

**3521-40-ТР-1**

# **СИТИС: Флоутек 4.00**

**Техническое руководство**

Реакция 1

12.10.2016

## **Аннотация**

Данный документ является техническим руководством программы «СИТИС: Флоутек 4.00». В документе приведены основные математические зависимости программы, границы возможного применения модели, данные о валидации и верификации модели.

## **Версии программного обеспечения**

Данное техническое руководство применимо к версиям программы «СИТИС: Флоутек ВД», начиная с «СИТИС: Флоутек 4.00».

## **Ключевые слова**

упрощенно-аналитическая модель, имитационно-стохастическая модель, эвакуация, технический регламент, пожарная безопасность, сценарий эвакуации, СИТИС: Флоутек ВД

## Сведения о разработчиках

Грачев В.Ю., директор ООО «Грачев и Партнеры»

Зверев В.В., программист ООО «СИТИС»

Карпова О.В., аналитик ООО «СИТИС»

Карькин И.Н., к.ф.-м.н., директор ООО «СИТИС»

Контарь Н.А., инженер ООО «СИТИС»

## Авторское право

© ООО «СИТИС», 2016 г.

ООО «СИТИС» предоставляет право бесплатных печати, копирования, тиражирования и распространения этого документа в сети Интернет и локальных и корпоративных сетях обмена электронной информацией. Не допускается взимание платы за предоставление доступа к этому документу, за его копирование и распечатывание. Не разрешается публикация этого документа любым другим способом без письменного согласия ООО «СИТИС».

## Оглавление

1. Термины и определения.....	5
2. Обозначения.....	7
3. Описание программы «СИТИС: Флоутек».....	8
4. Упрощенно-аналитическая модель движения.....	9
4.1. Общие расчетные формулы.....	9
4.2. Время задержки при образовании скопления.....	10
4.3. Соотношение между скоростью движения и плотностью потока.....	10
4.4. Расчет слияния потоков.....	11
4.5. Группы мобильности.....	12
4.6. Расчет времени движения по наклонному пути.....	12
4.7. Движение в проемах.....	13
4.8. Взаимодействие потоков с различным временем начала эвакуации.....	13
5. Имитационно-стохастическая модель движения.....	15
5.1. Общие расчетные формулы.....	15
5.2. Расчет скорости движения.....	16
5.3. Расчет слияния потоков.....	18
5.4. Группы мобильности.....	18
5.5. Расчет времени движения по наклонному пути.....	19
5.6. Движение в проемах.....	19
5.7. Взаимодействие потоков с различным временем начала эвакуации.....	20
5.8. Предельная плотность потока.....	21
6. Область применения модели.....	22
7. Существенные параметры модели.....	23
7.1. Геометрия.....	23
7.2. Параметры людей.....	23
7.3. Время начала эвакуации.....	23
7.4. Длина участка пути в имитационно-стохастической модели движения.....	23
8. Точность модели.....	24
9. Требования к ресурсам.....	25
10. Обзор сведений о валидации модели.....	26
11. Обзор основных методов верификации расчетов.....	27
12. Список литературы.....	28

## 1. Термины и определения

- 1.1. **валидация** — документированное доказательство достоверности метода [3]
- 1.2. **верификация** — документированное доказательство достоверности полученного результата [3]
- 1.3. **допустимый пожарный риск** — пожарный риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из социально-экономических условий [1]
- 1.4. **индивидуальный пожарный риск** — пожарный риск, который может привести к гибели человека в результате воздействия опасных факторов пожара [1]
- 1.5. **качественный анализ** — выявление тенденций и закономерностей на основе обобщения существующей практики
- 1.6. **количественный анализ** — определение численных характеристик процессов и объектов, расчет
- 1.7. **концептуальная модель** — абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования
- 1.8. **математическая модель** — упрощенное отображение зависимостей и закономерностей реальных объектов и явлений в математической форме
- 1.9. **Методика** — «Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, строениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности», утвержденная приказом МЧС №382 от 30.06.09 г. [2], с учетом изменений, вносимых в методику приказом МЧС России №749 от 12.12.2011, №632 от 02.12.15 [9].
- 1.10. **модель** — упрощенное отображение зависимостей и закономерностей реальных объектов и явлений в форме, удобной для решения определенных задач
- 1.11. **объект защиты** — продукция, в том числе имущество граждан или юридических лиц, государственное или муниципальное имущество (включая объекты, расположенные на территориях поселений, а также здания, сооружения, строения, транспортные средства, технологические установки, оборудование, агрегаты, изделия и иное имущество), к которой установлены или должны быть установлены требования пожарной безопасности для предотвращения пожара и защиты людей при пожаре [1]
- 1.12. **пожарный риск** — мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей [1]
- 1.13. **расчетная точка** — точка в здании, которая используется для указания в сценарии, что для нее следует получить результаты расчета в расчетной программе. В расчетной точке выполняется сравнение времени эвакуации и времени блокирования [4]
- 1.14. **расчетная программа** — программа, входящая в комплекс программ СИТИС для расчета пожарного риска и позволяющая рассчитать время эвакуации или время блокирования эвакуационных путей ОФП [3]
- 1.15. **расчетный сценарий эвакуации** — набор данных, описывающий входные параметры для моделирования эвакуации в данном здании. Создается в расчетной программе [3]
- 1.16. **система противопожарной защиты** — комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия ОФП и (или) ограничение последствий воздействия ОФП на объект защиты (продукцию) [1]
- 1.17. **система предотвращения пожара** — комплекс организационных мероприятий и технических средств, исключающих возможность возникновения пожара на объекте защиты [1]
- 1.18. **система противопожарной защиты** — комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на защиту людей и имущества от воздействия ОФП и (или) ограничение последствий воздействия ОФП на объект защиты (продукцию) [1]

