

СИТИС: Эватек 1.10

Валидация и верификация эвакуационной модели СИТИС: Эватек

Директор, к.ф.-м.н.

Карькин И. Н.

Исполнил

Скочиллов А. Л.
Зверев В. В.
Контарь Н. А.

№ 4152-ТТ2.5
Дата 19.12.2008

© 2008 СИТИС.

Содержание:

1. Термины и определения	3
2. Описание эвакуационной модели Эватек	3
2.1. Основные компоненты модели	3
2.2. Поиск пути	4
2.3. Расчет скорости человека в потоке	4
2.4. Схема моделирования процесса эвакуации	6
3. Настройка программы для запуска тестов	7
4. Валидация модели	8
4.1. Проверка на соответствие методике: движение потока в коридоре	8
4.2. Проверка на соответствие методике: пропускная способность	13
5. Тестирование функциональных компонентов модели	18
5.1. Обеспечение скорости движения в коридоре (single_in_corridor.eva)	18
5.2. Обеспечение времени реакции (single_in_corridor_response_time.eva)	18
5.3. Распределение времени реакции (response_time.eva)	19
5.4. Пересечение с препятствиями (collisions.eva)	19
5.5. Задание ролей (roles.eva)	21
5.6. Назначение путей к выходам	21
6. Качественная верификация	23
6.1. Рассеивание толпы из комнаты через несколько выходов	23
7. Численная верификация	25
7.1. «Бутылка» (bottle.eva и bottle.flt)	25
7.2. Эвакуация в коридор (hotel.eva и hotel.flt)	25
7.3. Изменение размера коридора (dif_coridor.eva и dif_coridor.flt)	27
8. Выводы	28
9. Литература	29

1. Термины и определения

Валидация модели – проверка соответствия модели предъявляемым к ней требованиям.

Верификация модели – проверка правильности работы модели путем сопоставления результатов, полученных с ее помощью, с эмпирическими данными либо с результатами расчетов других моделей.

Маломобильные группы населения (МГН) – люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве. К маломобильным группам населения здесь отнесены: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов, люди с детскими колясками и т.п. В зависимости от степени затруднения в самостоятельном передвижении люди делятся на четыре группы мобильности М1, М2, М3 и М4, причем М1 – здоровые люди, не испытывающие затруднений в передвижениях.

Методика – методика расчета эвакуации по упрощенной аналитической модели движения людского потока, изложенной в приложении №2 ГОСТ 12.1.004-91* и других источниках [1],[2],[3]. В основе методики лежит зависимость скорости и интенсивности движения людского потока от плотности данного потока.

Пропускная способность участка пути – количество человек, проходящих заданный участок пути за единицу времени.

Сцена – совокупность объектов, людей и их характеристик, участвующих в расчете.

Эвакуация – процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей опасных факторов пожара.

Растровая решетка. Для некоторых алгоритмов (например, поиск пути) протяженное пространство должно быть представлено в виде раstra. Для этого все пространство сцены разбивается на одинаковые ячейки заданного размера. Каждая ячейка в один и тот же момент времени может быть либо занята каким-либо одним объектом, либо свободна.

Карта путей. Для заданной точки с помощью алгоритма поиска путей находится условное время пути до каждой свободной ячейки растровой решетки сцены. Карта путей – это хранимое в программе для каждой ячейки решетки время пути до этой ячейки и предыдущая ячейка кратчайшего пути.

2. Описание эвакуационной модели Эватек

2.1. Основные компоненты модели

- 1) Структура здания в модели представлена следующими объектами:
 - а. **Уровень** – плоская поверхность (горизонтальная либо наклонная), ограниченная многоугольным контуром, по которой могут двигаться агенты
 - б. **Препятствие** – объект в форме многоугольника, препятствующий движению агента по уровню.
- 2) **Локация** – условная область пространства, которая используется в сценарии эвакуации при необходимости указать для агента какое-либо место в пространстве. Также локация может использоваться для сбора данных об эвакуации в

указанной области (например, такие данные, как количество человек, средняя и максимальная плотность в области).

- 3) **Агент**, упрощенно, – это самостоятельный объект, предпринимающий действия, направленные на достижение своей цели и реагирующий на изменение внешней среды и своего внутреннего состояния.

В программе есть один вид агентов – человек.

- 4) **Сценарий поведения агента** – цель или множество целей агента и последовательность действий, направленных на достижение этих целей.

Скрипт сценария поведения агента – программа, создающая сценарий, написанная на специальном языке, понимаемом программой Эватек.

2.2. Поиск пути

Перед началом расчета для каждой локации, используемой в качестве цели для движения агента, строится *карта* кратчайших *путей* с помощью модифицированного алгоритма Дейкстры [6] на растровой решетке, построенной на сцене с размером ячейки 0,1 метра. Агент движется к указанной локации по кратчайшему пути, извлеченному из карты путей для этой локации.

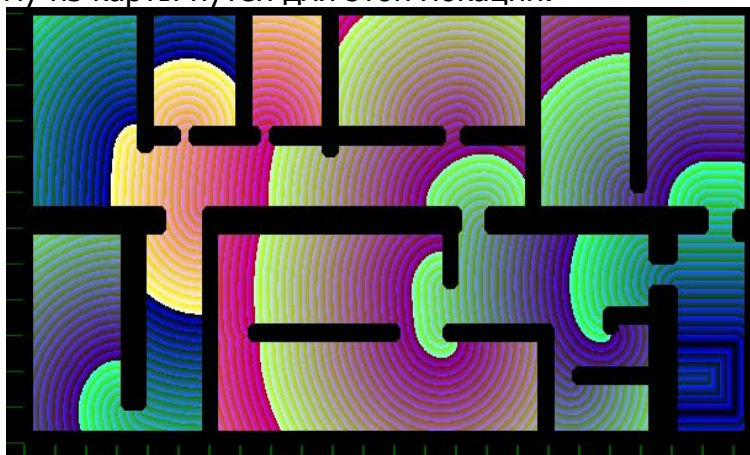


Рисунок 1. Графическое представление карты путей плана этажа для локации

2.3. Расчет скорости человека в потоке.

1. Расчет плотности потока

Плотность потока рассчитывается для каждого человека в потоке отдельно. Для определения плотности потока вокруг человека строится область в виде прямоугольника. Большая сторона прямоугольника ориентирована по направлению движения человека. Центр прямоугольника не совпадает с центром человека. Область смещается по направлению движения человека с коэффициентом 0,4, т.е. центр области находится от центра человека на расстоянии, равном (длина большой стороны)*0,4. Человек, для которого определяется плотность, лежит внутри области и участвует в расчете плотности.

Построенная область разбивается на несвязанные в пределах области *районы* (т.е. из одного района перейти человеку в другой, не покидая область невозможно). Плотность потока для данного человека равна плотности потока в районе, в котором он находится. Плотность потока для района вычисляется как:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{S_{\text{района}}}, \text{ м}^2/\text{м}^2$$

где:

n – число человек в районе (считается, что человек находится в районе, если его центр лежит внутри района),

f_i – площадь горизонтальной проекции i -го человека в районе,

$S_{\text{района}}$ – площадь района.

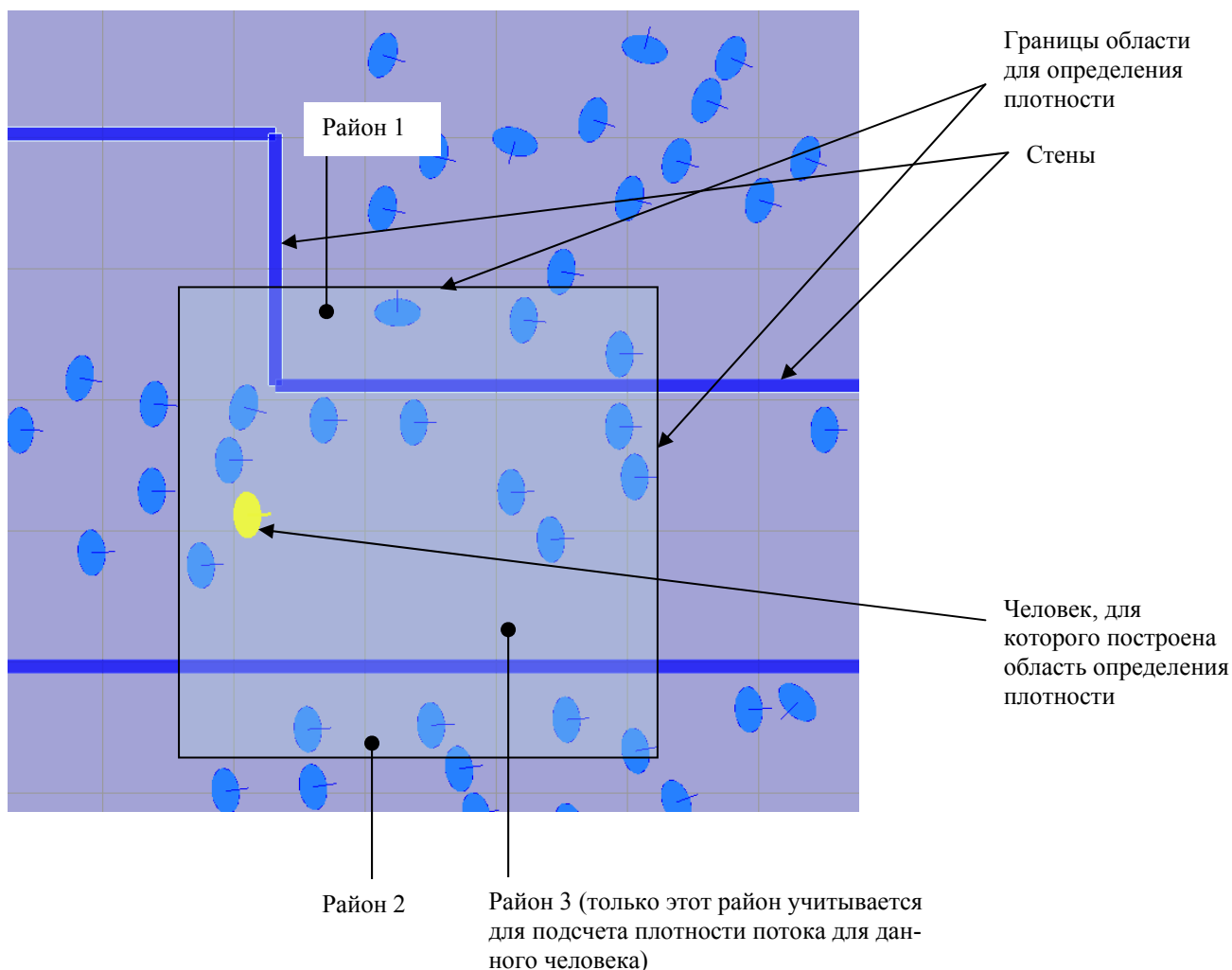


Рисунок 2. Расчет плотности потока

2. Расчет скорости

В начале каждого шага моделирования процесса эвакуации скорость человека пересчитывается на основе его максимальной скорости и плотности потока по таблице П2.1 приложения №2 ГОСТ 12.1.004-91*. Максимальную скорость можно задать в программе для каждого человека отдельно. При расчете скорости учитывается вид пути, по которому движется человек. Путь считается:

- 1) горизонтальным, если человек движется по горизонтальному *уровню*
- 2) «пандусом», если человек движется по наклонному *уровню*,
- 3) «лестницей», если человек движется по наклонному *уровню* и в свойстве наклонного *уровня* указано, что он является лестницей

В случае, если наклон уровня незначителен (меньше 7°), то путь считается горизонтальным.

