

Тестирование модуля, реализующего пешеходное движение в ПО «Сигма ПБ», по данным натурного эксперимента (<https://youtu.be/5fbd4kexrzw>)

Для использования данных проведенного на базе АГПС МЧС РФ натурного эксперимента в сравнительном анализе при тестировании программного обеспечения, реализующего модель пешеходного движения, необходимо зафиксировать следующие существенные особенности полученных данных и условий, при которых проводился эксперимент:

- 1) эксперимент проводился на коротких участках путей, что дало малые значения наблюдаемых времен, поэтому отклонения в 1 -2 секунды может составлять от 10 до 50 %;
- 2) пешеходное движение - процесс случайный с явно выраженной повторяемостью результатов в среднем, проведенный эксперимент представляет для каждого теста единственную реализацию такого случайного процесса.

Как следствие, с учетом 1) и 2) при проведении вычислительного эксперимента крайне важно максимально точно воспроизвести все условия натурного эксперимента – начальное положение людей, скорости свободного движения.

Поэтому был проведен посекундный анализ видео проведенных тестов с тем, чтобы, где это возможно, оценить скорость свободного движения. Полученные скорости (или близкие) были введены при проведении вычислительных экспериментов в соответствующих сериях тестов.

Так же приведены данные вычислительного эксперимента, где средняя скорость свободного движения была равна 1,66 м/с (99,6 м/мин).

Часть 1. Прямолинейное движение

Таблица 1.1. Прямолинейное движение. Анализ натурного эксперимента.

1	Тест	Время начала движения	Время достижения выхода фронтом	Длительность движения фронта до выхода: c-b, с	Скорость свободного движения $V_0: 15/d,$ м/с	Количество человек в эксперименте
2	a	b	c	d	E	f
3	1-1/1*	00:02,035	00:14,748	12,713	1,18	20
4	2-1/3**			14,3	1,39	
5	3-1/15***				1,39	

* Скорость свободного движения оценивалась по отношению времени достижения фронтом потока (первыми идущими) границы области эксперимента (столбец **d** в таблице 1.1) и длины пути, который проходит фронт – 20м-5м=15м. Таким образом, посекундный анализ видео эксперимента показал, что скорость свободного движения фронта в Тесте 1-1/1 была оценена как 1,18 м/с (70,8 м/мин).

** Поскольку начальная плотность была очень низкой (примерно $20\text{м}/20\text{ чел}=1\text{ чел}/\text{м}^2$), то поток практически не претерпел переформирования (люди двигались примерно с тем же расстоянием друг от друга вдоль оси движения, с каким находились друг от друга в начальный момент), то скорость свободного движения оценивалась по отношению времени достижения хвостом потока (последним человеком) границы области эксперимента (столбец **d** в таблице 1.1) и длины пути – 20м. Таким образом, скорость свободного движения фронта в Тесте 2-1/3 была оценена как 1,39 м/с (83,9 м/мин).

*** Скорость свободного движения не представляется возможным оценить по данным этого эксперимента, поэтому она была взята 1,39 м/с как в Тесте 2-1/3.

Были взяты следующие начальные данные для моделирования движения по прямолинейному пути:

- скорость свободного движения: Тест 1-1/1 - 1,16 м/с; Тест 2-1/3 - 1,36 м/с; Тест 3-1/15 - 1,36 м/с;
- площадь проекции – 0,125 м²;
- начальное расположение людей в области приближено к экспериментам, где возможно было оценить по видео.

В Таблице 1.2 приведены данные вычислительного эксперимента и процентное отклонение от результатов натурального эксперимента.

Таблица 1.2. Прямолинейное движение. Результаты моделирования, один эксперимент. Время выхода. Скорость свободного движения – Тест 1-1/1 - 1,16 м/с; Тест 2-1/3 - 1,36 м/с; Тест 3-1/15 - 1,36 м/с.

Тест	Эксперимент, с	Моделирование, с	Отклонение: (с-б)/с, %	Вывод	Количество человек в эксперименте
A	B	c	d	E	f
1-1/1	20,1	24,75	23	+	20
2-1/13	14,3	16,25	13,66	+	19
3-1/5	18,6	18,25	-1,8	Занижает	40

Таким образом, вычислительный эксперимент, проведенный при близких скоростях к данным натурального эксперимента, и начальной расстановке людей, приближенной к натуральному эксперименту, дает отклонение не более 23% от результатов, полученных в единичных тестах с прямолинейным участком пути.