- 1.19. **сценарий пожара** — набор данных, описывающий случай пожара в данном здании и позволяющий полностью рассчитать величину пожарного риска; включает в себя:
- вероятность возникновения пожара
  - вероятность присутствия людей в здании
  - вероятность эффективной работы различных технических систем
  - один расчетный сценарий эвакуации
  - один расчетный сценарий ОФП [2,9]
- 1.20. **эвакуационный выход** — выход, ведущий на путь эвакуации, непосредственно наружу или в безопасную зону [1]
- 1.21. **эвакуационный путь (путь эвакуации)** — путь движения и (или) перемещения людей, ведущий непосредственно наружу или в безопасную зону, удовлетворяющий требованиям безопасной эвакуации людей при пожаре [1]
- 1.22. **эвакуация** — процесс организованного самостоятельного движения людей непосредственно наружу или в безопасную зону из помещений, в которых имеется возможность воздействия на людей ОФП [1]

## 2. Обозначения

2.1.	$t_i$	время движения людского потока на $i$ -ом участке, мин
2.2.	$\tau$	время задержки, мин
2.3.	$\Delta t$	шаг моделирования, мин
2.4.	$t_{ск}$	время скоплений, мин
2.5.	$D_i$	плотность людского потока на $i$ -ом участке пути, $м^2$
2.6.	$D_i^{t_0}$	плотность людского потока на $i$ -ом участке пути в момент времени $t_0$ , $м^2/м^2$
2.7.	$V_i$	скорость движения людского потока на $i$ -ом участке, м/мин
2.8.	$V_0$	скорость свободного движения людей в потоке, м/мин
2.9.	$N_i$	количество человек на $i$ -ом участке, чел
2.10.	$N_i^{t_0}$	количество человек в момент времени $t_0$ на участке $i$ , чел
2.11.	$f$	средняя площадь горизонтальной проекции человека, $м^2$
2.12.	$q_i$	интенсивность движения людского потока по $i$ -ому участку пути, м/мин
2.13.	$\Delta l$	длина участка, м
2.14.	$l_i$	длина $i$ -ого участка, м
2.15.	$b_i$	ширина $i$ -ого участка, м

### 3. Описание программы «СИТИС: Флоутек»

- 3.1.1. Программа «СИТИС: Флоутек» выполняет расчет времени эвакуации в соответствии с Приложением №2 «Упрощенная аналитическая модель движения людского потока» и Приложением №4 «Имитационно-стохастическая модель движения людских потоков» к методике, утвержденной приказом МЧС России №382 от 30.06.2009., с учетом изменений, вносимых в методику приказом МЧС России №749 от 12.12.2011, №632 от 02.12.15 [2,9].



## 4. Упрощенно-аналитическая модель движения

### 4.1. Общие расчетные формулы

4.1.1. При расчете весь путь движения людского потока разделяется на участки длиной  $l_i$  и шириной  $b_i$ .

4.1.2. Для каждого отдельного помещения соотношение площади проемов между помещениями и проемов (дымоприемных устройств) естественной вентиляции к объему помещения не должно превышать  $2 \text{ м}^2/\text{м}^3$ . Для больших значений зависимость движения воздуха и дыма через отверстия может не соответствовать предпосылкам зонной модели.

4.1.3. Расчетное время эвакуации людей  $t_p$  определяется как сумма времени движения людского потока по отдельным участкам пути  $t_i$  по формуле:

$$4.1.4. \quad t_p = \sum t_i \quad (1)$$

4.1.5. Время движения людского потока по участку пути  $t_i$  равно:

$$4.1.6. \quad t_i = \frac{l_i}{V_i} \quad (2)$$

4.1.7. Плотность людского потока  $D_i$  на первом участке пути, вычисляется по формуле:

$$4.1.8. \quad D_i = \frac{N_i f}{l_i b_i}, \quad (3)$$

4.1.9. Скорость  $V_i$  движения людского потока принимается по таблице в п. 4.3. в зависимости от значения интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути.