2.4. Схема моделирования процесса эвакуации.

На каждой итерации в цикле моделирования, каждому агенту предоставляется промежуток виртуального времени – **временной шаг**, за который он производит действия. *Временной шаг* равен по длительности для всех агентов и его длительность не меняется в процессе расчета. Агенты обновляются в порядке их близости к целевой локации: чем ближе агент к локации, указанной как цель его движения, тем раньше его параметры (в т.ч. координаты) будут обновлены на текущей итерации.

Каждый агент имеет координаты - x , y и *уровень*, на котором он находится. Координаты агента в начальный момент времени задаются пользователем программы. Во время моделирования процесса эвакуации агент выполняет последовательность целей, записанных в скрипте. Агент планирует свои действия основываясь на текущих целях и данных получаемых из окружающей среды. Если во время выполнения цели «двигаться к локации» агент встречает на своем пути препятствие, то он перепланирует свой путь, учитывая наличие узких мест и форму скопления людей перед ним.

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из здания последнего человека.

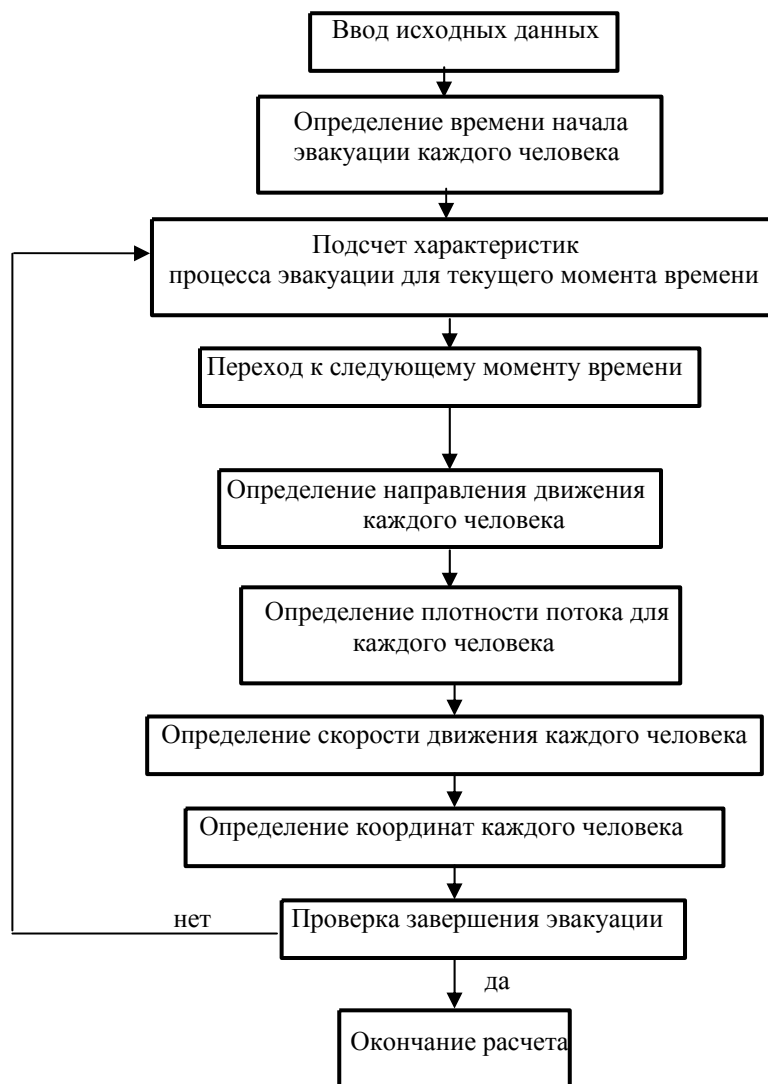


Рисунок 3. Блок-схема моделирования процесса эвакуации

3. Настройка программы для запуска тестов

Во всех тестах, если не оговорено специально, в Эватек используются следующие параметры:

1. площадь проекции человека 0.125м;
2. максимальная скорость 1.67м/с;
3. временной шаг алгоритма – 200 мс;
4. размер ячейки **растровой решетки** – 0.1 м.

4. Валидация модели

4.1. Проверка на соответствие методике: движение потока в коридоре

Теория: При расчете по **методике** скорость потока пропорциональна его плотности. Зависимость скорости от плотности выражается формулой $v = v_{0j}(1 - a_j \ln \frac{D}{D_{0j}})$, параметры определяются по следующей таблице:

Группы мобильности	Значения параметров	Величина параметров по видам пути (j)				
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх
M1	v_{0j}	100	100	60	115	80
	$D_{0,j}$	0,051	0,089	0,067	0,171	0,107
	a_j	0,295	0,400	0,305	0,399	0,399
M2	v_{0j}	30	30	20	45	25
	$D_{0,j}$	0,135	0,139	0,126	0,171	0,146
	a_j	0,335	0,346	0,348	0,438	0,384
M3	v_{0j}	70	20	25	105	55
	$D_{0,j}$	0,102	0,208	0,120	0,122	0,136
	a_j	0,350	0,454	0,347	0,416	0,446
M4	v_{0j}	60	-	-	115	40
	$D_{0,j}$	0,135	-	-	0,146	0,150
	a_j	0,400	-	-	0,424	0,420

Цель теста: Проверить, что в программе Эватек выполняется зависимость скорости от плотности потока, приведенная в **методике**.

Описание сцены: Сцена представляет собой коридор шириной 2 метра и длиной 50 метров. Коридор наполнен людьми с определенной плотностью. Время преодоления потоком коридора фиксировалось и сравнивалось с рассчитанным по формулам **методики** для различных начальных плотностей размещения людей в коридоре.

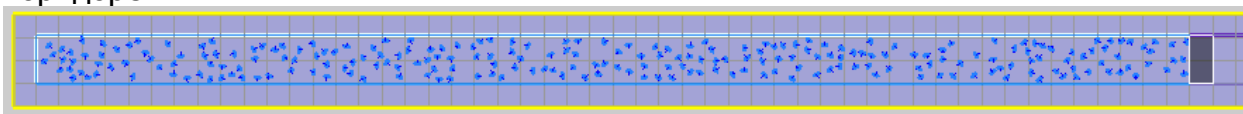


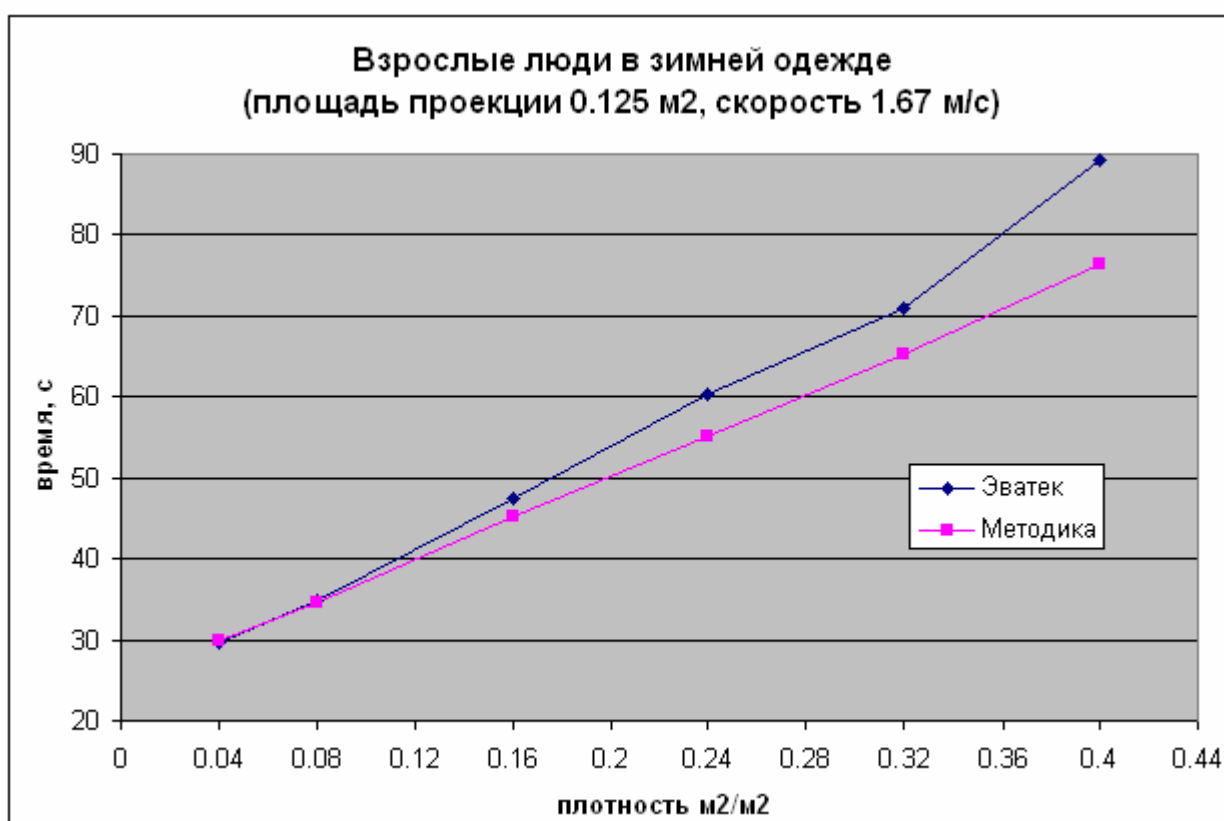
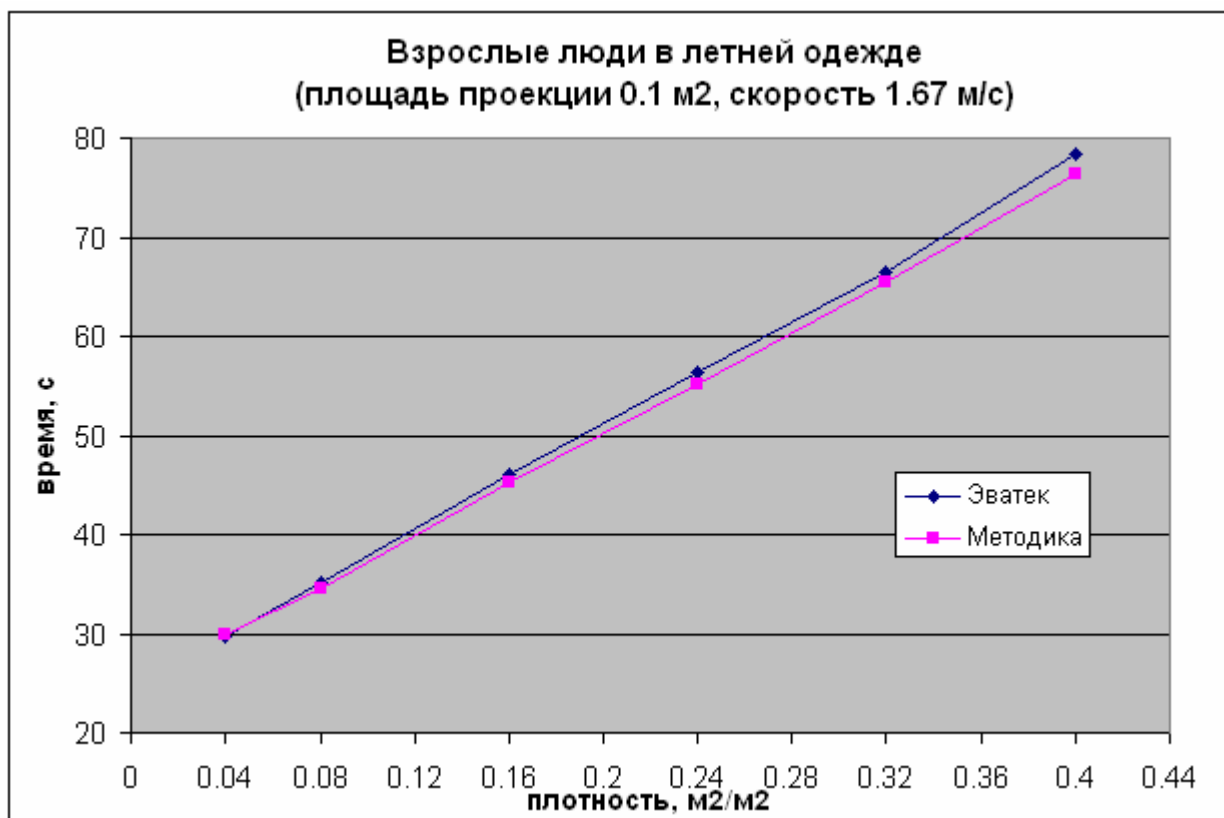
Рисунок 4. Движение потока в коридоре

