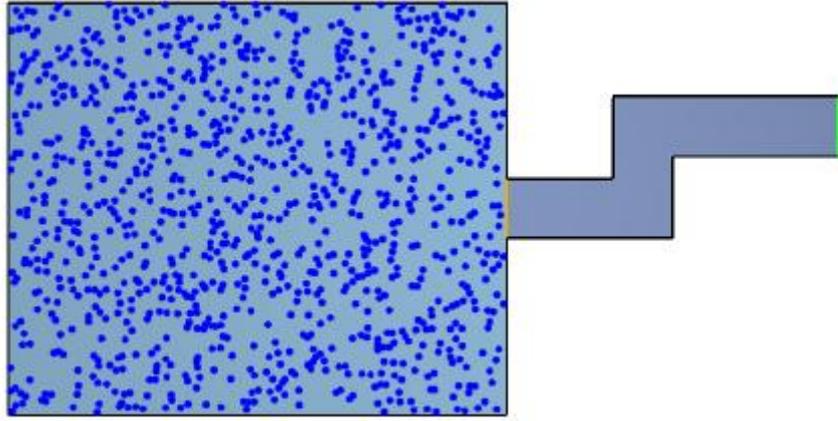


Рис. 31: Pathfinder режим управления движением, результаты на 90 секунде.

#### Составные элементы пространства

Данное сравнение добавляет данные из Pathfinder к сравнению с другими программами моделирования, представленными в Техническом руководстве и Руководстве пользователя FDS+Evac v5 (Корхонен и Хостикка, 2009 год). В задаче представлены составное пространство, вмещающее 1000 человек. Исходное помещение имеет площадь 50 м x 60 м. Справа находится дверной проем шириной 7,2 м, ведущий в коридор длиной 7,2 м. Коридор резко поворачивает влево, прежде чем привести к выходу. Дополнительные примечания к задаче даны на стр. 45 оригинального документа.



**Рис. 32: Начальная конфигурация сборки пространства**

Особенный интерес в данной задаче представляет угол в коридоре. В зависимости от того, как различные программы моделирования справляются с огибанием угла потоком больших групп людей, различные программы моделирования могут давать существенно отличающиеся результаты. Примечательно, что существующий механизм исследования передвижения представляет нам недостаточно руководства для "верного" решения данной проблемы.

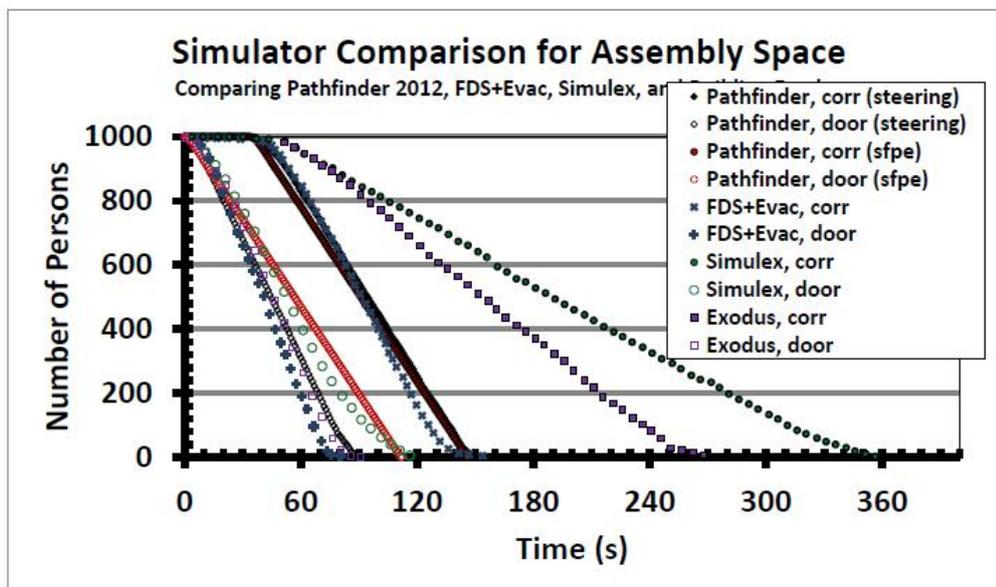
#### **Установочные примечания**

Данное моделирование не было запущено в режиме SFPE+, для сравнения представлены только режим SFPE и режим управления движением.