4.1.10. Интенсивность вычисляется для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$4.1.11. \quad q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (4)$$

4.1.12. где  $b_i, b_{i-1}$  — ширина рассматриваемого  $i$ -ого и предшествующего ему участка пути;

4.1.13.  $q_i, q_{i-1}$  — значения интенсивности движения людского потока по рассматриваемому  $i$ -ому и предшествующему участкам пути.

4.1.14. Значение интенсивности движения людского потока на первом участке пути  $q_i$  определяется по таблице в п. 4.3. по значению  $D_i$ , установленному по формуле (3) в п. 4.1.8.

4.1.15. Если интенсивность движения людского потока по участку пути превышает максимальное значение  $q_i < q_{max}$ , то интенсивность и скорость движения по участку определяется по таблице в п. 4.3. при значении  $D = 0,9$  и более. При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

4.1.16. Максимальное значения  $q_{max}$  принимается равным,  $\text{м/мин}$ :

4.1.17.	для горизонтальных путей	16,5
4.1.18.	для дверных проемов	19,6
4.1.19.	для лестницы вниз	16

4.1.20.

для лестницы вверх

11

#### 4.2. Время задержки при образовании скопления

4.2.1. При образовании скоплений людей и задержек движения потока по участкам коммуникационного пути общая длительность движения складывается из времени, затрачиваемого на собственно движение по участкам пути и на задержки.

$$4.2.2. \quad t_i = \frac{l_i}{V_i} + \tau \quad (5)$$

4.2.3. Время задержки  $\tau$  представляет собой разность между временем прохождения потока через сечения смежных участков пути и составляет:

$$4.2.4. \quad \tau = Nf \left( \frac{1}{q_{D_{\max}} b_i} - \frac{1}{q_{i-1} b_{i-1}} \right), \quad (6)$$

4.2.5. где  $q_{D_{\max}}$  — интенсивность движения через участок при максимальной плотности людского потока.

4.2.6. Время существования скопления  $t_{ск}$  на участке  $i$  определяется по формуле:

$$4.2.7. \quad t_{ск} = \frac{N \cdot f}{q_{\text{при}D=0,9} \cdot b_{i+1}}. \quad (7)$$

#### 4.3. Соотношение между скоростью движения и плотностью потока

4.3.1. Данная таблица описывает зависимость интенсивности и скорости движения людского потока от плотности потока для различных типов пути.

Плотность потока $D$ , $\text{м}^2/\text{мин}^2$	Горизонтальный путь		Дверной проем интенсивность $q$ , $\text{м}/\text{мин}$	Лестница вниз		Лестница вверх	
	Скорость $v$ , $\text{м}/\text{мин}$	Интенсивность $q$ , $\text{м}/\text{мин}$		Скорость $v$ , $\text{м}/\text{мин}$	Интенсивность $q$ , $\text{м}/\text{мин}$	Скорость $v$ , $\text{м}/\text{мин}$	Интенсивность $q$ , $\text{м}/\text{мин}$
4.3.2. 0,01	100	1	1	100	1	60	0,6
4.3.3. 0,05	100	5	5	100	5	60	3
4.3.4. 0,1	80	8	8,7	95	9,5	53	5,3
4.3.5. 0,2	60	12	13,4	68	13,6	40	8
4.3.6. 0,3	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
4.3.7. 0,4	40	16	18,4	40	16	26	10,4
4.3.8. 0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11

4.3.9.	0,6	27	16,2	19	24	14,4	18	10,6
4.3.10.	0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
4.3.11.	0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
4.3.12.	0,9 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9

4.3.13. **Примечание:** табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более равно 8,5 м/мин установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более. Если ширина дверного проема меньше, интенсивность движения вычисляется по формуле  $q = 2,5 + 3,7b$ .

#### 4.4. Расчет слияния потоков

4.4.1. При слиянии двух и более людских потоков в начале участка  $i$  интенсивность движения вычисляют по формуле:

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (9)$$

4.4.2.

4.4.3. где  $q_{i-1}$  — интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка  $i$ ;