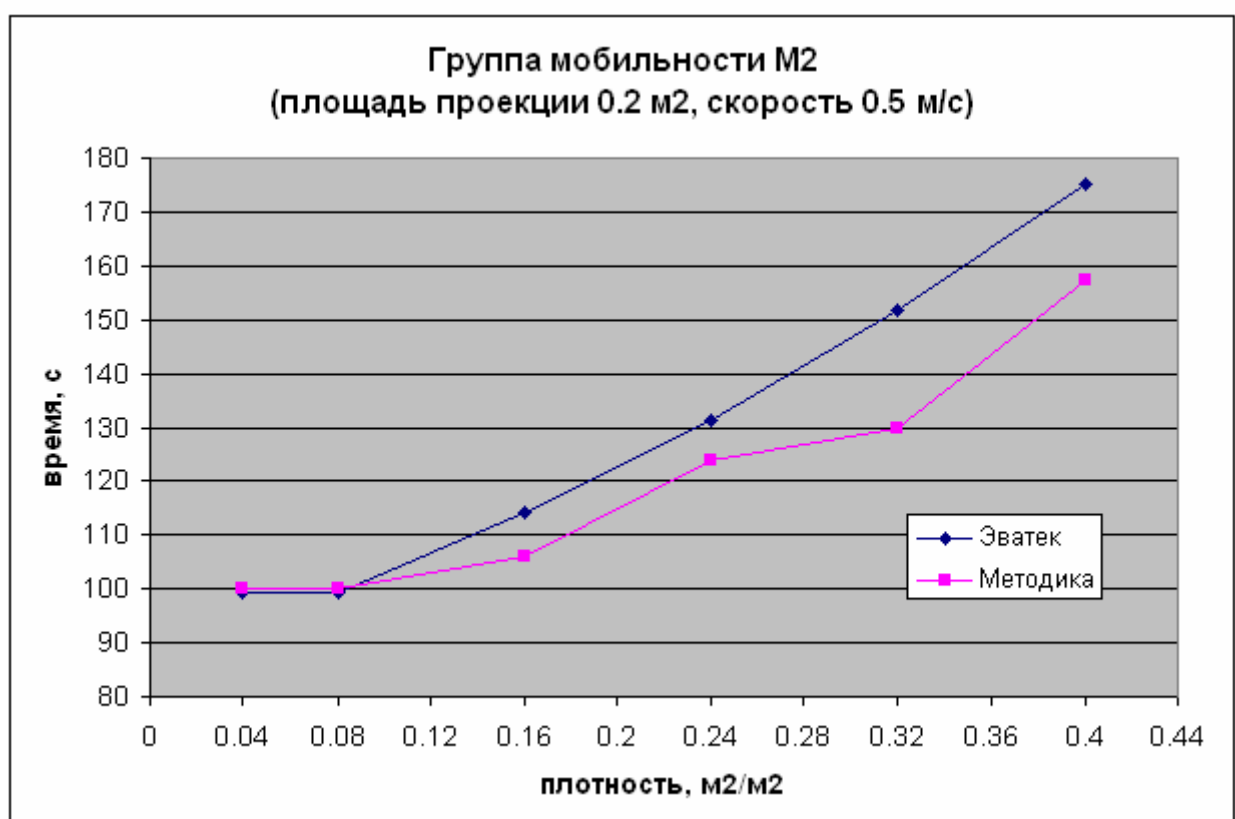
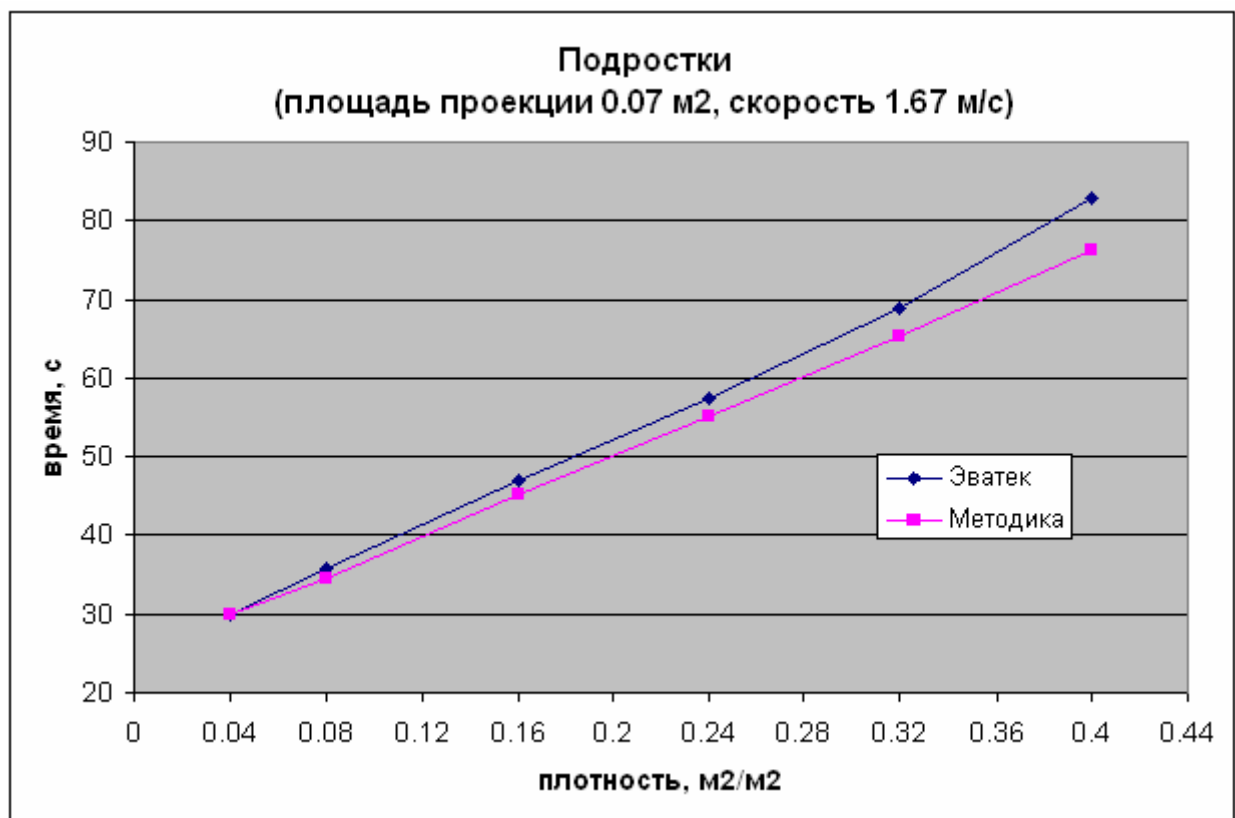
Результат:

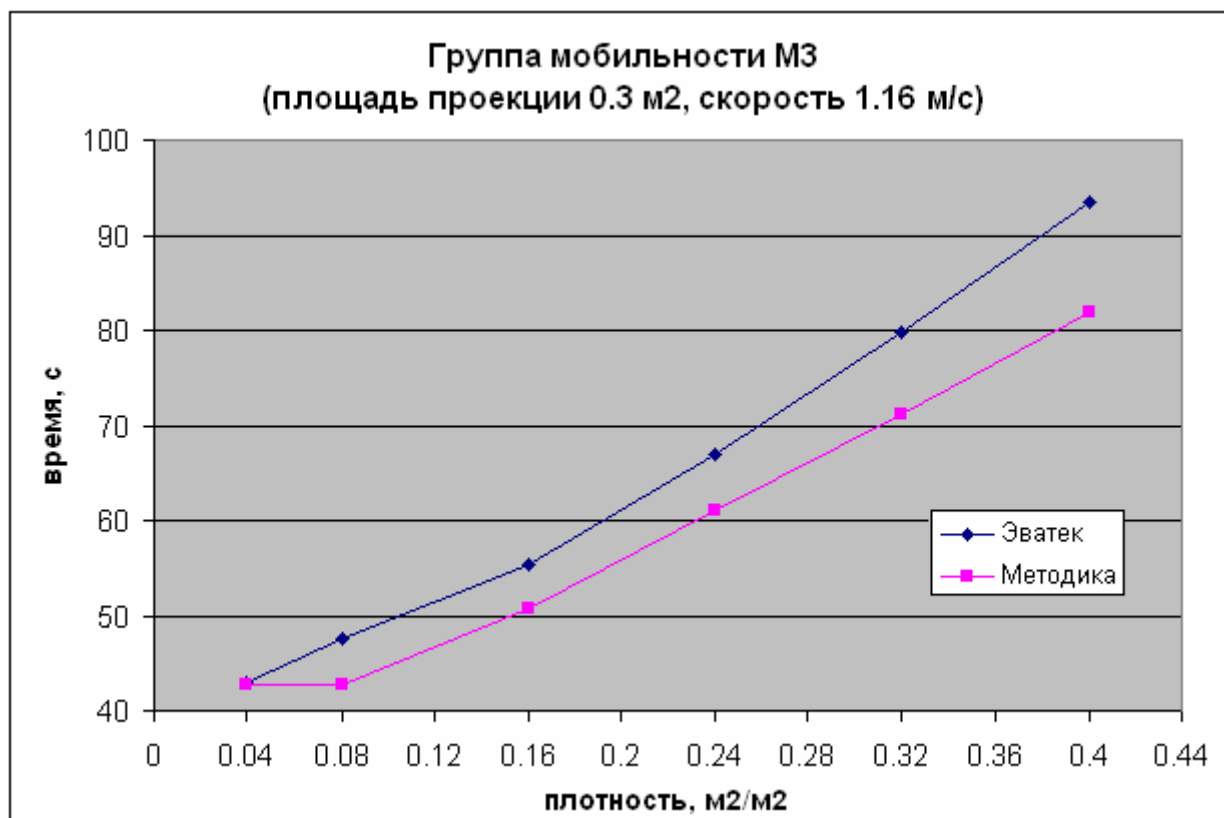
Время движения по **методике** определялось по формуле $t = \frac{l}{v}$, где l – длина коридора, v – скорость потока.