Часть 2. Слияние людских потоков

Таблица 2.1. Слияние людских потоков. Анализ натурального эксперимента

1	Тест	Время начала движения	Время достижения выхода фронтом	Длительность движения фронта до выхода: с-б, с	Скорость свободного движения $V_0: 9/d$, м/с	Количество человек в эксперименте
2	a	B	c	d	e	f
3	4-1/11	01:3,34	01:10,47	6,83	1,32	12=6+6
4	5-1/13	01:15,809	01:22,782	6,973	1,29	12= (5+1 M4) + (5

						+1 на костылях)
5	6-1/14	01:32,525	01:39	6,475	1,38	24=12+12
6	7-1/16	01:47,6	01:54,481	6,881	1,31	24= (11+1 М4) + (11 +1 на костылях)
7	8-1/17	02:07,026	02:14,2	7,174	1,25	35=17+18

Скорость свободного движения вычисляется из отношения времени достижения фронтом потока с участка 2 выхода области эксперимента (столбец **d** в таблице 2.1) и длины пути, который проходит фронт с участка 2 – $2\text{м}+2\text{м}+5\text{м}=9\text{м}$. Была принята оценка средней скорости свободного движения по всем экспериментам 1,31 м/с (78,6 м/мин).

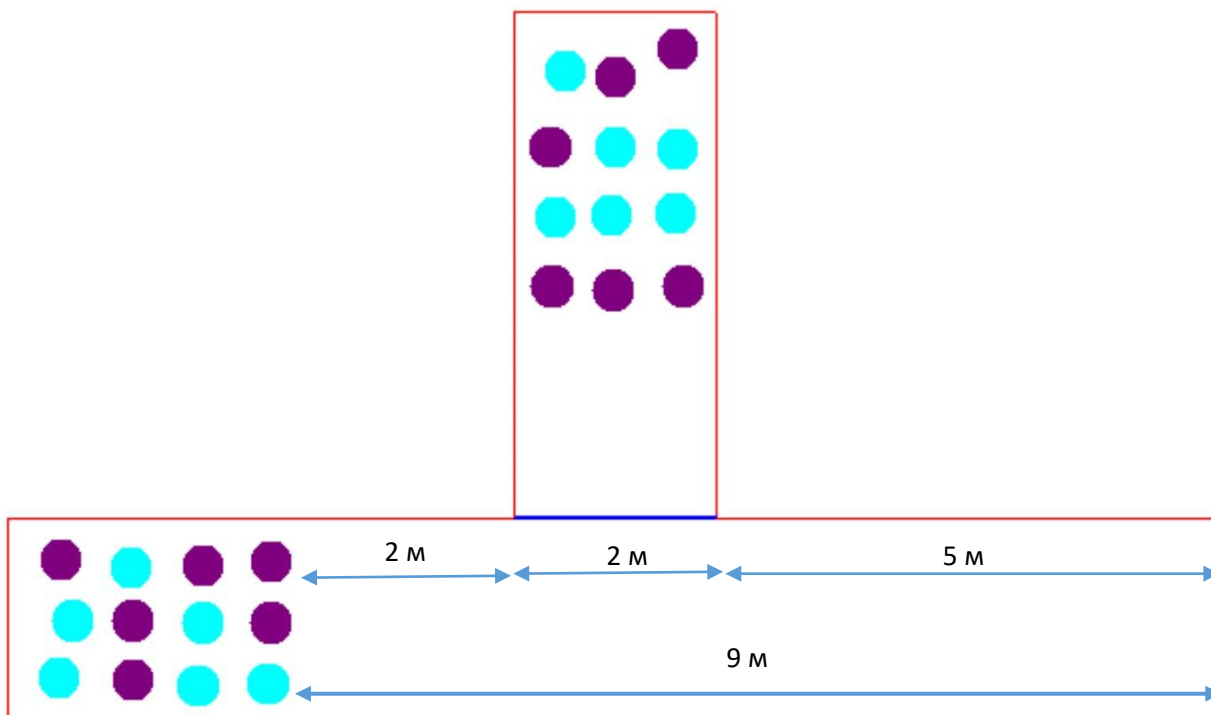


Рисунок 2.1. Слияние людских потоков. Пример геометрии.

Были взяты следующие начальные данные для моделирования движения при слиянии людских потоков:

- Скорость свободного движения – 1,3 м/с (1,66 м/с). Для М4 – 1 м/с, с костылями – 1,16 м/с (М3);
- Площадь проекции – $0,125\text{ м}^2$, площадь проекции человека на костылях – $0,3\text{ м}^2$, площадь проекции человека на коляске – $0,96\text{ м}^2$,
- Начальное расположение людей в области как на рисунке 2.1. Начальное расположение людей в области приближено к экспериментам, где возможно определить по видео.