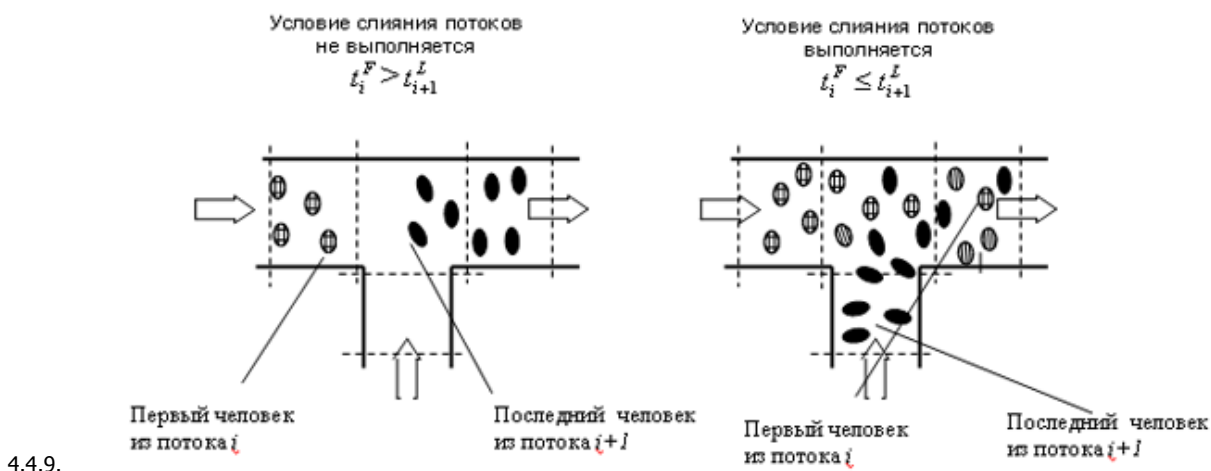
4.4.4.  $b_{i-1}$  — ширина участков пути слияния;

4.4.5.  $b_i$  — ширина рассматриваемого участка пути.

4.4.6. На каждом участке для потоков рассчитывается два параметра — время подхода фронтальной части потока и время окончания движения по участку замыкающей части потока.

4.4.7. Слияние людских потоков происходит при выполнении условия: первый человек из потока  $i$  должен подойти к месту слияния до того, как последний человек из потока  $i+1$  пройдет место слияния потоков, то есть

$$t_i^F \leq t_{i+1}^L \quad (10)$$



4.4.10. Начиная с версии «СИТИС: Флоутек 2.15» при анализе возможности слияния потоков дополнительно учитывается величина скопления на общем участке. То есть, если на участке образовалось

скопление, за время подхода следующего потока принимается время, когда первый человек из него достигнет последнего человека, стоящего в скоплении (а не границы участка).

- 4.4.11. Если условие слияния потоков выполняется и потоки состоят из людей одной группы мобильности, на всех последующих участках эти потоки рассматриваются как единый суммарный поток.
- 4.4.12. Если потоки состоят из людей разной группы мобильности, на участке рассчитывается суммарная плотность, и по рассчитанному значению плотности для каждого потока определяются параметры движения.

#### 4.5. Группы мобильности

- 4.5.1. Расчетные значения скорости и интенсивности движения потоков людей с различными группами мобильности определяются по формулам:

4.5.2. 
$$V_{D,j} = V_{0,j} \left( 1 - a_j \ln \frac{D}{D_{0,j}} \right), \quad \text{при } D > D_{0,j} \quad (11)$$

4.5.3. 
$$q_{D,j} = V_{D,j} D, \quad (12)$$

- 4.5.4. где  $V_{D,j}$  и  $q_{D,j}$  — скорость и интенсивность движения людей в потоке по  $j$ -ому виду пути при плотности потока  $D_j$ ;

- 4.5.5.  $D$  — плотность людского потока на участке эвакуационного пути,  $m^2/m^2$ ;

- 4.5.6.  $D_{0,j}$  — значение плотности людского потока на  $j$ -ом виде пути, при достижении которого плотность потока начинает оказывать влияние на скорость движения людей в потоке;

- 4.5.7.  $V_{0,j}$  — среднее значение скорости свободного движения людей по  $j$ -ому виду пути при значениях плотности потока  $D > D_{0,j}$ ;

- 4.5.8.  $a_j$  — коэффициент, отражающий степень влияния плотности людского потока на его скорость при движении по  $j$ -ому виду пути.

- 4.5.9. При движении потоки различных групп мобильности не смешиваются между собой. Влияние потоков друг на друга оказывается за счет влияния плотности суммарного потока на скорость движения людей.

- 4.5.10. Значения  $D_{0,j}$ ,  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  для потоков людей различных групп мобильности приведены в таблицах П2.1, П5.2, П5.7, П5.8 Методики и в таблице В.2 СП 59.13330.2012.

- 4.5.11. Пользователь может самостоятельно задать файл со значениями  $D_{0,j}$ ,  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  см. руководство пользователя п.9 Создание файлов пользовательских параметров движения потока.

- 4.5.12. В составе программы содержится база данных площадей горизонтальной проекции людей в соответствии с таблицами П5.3, П5.4 и п.6 раздела 2 Приложения N 5 к пунктам 10, 11 «Методики и в таблице В.1 СП 59.13330.2012.

- 4.5.13. Пользователь может самостоятельно задать файл со значениями площадей горизонтальной проекции см. руководство пользователя п.8 Создание пользовательский площадей проекции.

#### 4.6. Расчет времени движения по наклонному пути

- 4.6.1. Наклонный участок пути эвакуации в программе задается с помощью объекта «Рампа». Также наклонным участком является марш лестницы.