Плотность	Количество людей	Эватек, с	Методика, с	Отклонение, %
Взрослые люди в летней одежде				
0.04	40	29.76	29.94	-0.6
0.08	80	35.10	34.53	1.6
0.16	160	46.16	45.16	2.2

0.24	240	56.43	55.14	2.3
0.32	320	66.50	65.37	1.7
0.4	400	78.30	76.38	2.5
		Среднее отклонение, %		1.6
Взрослые люди в зимней одежде				
0.04	32	29.59	29.94	-1.2
0.08	64	34.93	34.53	1.2
0.16	128	47.48	45.16	5.1
0.24	192	60.27	55.14	9.3
0.32	256	70.84	65.37	8.4
0.4	320	89.19	76.38	16.8
		Среднее отклонение, %		6.6
Подростки				
0.04	57	29.88	29.94	-0.2
0.08	114	35.79	34.53	3.6
0.16	229	46.91	45.16	3.9
0.24	343	57.39	55.14	4.1
0.32	457	68.82	65.37	5.3
0.4	571	82.91	76.38	8.6
		Среднее отклонение, %		4.2
Группа мобильности М2				
0.04	20	99.20	100.00	-0.8
0.08	40	99.20	100.00	-0.8
0.16	80	114.31	106.04	7.8
0.24	120	131.45	123.92	6.1
0.32	160	151.76	129.70	17.0
0.4	200	175.27	157.23	11.5
		Среднее отклонение, %		6.8
Группа мобильности М3				
0.04	13	42.97	42.74	0.5
0.08	27	47.65	42.74	11.5
0.16	53	55.41	50.75	9.2
0.24	80	66.93	60.96	9.8
0.32	107	79.73	71.23	11.9
0.4	133	93.51	81.87	14.2
		Среднее отклонение, %		9.5







Вывод: Скорость движения в Эвтек зависит от плотности потока таким же образом, как и в **методике**. При этом время движения, рассчитанное в Эвтек, превышает время, рассчитанное по **методике**, с запасом до 10%.

4.2. Проверка на соответствие методике: пропускная способность

Теория: Интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин, установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины δ интенсивность движения следует определять по формуле $q = 2,5 + 3,75 \delta$.

Пропускная способность проема связана с интенсивностью отношением $m = \frac{q}{f}$,

где f – площадь проекции человека.

Ширина проема δ , м	Интенсивность $q = 2,5 + 3,75 \delta$, м/мин	Пропускная способность проема, м/с/человек				
		взрослый человек в летней одежде	взрослый человек в зимней одежде	подросток	группа мобильности М2	группа мобильности М3
0.7	5.125	0.854	0.683	1.220	0.427	0.285
0.8	5.5	0.917	0.733	1.310	0.458	0.306
0.9	5.875	0.979	0.783	1.399	0.490	0.326
1	6.25	1.042	0.833	1.488	0.521	0.347
1.1	6.625	1.104	0.883	1.577	0.552	0.368
1.2	7	1.167	0.933	1.667	0.583	0.389
1.3	7.375	1.229	0.983	1.756	0.615	0.410
1.4	7.75	1.292	1.033	1.845	0.646	0.431
1.5	8.125	1.354	1.083	1.935	0.677	0.451
1.6	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
1.7	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
1.8	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
1.9	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2.1	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2.2	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2.3	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2.4	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472
2.5	8.5	1.417	1.133	2.024	0.708	0.472

Цель теста: Проверить, что в программе Эватек при высоких плотностях людей выполняется зависимость интенсивности движения через проем от ширины проема, приведенная в **методике**.

Описание сцены: Сцена представляет собой помещение размером 10*10 метров, наполненное людьми. Из помещения имеется один выход. Полученная для различных размеров дверей пропускная способность выхода в программе Эватек сравнивается с расчетом по формулам **методики**.

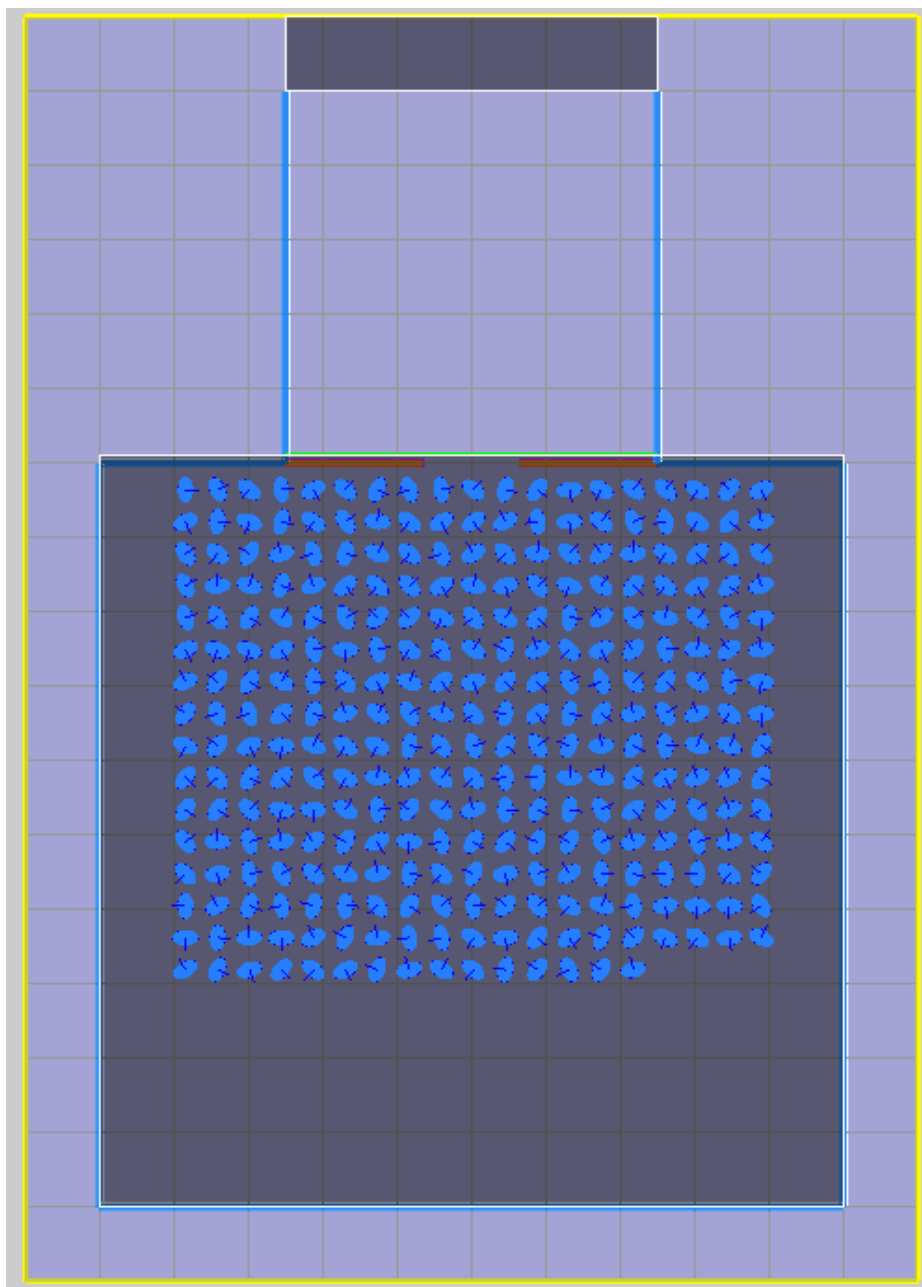
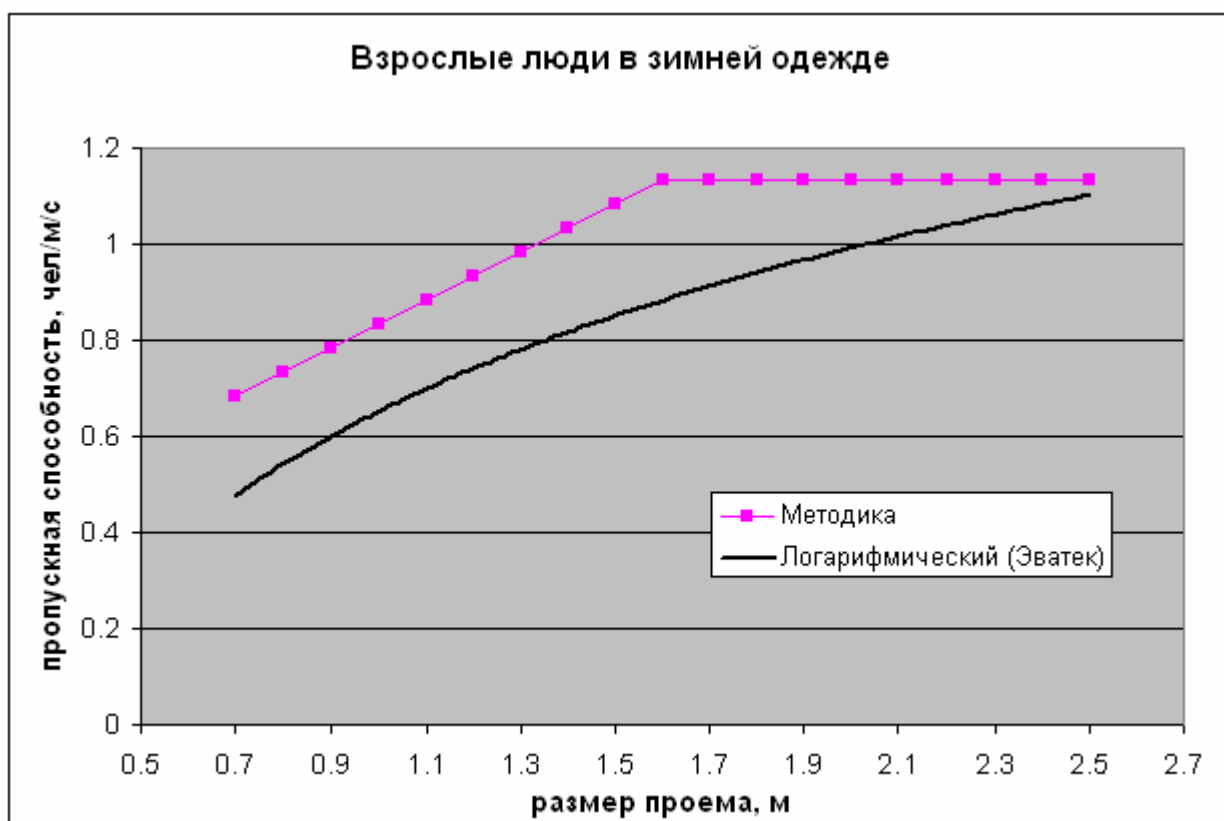
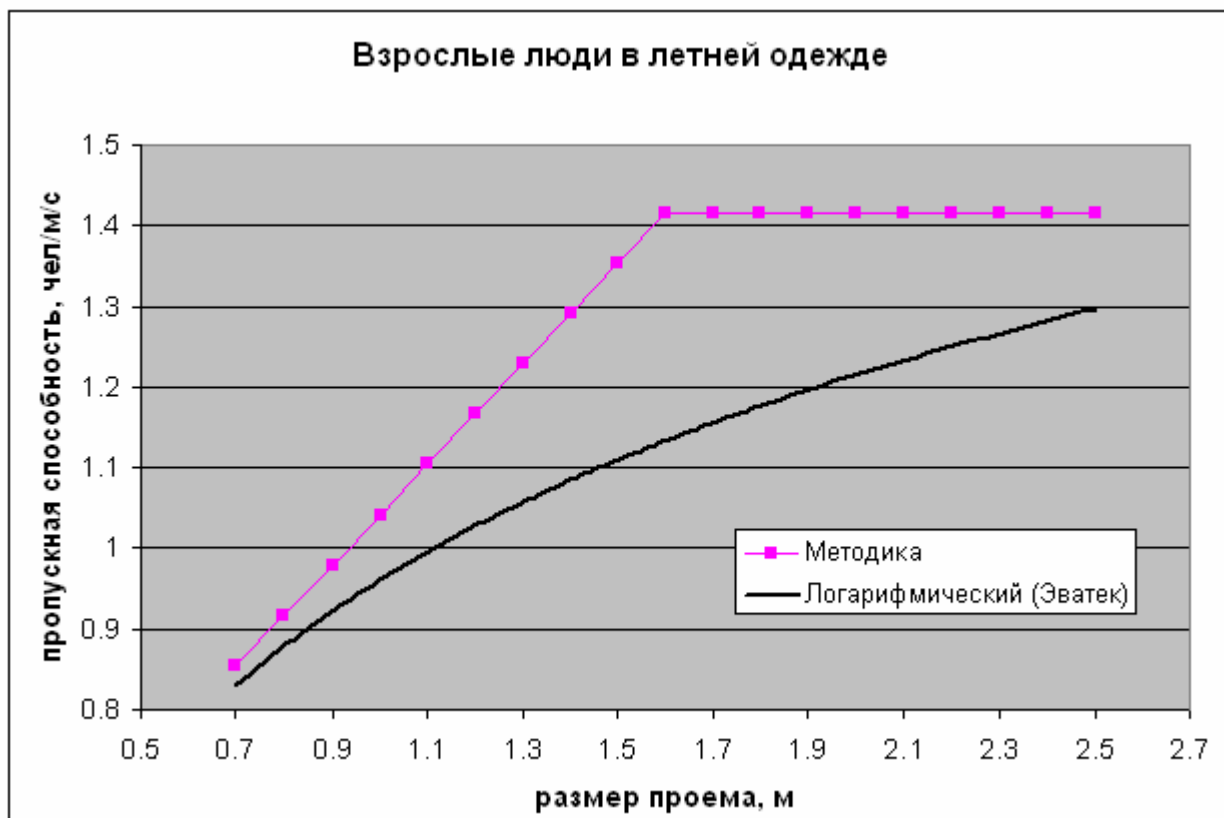