Измененная версия данного моделирования была проведена без коридора. Результаты, связанные с этим моделированием обозначаются как *door*. Результаты, связанные с моделированием, включая коридор, обозначаются *corr*. Чтобы упростить сбор результатов, моделирование *corr* и моделирование *door* могут проводиться одновременно, дублирование геометрии *corr* (создание двух отдельных геометрических участков, вмещающих всего 2000 человек), с последующим удалением коридора.

#### **Результаты и анализ**

На Рис. 33 показан график динамики движения оставшегося населения. Закрашенные маркеры на графике относятся к данным *corr*, а незакрашенные маркеры относятся к данным *door*. Источником данных для FDS+Evac, Simulex, и Exodus был оригинальный документ (Корхонен и Хостикка, 2009 год).



Сравнение программ моделирования по составу пространства  
 Сравнение Pathfinder 2012, FDS+Evac, Simulex и Building Exodus  
 Pathfinder, corr (управление движением)  
 Pathfinder, door (управление движением)  
 Pathfinder, corr (SFPE)  
 Pathfinder, door (SFPE)  
 FDS + Evac, corr  
 FDS + Evac, door  
 Simulex, corr  
 Simulex, door  
 Exodus, corr  
 Exodus, door  
 Количество людей  
 Время (с)

**Рис. 33: Сравнение программ моделирования по составу пространства.**

Все программы моделирования представляют аналогичные результаты для *door*. Для тестирования *corr* Pathfinder и FDS+Evac дают значительно более короткие значения времени эвакуации, чем эвакуация время для Simulex или Exodus. В примере *corr*, более длительное время соответствует большим потерям потока, огибающего угол в коридоре. Более короткие значения времени соответствуют группам людей в более полной мере использующим коридор.

## 6.0 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ASTM. "Стандартное руководство по документированию программного обеспечения для моделей пожаров." *Стандарт ASTM E1472, 92 (1998 год)*. West Conshohocken: ASTM International, 1998 год. Гросхендлер, В. Л., Н. Брайнер и Д. Мадрзиковски. "Доклад по работе технического исследованию пожара в Ночном клубе «Station». *NIST NCSTAR 2*. Гейтерсбург, MD: Национальный институт стандартов и технологий США, июнь, 2005 год.

Международная морская организация. *Руководство по расчету эвакуации для новых и существующих пассажирских кораблей*. MSC.1/Circ.1238, Лондон: Международная морская организация, 2007 год.

Коронен Т. и С. Хостикка. *Программа моделирования динамики пожаров при эвакуации: FDS+Evac, Техническое руководство и руководство пользователя*. VTT Технический исследовательский центр Финляндии, 2009 год.

Нельсон Х. и Ф. Моурер. "Движение людей при эвакуации». В *Руководстве SFPE по технике противопожарной защиты*, SFPE, 3-367 - 3-380. Куинси: Национальная ассоциации противопожарной защиты, 2002 год.

Сейфрид, А., О. Пассон, Б. Стеффен, М. Болтс, Т. Рупрехт, и В. Клингш. "Оценка пропускной способности аварийных выходов и узких выходов". *Исследование Interflam*. Лондон: Interscience Communications, 2007 г. *Динамика эвакуации и передвижения людей, NETWORK*. 11 мая, 2009 года. <http://www.ped-net.org/index.php?id=48&ID=127> (по состоянию на 11 мая, 2009 года).

Общество инженеров противопожарной защиты. *Техническое руководство: поведение человека в условиях пожара*. SFPE, 2003 года.