- 4.6.2. Длина наклонного пути рассчитывается по формуле:

$$4.6.3. \quad l_{\text{п}} = \frac{h_p}{\sin \alpha}, \quad (13)$$

4.6.4. где  $h_p$  — высота наклонного участка (перепад высот);

4.6.5.  $\alpha$  — угол наклона участка.

4.6.6. В случае, если наклон участка незначителен (меньше 1:8), параметры движения потока по данному участку рассчитываются аналогично горизонтальным участкам пути.

4.6.7. Наклонный участок пути, заданный объектом «Рампа», может иметь два типа пути: лестница или пандус. От этого зависят параметры движения (см. п. 4.5.).

#### 4.7. Движение в проемах

4.7.1. Пути движения в пределах здания обычно пересекаются дверными проемами, декоративными порталами, имеют сужения за счет различных архитектурных или технологических элементов, выступающих из плоскости ограждений. Такие местные сужения независимо от их характера моделируются проемами шириной  $b$ .

4.7.2. Длина пути  $l$  в проеме может не учитываться, если она не превышает 0,7 м, то есть длины одного шага, в противном случае движение в проеме следует рассматривать, как движение на самостоятельном расчетном участке горизонтального пути.

#### 4.8. Взаимодействие потоков с различным временем начала эвакуации

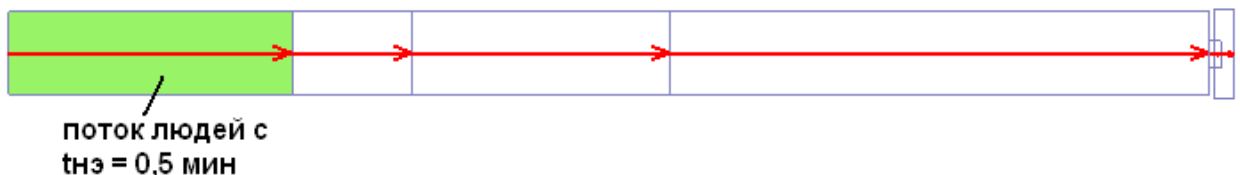
4.8.1. В некоторых ситуациях людской поток с меньшим значением времени начала эвакуации проходит через еще не начавший движение поток с большим значением времени начала эвакуации (например, люди из помещения очага пожара эвакуируются через смежное помещение). В упрощенно-аналитической и имитационно-стохастической моделях, реализованных в программе «СИТИС: Флоутек», взаимодействие таких потоков различно.

4.8.2. В упрощенно-аналитической модели люди «появляются» в объектах топологии в момент начала движения. Соответственно, взаимодействие между потоками людей с различным временем начала эвакуации не происходит.

##### 4.8.3. Пример:

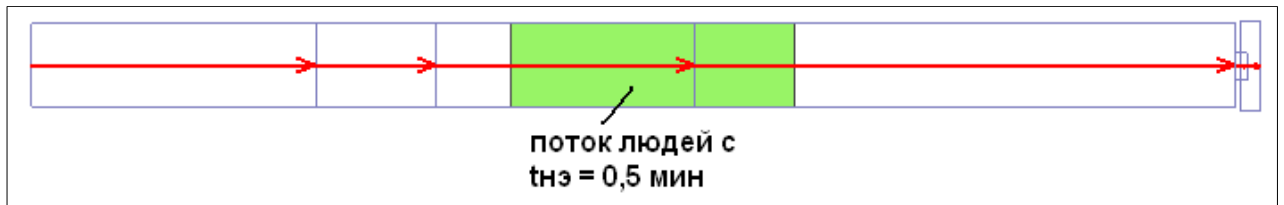
4.8.4. Пусть в коридоре\_01 находятся люди с временем начала эвакуации 0,5 минут, а в коридоре\_02 — люди с временем начала эвакуации 1,5 минуты.

4.8.5. Время: 0,5 минут  
Поток людей с временем начала эвакуации 0,5 мин «появляется» в модели и начинает движение.



4.8.6. Время: 1 минута  
Поток людей с временем начала эвакуации 0,5 мин проходит через место расположения потока людей с временем начала эвакуации 1,5 мин.

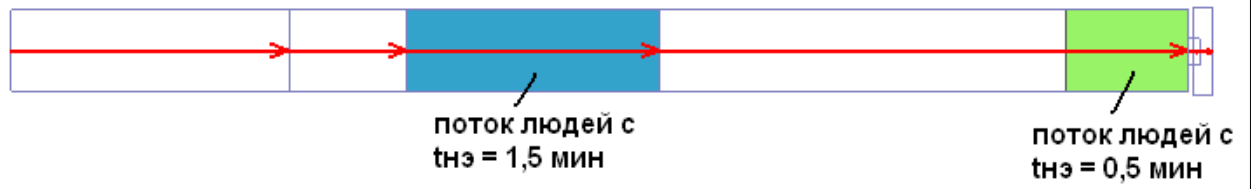
Поток людей с временем начала эвакуации 1,5 мин в модели пока отсутствует и не оказывает влияния на движение потока с временем начала эвакуации 0,5 мин.