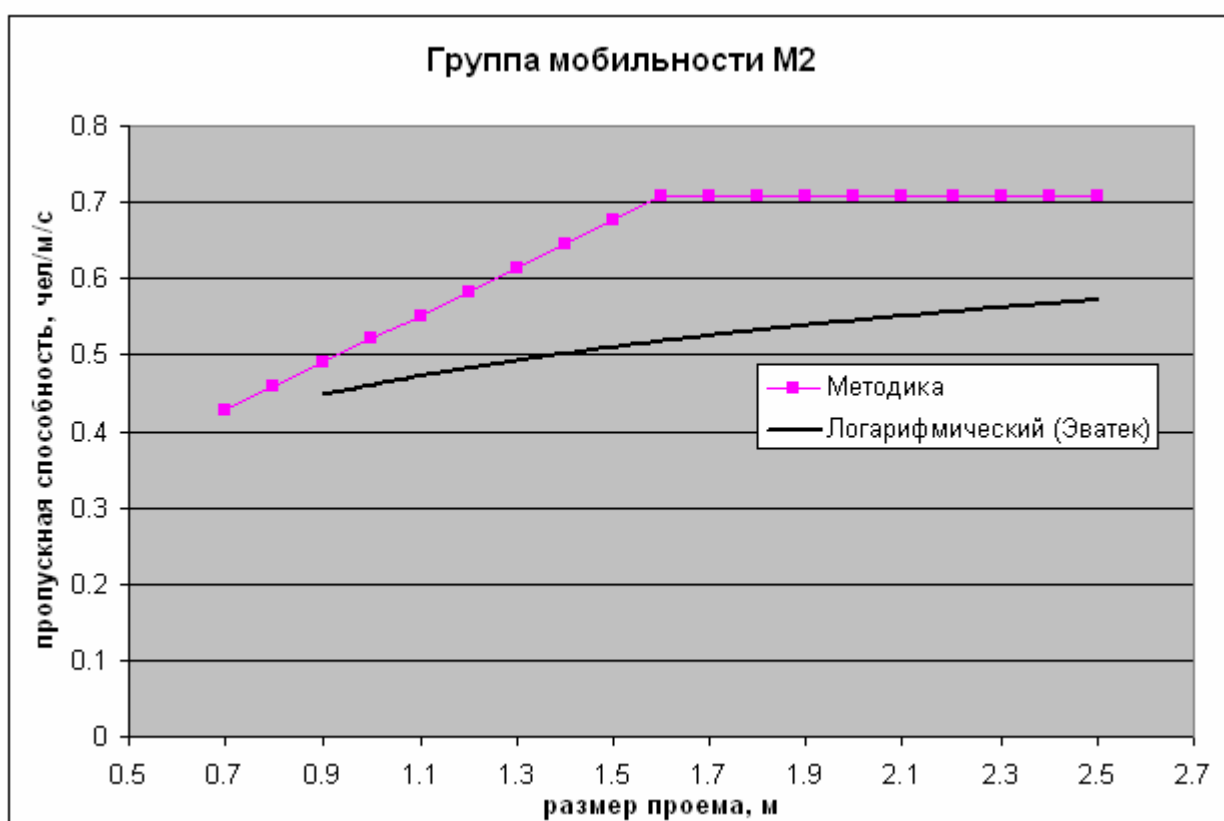
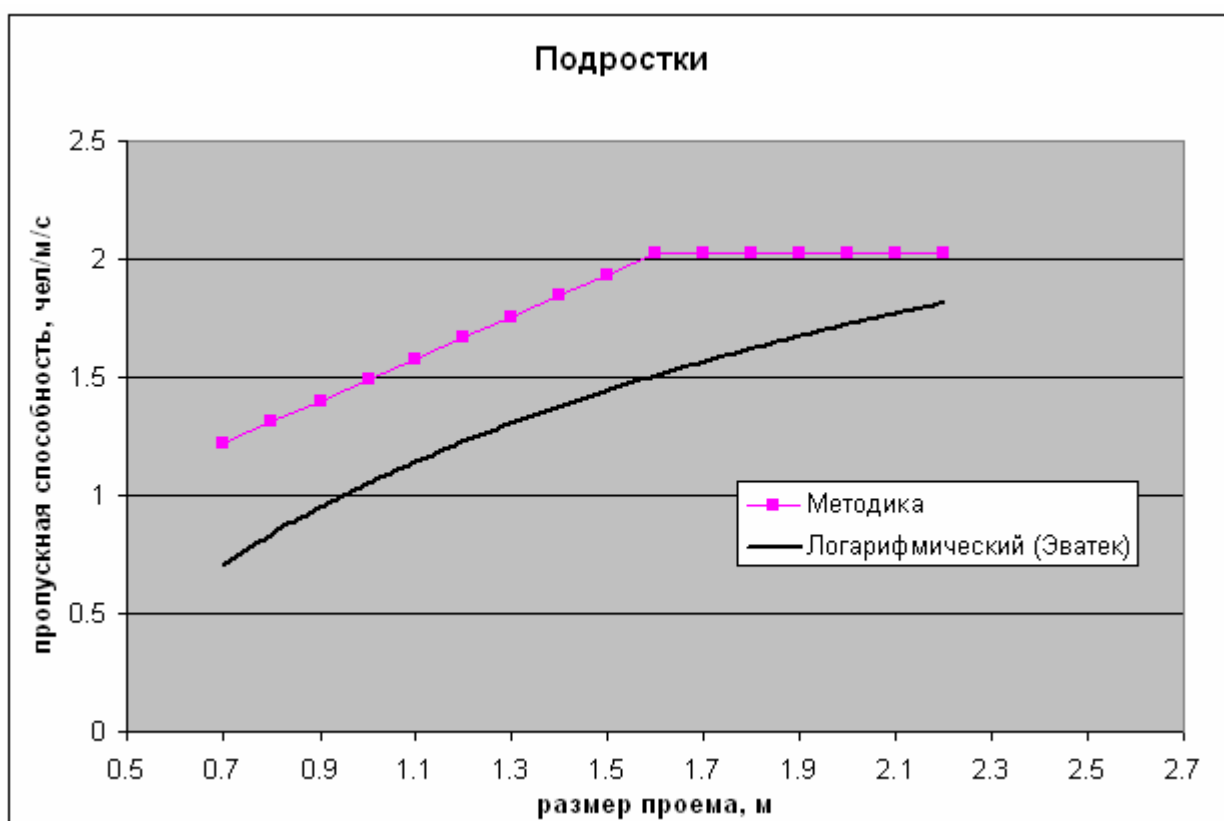
Рисунок 5 Пропускная способность двери

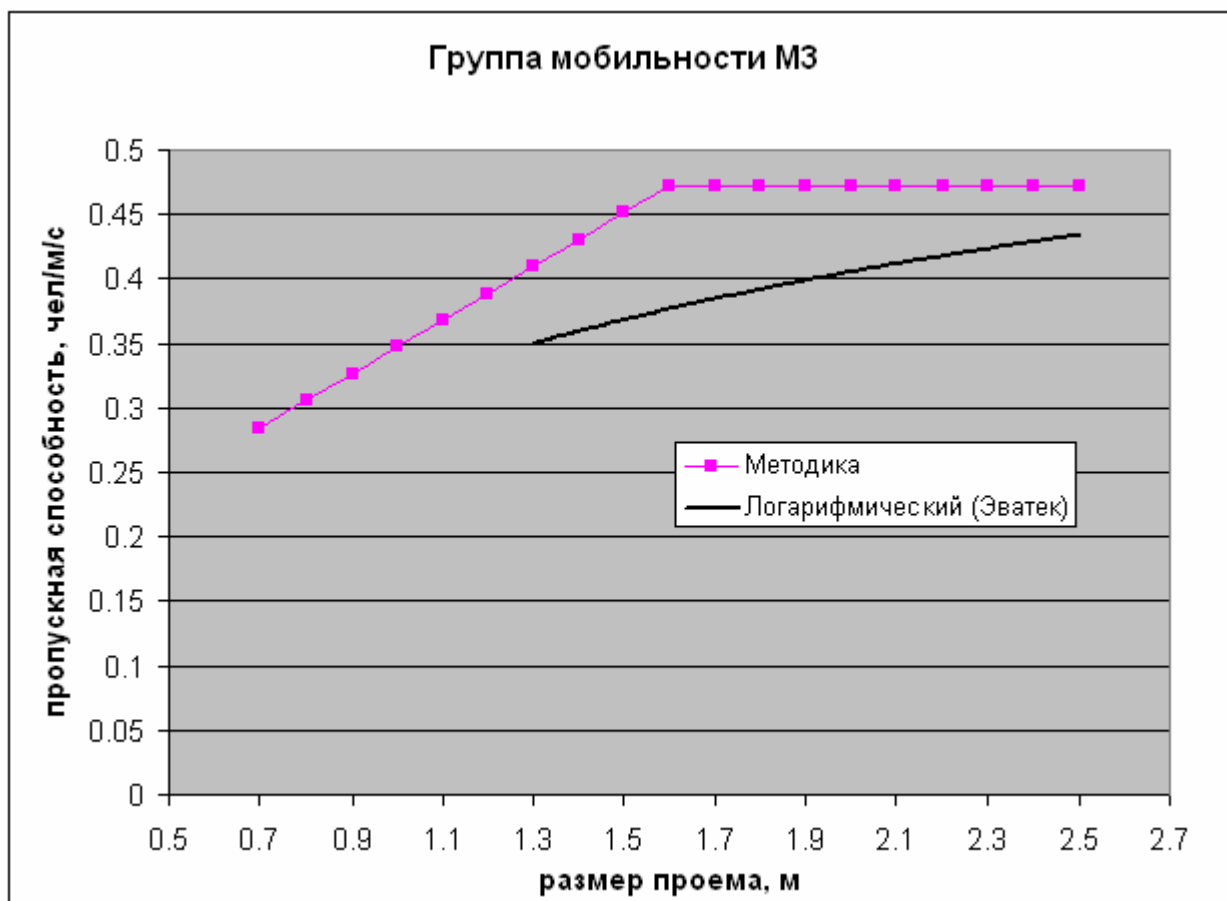
Для различных типов людей в расчетах участвовало различное количество людей.