Таблица 2.2. Слияние людских потоков. Результаты моделирования, один эксперимент. Время выхода. Скорость свободного движения – 1,3 м/с, для М4 – 1 м/с, с костылями – 1,16 м/с (М3)

Тест	Эксперимент, с	Моделирование, с	Отклонение: $(c-b)/c, \%$	Вывод
a	b	c	d	e
4-1/11	10,00	11,25	11,11	+
5-1/13	13,70	16,75	18,21	+
6-1/14	12,60	16,5	23,64	+
7-1/16	13,60	17,5	22,29	+

8-1/17	14,90	22,25	33,03	+
--------	-------	-------	-------	---

Таблица 2.3. Слияние людских потоков. Результаты моделирования, один эксперимент. Время выхода. Скорость свободного движения – 1,66 м/с, для человека на коляске – 1 м/с (М4), с костылями – 1,16 м/с (М3)

Тест	Эксперимент, с	Моделирование, с	Отклонение: (с-б)/с, %	Вывод
a	b	c	d	e
4-1/11	10,00	9,5	-5,26	ЗАНИЖАЕТ
5-1/13	13,70	13	-5,38	ЗАНИЖАЕТ
6-1/14	12,60	13	3,08	+
7-1/16	13,60	16,75	18,81	+
8-1/17	14,90	18	17,22	+

Таким образом, вычислительный эксперимент, проведенный при близких скоростях к данным натурального эксперимента (Таблица 2.2), и начальной расстановке людей, приближенной к натурному эксперименту, во всех случаях дает завышенное время в сравнении с временами соответствующих натуральных тестов.

В случае, когда скорость свободного движения принималась завышенной относительно натурального эксперимента, были получены результаты как занижающие, так и превышающие данные эксперимента, Таблица 2.3.

Часть 3. Движение через дверной проём

Для оценки скорости свободного движения в серии экспериментов с движением через дверной проем использовались время движения в тесте 9-1/26 и длина пути = 2 метра (из расположения людей в тесте 9-1/26 в момент 02:25,011 из записи видео эксперимента). Оценка скорости свободного движения - $2/3,11=0,64$, м/с (38,58 м/мин.)

С помощью других тестов из этой серии оценить скорость свободного движения не представлялось возможным.

Были взяты следующие начальные данные для моделирования движения через проём:

- скорость свободного движения – 0,73 м/с;
- площадь проекции различная для последних трех экспериментов. Изначально площадь проекции принята 0,125 м², но при такой площади на участок 4 м² не поместится заявленное в эксперименте количество человек (т.к. в программе человек рассматривается как несжимаемый диск):

Таблица 3.1. Движение через проём. Значение площади проекции в тестах

Тест	Площадь проекции, м ²	Плотность, м ² /м ²	Количество человек в эксперименте
a	b	c	d
9-1/26	0,125	0,125	4
10-1/27	0,125	0,25	8
11-1/28	0,125	0,375	12

12-1/29	0,125	0,5	16
13-1/30	0,125	0,625	20
14-1/31	0,1	0,65	26
15-1/32	0,09	0,6975	31
16-1/33	0,085	0,74375	35

- Начальное расположение людей в области приближено к экспериментам, в тестах 13-16 люди стоят максимально плотно.

Таблица 3.2. Движение через проём. Результаты моделирования, один эксперимент. Время выхода. Скорость свободного движения – 0,73 м/с

Тест	Эксперимент, с	Моделирование, с	Отклонение: $(c-b)/c$, %	Вывод
a	b	c	d	e
9-1/26	3,11	2,5	-24,4	ЗАНИЖАЕТ
10-1/27	3,33	5,5	39,45	+
11-1/28	4,77	7,5	36,4	+
12-1/29	5,8	6,5	10,77	+
13-1/30	7,29	13	43,92	+
14-1/31	9,34	14,25	34,465	+
15-1/32	12,67	15,25	16,92	+
16-1/33	13,71	19,5	29,69	+

Таким образом, вычислительный эксперимент, проведенный при близких скоростях к данным натурального эксперимента, и начальной расстановке людей, приближенной к натуральному эксперименту, преимущественно дает завышенное время в сравнении с временами соответствующих натуральных тестов. Исключение составляет Тест 9-1/26, который наиболее чувствителен к исходным данным.

Старший научный сотрудник ИВМ СО РАН

к.ф.-м.н.

Кирик Екатерина Сергеевна

kirik@icm.krasn.ru