4.8.7.

Время: 1,5 минуты

Поток людей с временем начала эвакуации 1,5 мин «появляется» в модели и начинает движение. Поток людей с временем начала эвакуации 0,5 мин продолжает движение.



## 5. Имитационно-стохастическая модель движения

### 5.1. Общие расчетные формулы

5.1.1. Устанавливается шаг моделирования — интервал  $\Delta t$ .

5.1.2. Весь путь движения людского потока разделяется на участки длиной  $\Delta l$  и шириной  $b_i$ . Длину элементарного участка необходимо устанавливать таким образом, чтобы исключить «проскакивание» даже самых быстро идущих людей через элементарный участок на очередном шаге времени моделирования:

$$5.1.3. \quad \Delta l \geq V_0 \Delta t \quad (14)$$

5.1.4. В начальный момент  $t_0$  на каждом элементарном участке, занимаемом потоком, плотность потока составляет:

$$5.1.5. \quad D_i^{t_0} = \frac{N_i^{t_0} f}{b_i \cdot \Delta l_i} \quad (15)$$

5.1.6. При любом возможном значении  $V_i$  люди в количестве  $N_i$ , находящиеся на  $i$ -ом элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок  $i+1$ . На участок  $i$  свою очередь переходит часть людей с предыдущего ( $i-1$ )-го элементарного участка.

5.1.7. За интервал времени  $\Delta t$  на участок  $i+1$  перейдет количество людей, равное:

$$5.1.8. \quad N_{i,i+1} = \frac{N_i V_{nep}}{\Delta l} \Delta t, \quad (16)$$

5.1.9. где  $N_i$  — количество людей на  $i$ -ом участке;

5.1.10.  $V_{nep}$  — скорость перехода через границы смежных элементарных участков, м/мин:

$$5.1.11. \quad V_{nep} = \begin{cases} V_i^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} \leq D \text{ при } \max V_{Dik} \cdot D = q_{\max} \\ V_{i+1}^{t_0}, & \text{если } D_{i+1}^{t_0} > D \text{ при } \max V_{Dik} \cdot D = q_{\max} \end{cases} \quad (18)$$

5.1.12. где  $\Delta l_i$  — длина участка  $i$ , м;

5.1.13.  $\Delta t$  — шаг моделирования, мин.

5.1.14. Следует учитывать, что в тот момент времени  $t_0$ , когда плотность потока на участке  $i$  достигла максимальной величины  $D_{\max}$ , на этот участок не может прийти ни один человек ни с предшествующего участка, ни из источника. В следующий момент времени  $t_{n+1}$  часть людей с участка  $i$  переходит на участок  $i+1$ , плотность людского потока на нем уменьшится и часть скопившихся перед его границей людей сможет перейти на него.

5.1.15. Количество людей на участке в момент времени  $t_0 + \Delta t$  составляет:

$$5.1.16. \quad N_i^{t_0 + \Delta t} = N_i^{t_0} - N_{i,i+1}^{\Delta t} + N_{i-1,i}^{\Delta t}, \quad (19)$$

5.1.17. где  $N_i^{t_0 + \Delta t}$  — количество людей на участке в момент времени  $t_0 + \Delta t$ ;

- 5.1.18.  $N_i^{t_0}$  — количество людей, находящихся на участке до совершения перехода;
- 5.1.19.  $N_{i, i+1}^{\Delta t}$  — количество людей, перешедших с участка  $i$  на участок  $i+1$  за время  $\Delta t$ ;
- 5.1.20.  $N_{i-1, i}^{\Delta t}$  — количество людей, перешедших с участка  $i-1$  на участок  $i$  за время  $\Delta t$ .
- 5.1.21. После окончания каждого шага моделирования производится перерасчет плотности потока на каждом участке. Расчет прекращается, когда суммарное количество людей на всех участках станет равно нулю.

## 5.2. Расчет скорости движения

- 5.2.1. В программе «СИТИС: Флоутек» реализовано два метода расчета скорости движения потока в зависимости от плотности: детерминированный и вероятностный.