Тип людей	Количество людей
Взрослые люди в летней одежде	300
Взрослые люди в зимней одежде	300
Подростки	300
Группа мобильности М2	250
Группа мобильности М3	225

Результат: Значения, полученные в программе Эватек, аппроксимированы логарифмической зависимостью.







Вывод: Зависимость интенсивности движения через проем от ширины проема, имеет схожий вид для модели Эватек и модели **методики**. В целом пропускная способность проемов при высоких плотностях в модели Эватек ниже, чем приведенная в **методике**, имеется запас до 15%.

5. Тестирование функциональных компонентов модели

Тестирование компонентов предполагает проверку того, что различные компоненты программного обеспечения функционируют надлежащим образом. Это включает в себя прогон программного обеспечения через набор элементарных тестов, чтобы убедиться в том, что главные субкомпоненты модели функционируют так, как и предполагалось.

5.1. Обеспечение скорости движения в коридоре (single_in_corridor.eva)

Цель теста: Проверить, обеспечивается ли заданная скорость при свободном движении человека.

Описание сцены: Один человек находится в начале коридора шириной 2 метра и длиной 40 метров. Двигаясь со скоростью 1 м/с, он должен достичь конца коридора за 40 секунд.

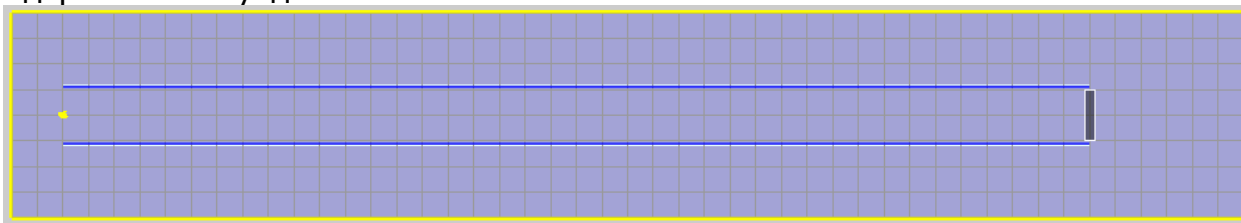


Рисунок 6 Обеспечение скорости движения в коридоре.

Результат: Выполнив тест «single_in_corridor.eva», получим выходной файл с результатами расчета, где есть строка «Самое позднее время выполнения цели - 0:00:40.050», что означает, что человек достиг конца коридора через 40 секунд и 50 миллисекунд. Время отличается от 40 секунд, так как человек заканчивает движение в центре ячейки растровой решетки. В данном тесте размер ячейки 0.1 м, таким образом человек прошел лишние 5 см.

Вывод: При свободном движении фактическая скорость человека соответствует заданной.

5.2. Обеспечение времени реакции (single_in_corridor_response_time.eva)

Цель теста: Проверить, обеспечивается ли заданное время реакции.

Описание сцены: Рассмотрим ту же конфигурацию сцены, что и в тесте 5.1.: один человек находится в коридоре длиной 40 метров и движется со скоростью 1 м/с, но теперь ему задано время реакции 5 секунд, т.е. он начнет движение через пять секунд после начала расчета.

Результат: Выполнив тест «single_in_corridor_response_time.eva», получим «Самое позднее время выполнения цели - 0:00:45.050». Отличие от предыдущего расчета составляет ровно 5 секунд.

Вывод: Фактическое время задержки начала движения человека соответствует заданному времени реакции.

5.3. Распределение времени реакции (response_time.eva)

Цель теста: Проверить, выполняется ли распределение параметров на примере распределения времени реакции.

Описание сцены: Сцена представляет собой помещение размером 8*5 метров с одним выходом шириной 1 метр. Двадцать человек, находящиеся в помещении, имеют время реакции, заданное равномерным распределением с минимальным значением 10 секунд и максимальным 100 секунд.

Результат: Сведем в таблицу времена реакции:

Номер человека	Время реакции, с
1	88.619
2	65.01
3	82.353
4	57.12
5	43.616
6	58.967
7	41.71
8	73.547
9	15.614
10	36.985
11	42.888
12	63.5
13	81.211
14	32.153
15	88.963
16	93.218
17	57.171
18	93.417
19	63.288
20	37.048

Матожидание, вычисленное по приведенным значениям, равно 60,82 секунд, тогда как точное матожидание равномерного распределения равно $(100+10)/2=55$ секунд. Отклонение составляет 10,6%, что является хорошим результатом для столь небольшой выборки.

Вывод: Фактическое распределение времени реакции с хорошей точностью согласуется с заданным распределением.

5.4. Пересечение с препятствиями (collisions.eva)

Цель теста: Убедиться, что при движении люди не пересекают границ препятствий.

Описание сцены: Сцена представляет собой коридор, поворачивающий под прямым углом. Группа людей, изначально сосредоточенная в одном из концов коридора, движется по коридору.

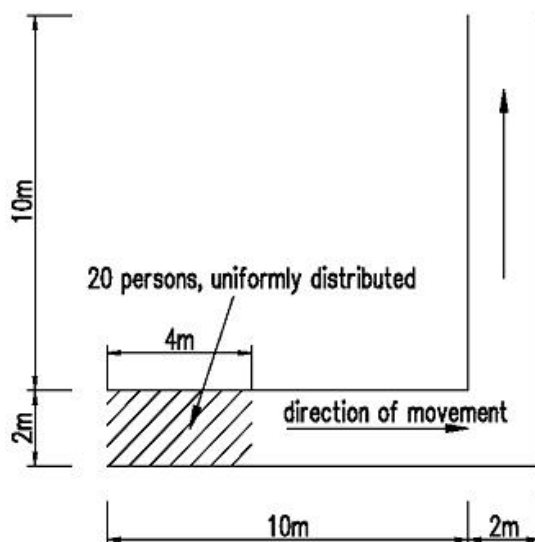


Рисунок 7 Схема сцены

Результат: Включив отображение пройденных путей агентов, можно увидеть, что центры всех агентов оставались внутри допустимой области.

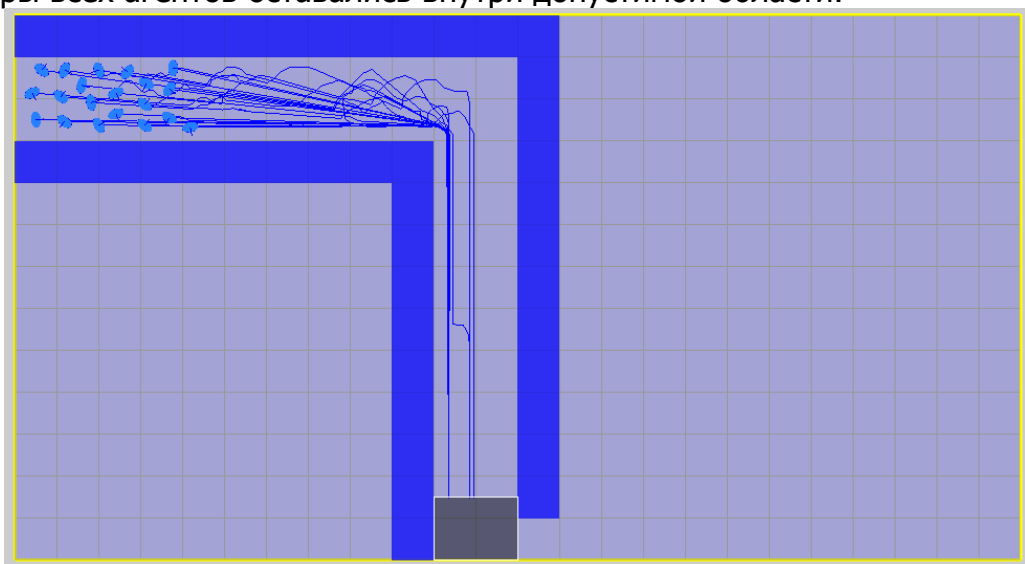


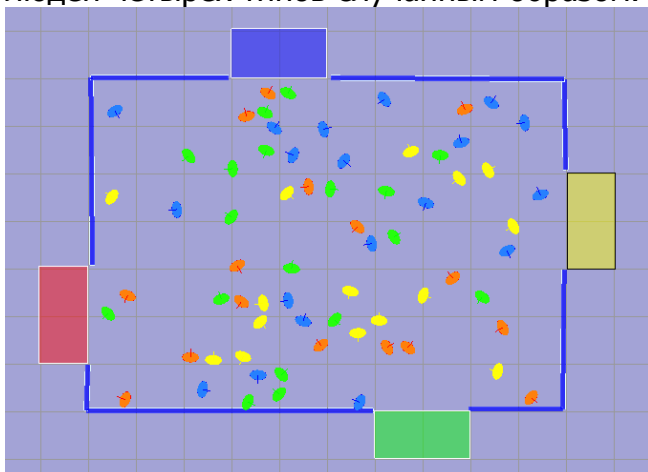
Рисунок 8 Пересечение с препятствиями. Пройденные пути агентов после окончания расчета

Вывод: При движении люди не пересекают границ препятствий.

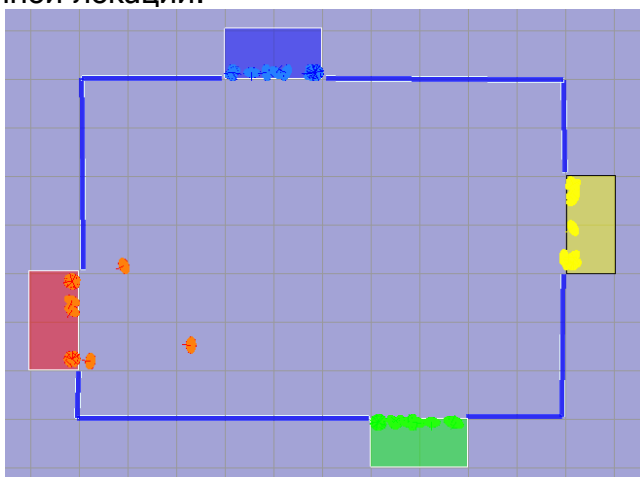
5.5. Задание ролей (roles.eva)

Цель теста: Проверить адекватность выполнения людьми заданных им ролей.

Описание сцены: Зададим четыре локации и четыре разных роли, каждая определяет движение к своей локации. Разместим в пространстве между локациями людей четырех типов случайным образом.



Результат: В результате люди выполняют заданную им роль – следуют к заданной локации.



Вывод: Заданные роли выполняются адекватно.

5.6. Назначение путей к выходам

Цель теста: Проверить, что при эвакуации люди направляются к ближайшему эвакуационному выходу.

Описание сцены: Рассмотрим следующую планировку здания – коридор с комнатами, в которых находится 1-2 человека. Из здания имеется два выхода. В роли каждого человека задана установка на движение к ближайшему выходу.