### 5.2.2. Детерминированный.

- 5.2.3. Каждому значению плотности соответствует фиксированное значение скорости, вычисляемое по формуле:

$$V_{D.K} = V_{0,K} \left( 1 - a_k \ln \left( \frac{D_i}{D_{0,K}} \right) \right) m, \quad \text{при } D_i > D_{0,K} \quad (19)$$

$$V_{D.K} = V_{0,K}, \quad \text{при } D_i \leq D_{0,K}$$

- 5.2.5. где  $V_{0,k}$  — скорость свободного движения людей в потоке (при  $D_i \leq D_{0,k}$ );
- 5.2.6.  $D_{0,k}$  — предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по  $k$ -ому виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);
- 5.2.7.  $a_k$  — коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по  $k$ -ому виду пути;
- 5.2.8.  $D_i$  — значение плотности людского потока на  $i$ -ом отрезке ( $\Delta l$ ) участка пути шириной  $b_i$ ,  $m^2/m^2$ ;
- 5.2.9.  $m$  — коэффициент влияния проема.
- 5.2.10. Скорость свободного движения людей в потоке принимается 100 м/мин при движении по горизонтальным путям, через проемы и по лестнице вниз, 60 м/мин при движении по лестнице вверх.

### 5.2.11. Вероятностный.

- 5.2.12. Вероятностный метод допускает два способа вычисления скорости движения потока  $V_D$  при плотности  $D_i$  на  $i$ -ом отрезке участка пути  $k$ -ого:
- 5.2.13. — варьировать скорость свободного движения  $V_0$  и, исходя из этого значения, вычислять скорость движения потока  $V_D$ ;
- 5.2.14. — варьировать скорость движения потока  $V_D$  при плотности  $D_i$ .
- 5.2.15. В первом случае независимой случайной величиной является скорость свободного движения  $V_0$ . Она распределяется по нормальному закону, при этом математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение берутся из таблицы в п.5.2.28. для соответствующего вида пути.
- 5.2.16.  $V_D$  рассчитывается по формуле:



$$5.2.17. \quad V_D = V_0 \left( 1 - a \ln \left( \frac{D_i}{D_0} \right) \right) m, \quad \text{при } D_i > D_0$$

$$V_D = V_0, \quad \text{при } D_i \leq D_0$$
(20)

где  $V_0$  — случайная величина.

5.2.18. Во втором случае независимой случайной величиной является скорость движения  $V_D$  при плотности  $D_i$ .

5.2.19. Математическое ожидание рассчитывается по формуле:

$$5.2.20. \quad V_D = V_0 \left( 1 - a \ln \left( \frac{D_i}{D_0} \right) \right) m, \quad \text{при } D_i > D_0$$

$$V_D = V_0, \quad \text{при } D_i \leq D_0$$
(21)

5.2.21. Среднее квадратичное отклонение рассчитывается по формуле:

$$5.2.22. \quad \sigma(V_D) = \sigma(V_0) \left( 1 - a \ln D_i / D_0 \right),$$
(22)

5.2.23. где значения  $V_0$ ,  $\sigma(V_0)$ ,  $D_0$ ,  $a_k$ ,  $m$  берутся из таблицы в п.5.2.28. для соответствующего вида пути.

5.2.24. Здесь

5.2.25.  $D_0$  — предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по  $k$ -ому виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

5.2.26.  $a_k$  — коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по  $k$ -ому виду пути;

5.2.27.  $D_i$  — значение плотности людского потока на  $i$ -ом отрезке ( $\Delta l$ ) участка пути шириной  $b_i$ ,  $m^2/m^2$ ;  
 $m$  — коэффициент влияния проема.

5.2.28. Значения перечисленных параметров следует принимать по таблице:

Вид пути, $k$	$V_{0,k}$ м/мин	$\sigma(V_{0,k})$ , м/мин	$D_{0,k}$ , $m^2/m^2$	$a_k$	$m$
5.2.29. Горизонтальный в здании	100	5	0,051	0,295	1
5.2.30. Горизонтальный вне здания	100	5	0,070	0,407	1
5.2.31. Проем*	100	5	0,065	0,295	1,25-0,05*D, при $D \geq 0,5$
5.2.32. Лестница вниз	100	5	0,089	0,400	1
5.2.33. Лестница вверх	60	5	0,067	0,305	1