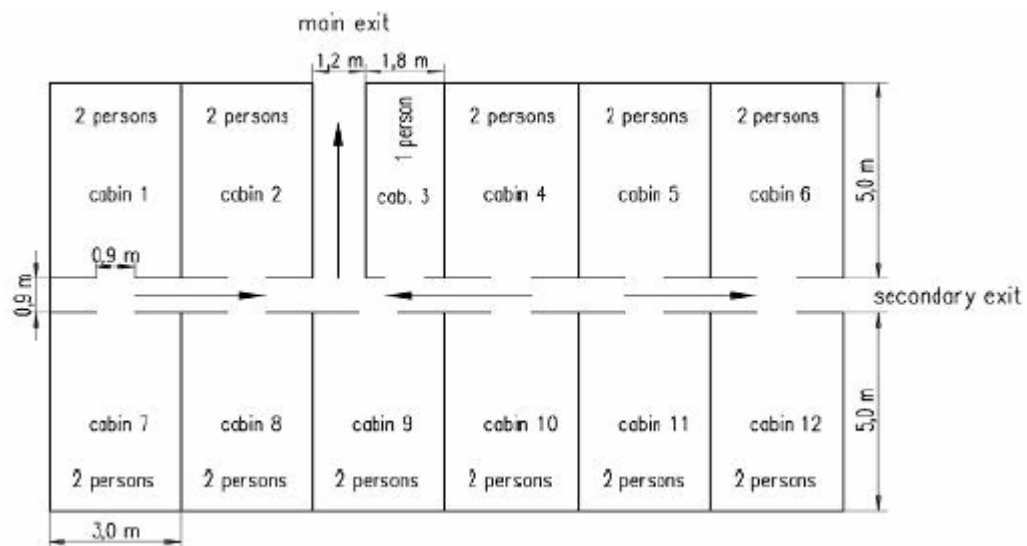


Рисунок 9 Схема сцены

Результат: Отобразив пути эвакуации, видим, что люди направляются к ближайшему эвакуационному выходу.

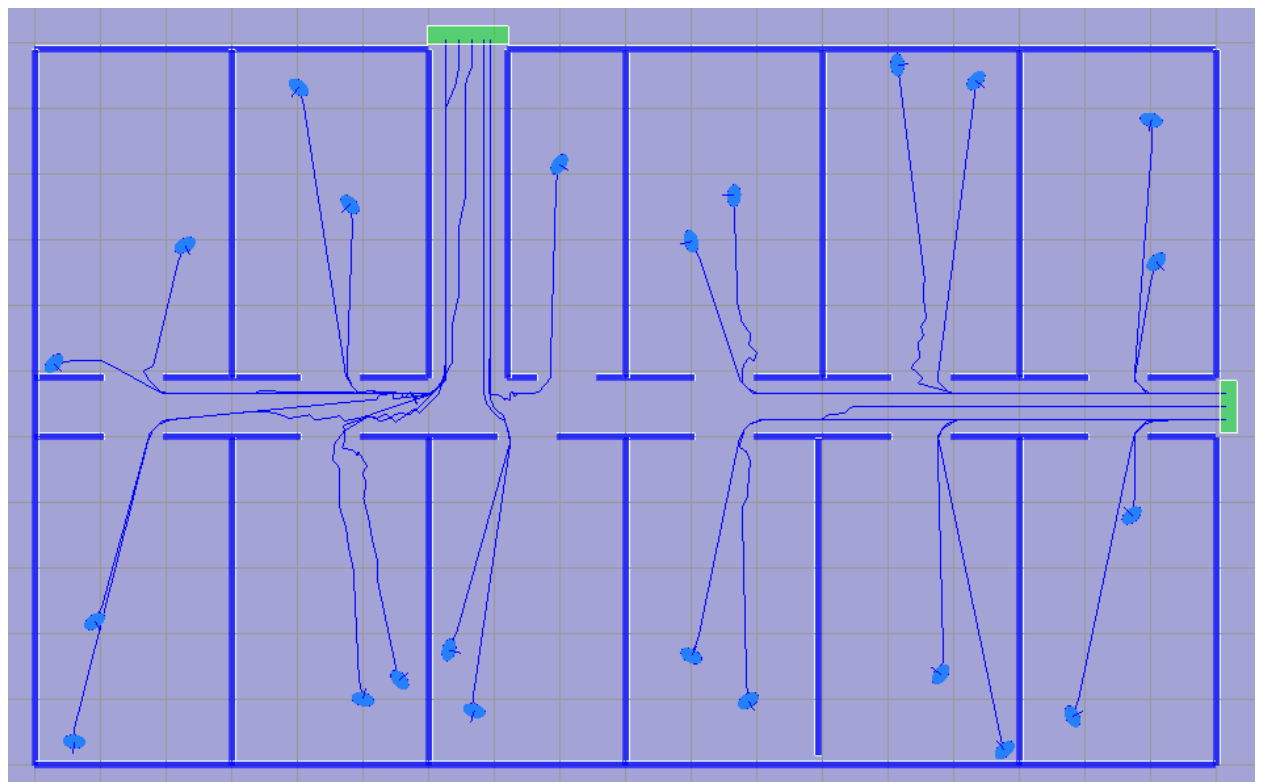


Рисунок 10 Пути эвакуации

Вывод: При эвакуации люди действительно направляются к ближайшему выходу.

6. Качественная верификация

Качественная верификация заключается в сравнении результатов расчета с ожидаемым поведением людей. Она позволяет убедиться в том, что модель достаточно реалистично описывает поведенческие особенности людей.

6.1. Рассеивание толпы из комнаты через несколько выходов

Цель теста: Проверить, что с увеличением вдвое количества выходов, время эвакуации уменьшится вдвое.

Описание сцены: Возьмем большую комнату с несколькими выходами и 300 человек, распределенных по ней. Люди покидают комнату через ближайшие выходы. Время, когда последний человек достигает выхода, регистрируется.

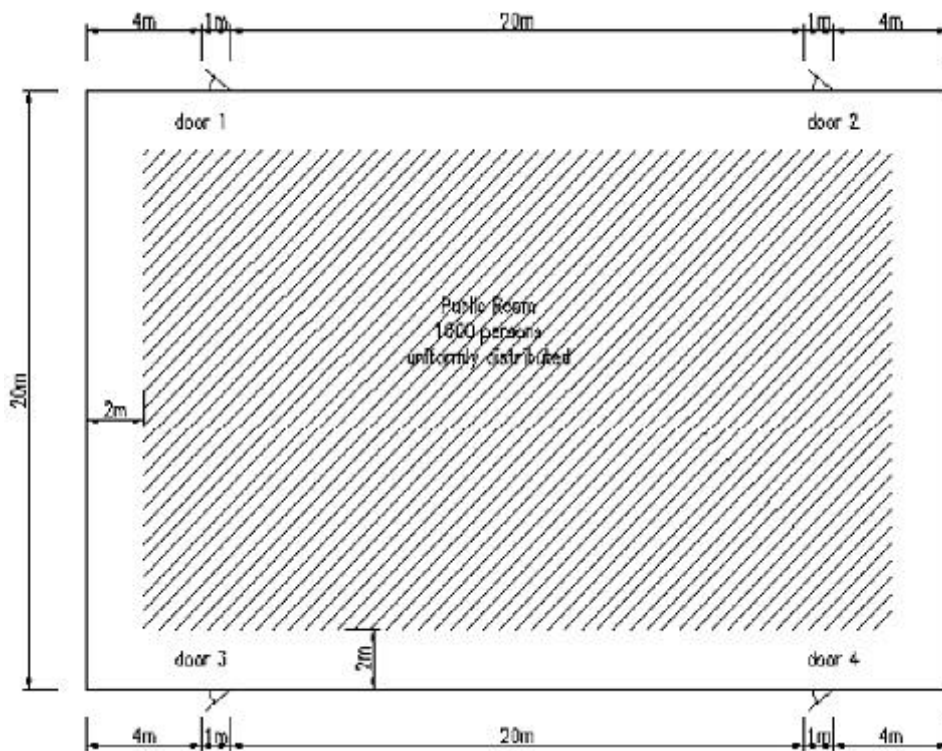
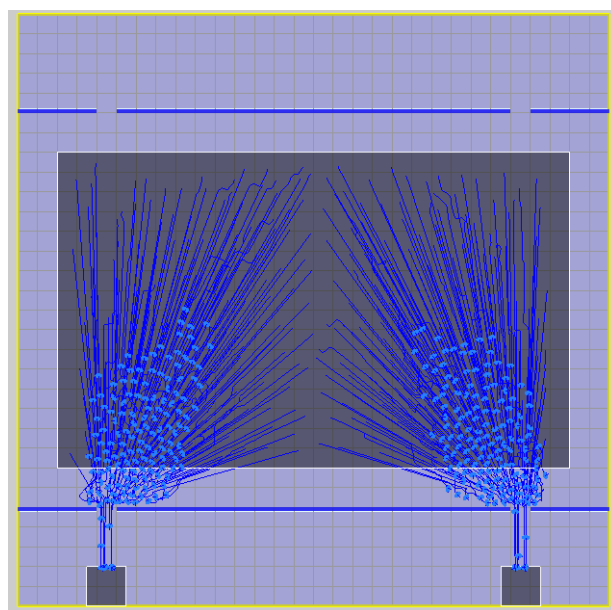
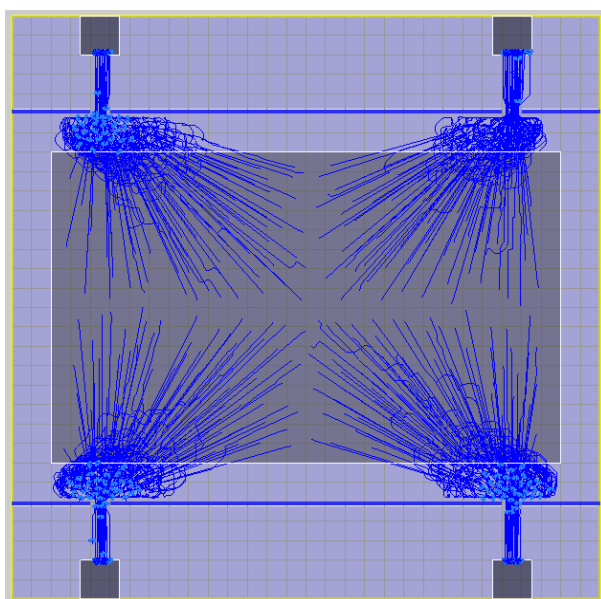


Рисунок 11 Рассеивание толпы – схема сцены

Результат: Проведя расчет эвакуации для двух и для четырех эвакуационных выходов, получим следующие результаты:



Кол-во выходов		Отношение значений	Расхождение с ожидаемым результатом, %
4	2		
86,468	193,478	2,24	12

Вывод: С увеличением количества эвакуационных выходов вдвое время эвакуации уменьшается вдвое с хорошей точностью.

7. Численная верификация

Численная верификация включает в себя сравнение выходных результатов модели с соответствующими данными реальных случаев эвакуации, экспериментов и результатов других моделей.

Выполним сравнение с программой СИТИС: Флоутек, которая реализует упрощенную аналитическую модель движения людского потока **методике**.

7.1. «Бутылка» (bottle.eva и bottle.flt)

Цель теста: Сравнение результатов расчета в программе Эватек с расчетами по **методике**.

Описание сцены: Сцена представляет собой сужающийся коридор – первый участок шириной 4 метра и длиной 20 метров, второй участок длиной 20 метров и шириной 2 метра.

Для различного количества человек (различной плотности) определяем время эвакуации в программах Эватек и Флоутек.

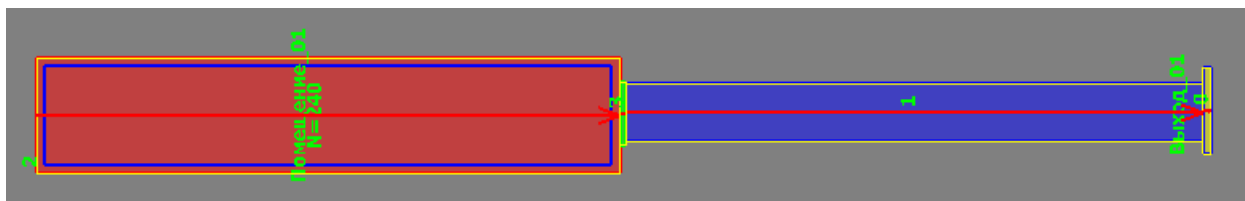


Рисунок 12 bottle.flt

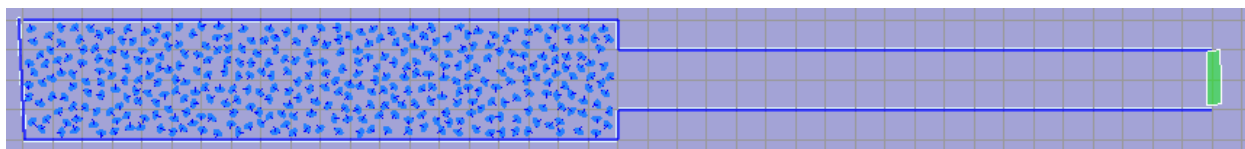


Рисунок 13 bottle.eva

Результат:

Количество человек/плотность	Результат Эватек, с	Результат Флоутек, с	Относительное отклонение, %
60 человек (0,075)	36.074	36	0,2
120 человек (0,15)	50.418	58,2	-13,4
240 человек (0,3)	89,252	93,6	-4,6
360 человек (0,45)	140,439	132	6,4

7.2. Эвакуация в коридор (hotel.eva и hotel.flt)

Цель теста: Сравнение результатов расчета в программе Эватек с расчетами по **методике**.

Описание сцены: Сцена представляет собой коридор (50*2 метров) и ряд выходящих в него помещений (10*5 метров) с дверями 1.2 метра. В каждом помещении находятся люди, которые начинают эвакуироваться одновременно. Для различного количества человек определяем время эвакуации в программах Эватек и Флоутек.

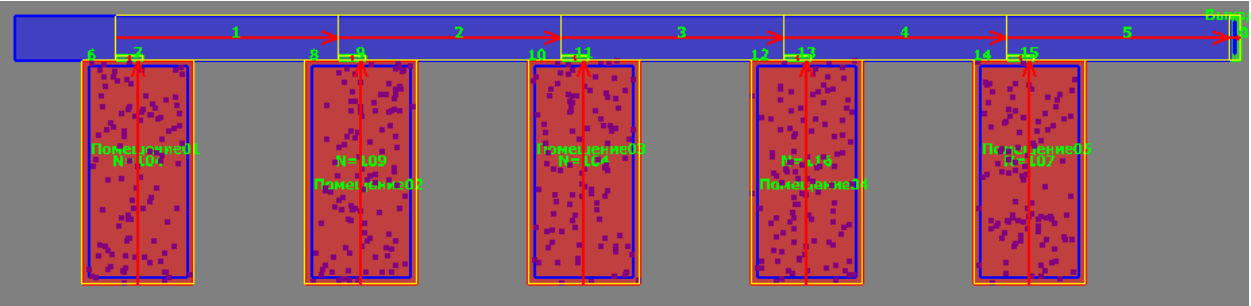


Рисунок 14 hotel.flr

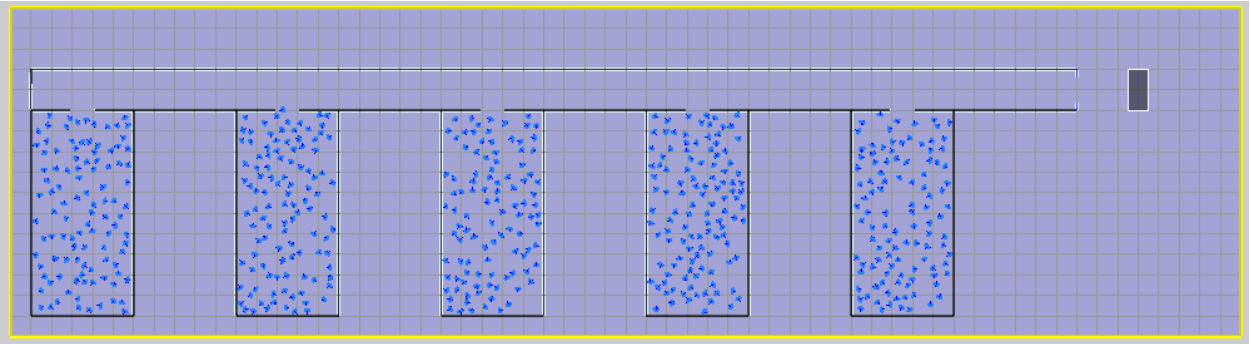


Рисунок 15 hotel.eva

Результат:

Количество человек	Результат Эватек, сек	Результат Флоутек,сек	Относительное отклонение, %
100-115 человек/помещение	216,038	226,2	-4,5
25 человек/помещение	56,592	63,6	-11

7.3. Изменение размера коридора (dif_coridor.eva и dif_coridor.flt)

Цель теста: Сравнение результатов расчета в программе Эватек с расчетами по методике.

Описание сцены: Сцена представляет собой коридор, состоящий из трех частей разной ширины (8*2 метров, 8*1,6 метров и 5*2 метров). В коридор выходит помещение размером 5*4 метров с дверью шириной 1,5 метра.

Для различного количества человек определяем время эвакуации в программах Эватек и Флоутек.

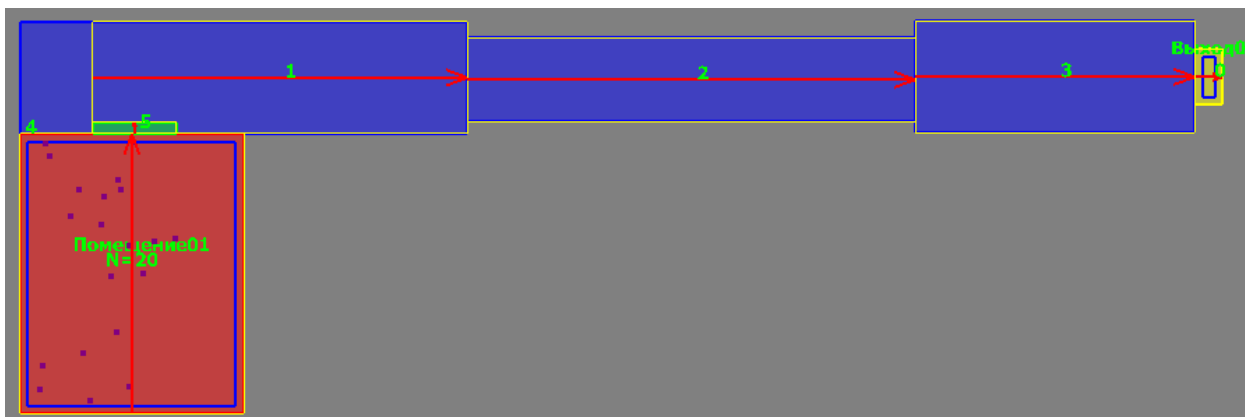


Рисунок 16 dif_coridor.flt

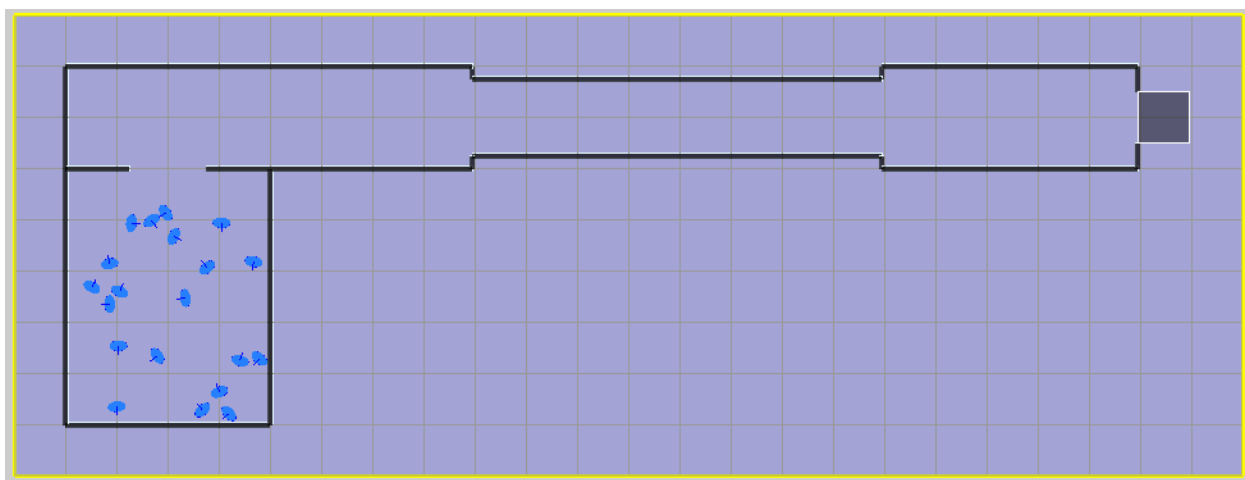


Рисунок 17 dif_coridor.eva

Результат:

Количество человек	Результат Эватек, с	Результат FlowTek,с	Относительное отклонение, %
20	27,052	23,4	15,6
50	41.057	38.4	6.9
95	68.68	60.6	13.3

8. Выводы

Показано, что в модели СИТИС: Эватек правильно выполняются основополагающие зависимости [1] при моделировании процесса эвакуации:

1. Зависимость скорости движения людского потока от плотности.
2. Ограничения на максимальную пропускную способность (интенсивность) при движении в дверном проеме.

Тестирование функциональных компонентов СИТИС: Эватек продемонстрировало для каждого моделируемого человека возможность:

1. Поиска ближайшего выхода.
2. Задание ролей - сценариев поведения.
3. Задание распределения времени начала эвакуации (времени реакции).

Качественная верификация показала, что ожидаемое поведение людей совпадает с поведением людей в эвакуационной модели Эватек.

Численные тесты сравнения результатов расчета времени эвакуации в СИТИС: Эватек и по формулам **методики** [2], [3] показали хорошее совпадение, в целом отклонение наблюдается в сторону завышения времени эвакуации, то есть создает запас до 10-15% при расчете.

9. Литература

1. В. В. Холщевников. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре // Московский институт пожарной безопасности. – М., 1999.
2. ПРИЛОЖЕНИЕ 2 "МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЛЮДЕЙ" ГОСТ 12.1.004-91* ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ Общие требования
3. Оценка индивидуального пожарного риска для общественных зданий. Четвертая редакция. Федеральная противопожарная служба, 2008.
4. Guidance for Validating/Verifying Evi 3.0 to MSC/Circ.1033, Annex 3 // SAFETY AT SEA LTD, University of Strathclyde - Glasgow, 2003.
5. СНиП 35-01-2001 "Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения".
6. E. W. Dijkstra: A note on two problems in connexion with graphs. In Numerische Mathematik, 1 (1959), S. 269–271.