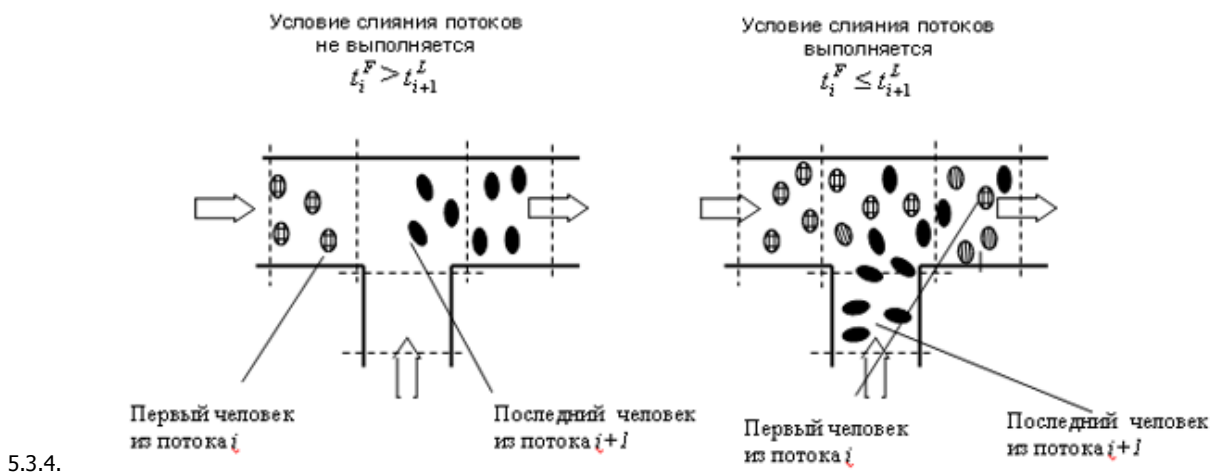
5.2.34. \*При  $D = 0,9 m^2/m^2$  значения  $V_i * D_0 = q_i$ , определяются по формуле:  $q_i = 2,5 + 3,75b_i$ , м/мин.

- 5.2.35. Для вероятностного метода расчета скорости доступно два режима (см. п. 9.2.1 «Настройка параметров алгоритма расчета с использованием имитационно-стохастической модели» руководства пользователя «СИТИС: Флоутек»):
- 5.2.36. – значение варьируемого параметра ( $V_0$  или  $V_D$ ) изменяется каждый раз при обращении к функции расчета скорости, то есть значение скорости выбирается индивидуально для каждого участка на каждом шаге моделирования.
- 5.2.37. – значение варьируемого параметра ( $V_0$  или  $V_D$ ) изменяется с указанным пользователем интервалом времени для всех участков пути.

### 5.3. Расчет слияния потоков

- 5.3.1. На каждом участке для потоков рассчитывается два параметра — время подхода фронтальной части потока и время окончания движения по участку замыкающей части потока.
- 5.3.2. Слияние людских потоков происходит при выполнении условия: первый человек из потока  $i$  должен подойти к месту слияния до того, как последний человек из потока  $i+1$  пройдет место слияния потоков, то есть

$$5.3.3. \quad t_i^F \leq t_{i+1}^L \quad (10)$$



- 5.3.5. Начиная с версии «СИТИС: Флоутек 2.15» при анализе возможности слияния потоков дополнительно учитывается величина скопления на общем участке. То есть, если на участке образовалось скопление, за время подхода следующего потока принимается время, когда первый человек из него достигнет последнего человека, стоящего в скоплении (а не границы участка).
- 5.3.6. Если условие слияния потоков выполняется и потоки состоят из людей одной группы мобильности, на всех последующих участках эти потоки рассматриваются как единый суммарный поток.
- 5.3.7. Если потоки состоят из людей разной группы мобильности, на участке рассчитывается суммарная плотность, и по рассчитанному значению плотности для каждого потока определяются параметры движения.

### 5.4. Группы мобильности

- 5.4.1. Расчетные значения скорости и интенсивности движения потоков людей с различными группами мобильности определяются по формулам:

$$V_{D,j} = V_{0,j} \left( 1 - a_j \ln \frac{D}{D_{0,j}} \right), \quad \text{при } D > D_{0,j} \quad (11)$$

5.4.2.

$$q_{D,j} = V_{D,j} D, \quad (12)$$

5.4.3.

5.4.4. где  $V_{D,j}$  и  $q_{D,j}$  — скорость и интенсивность движения людей в потоке по  $j$ -ому виду пути при плотности потока  $D$ ;

5.4.5.  $D$  — плотность людского потока на участке эвакуационного пути,  $м^2/м^2$ ;

5.4.6.  $D_{0,j}$  — значение плотности людского потока на  $j$ -ом виде пути, при достижении которого плотность потока начинает оказывать влияние на скорость движения людей в потоке;

5.4.7.  $V_{0,j}$  — среднее значение скорости свободного движения людей по  $j$ -ому виду пути при значениях плотности потока  $D > D_{0,j}$ ;

5.4.8.  $a_j$  — коэффициент, отражающий степень влияния плотности людского потока на его скорость при движении по  $j$ -ому виду пути.

5.4.9. При движении потоки различных групп мобильности не смешиваются между собой. Влияние потоков друг на друга оказывается за счет влияния плотности суммарного потока на скорость движения людей.

5.4.10. Значения  $D_{0,j}$ ,  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  для потоков людей различных групп мобильности приведены в таблицах П4.1, П5.6 Методики

5.4.11. Пользователь может самостоятельно задать файл со значениями  $D_{0,j}$ ,  $V_{0,j}$ ,  $a_j$  см. руководство пользователя п.9 Создание файлов пользовательских параметров движения потока.

5.4.12. В составе программы содержится база данных площадей горизонтальной проекции людей в соответствии с таблицами П5.3, П5.4 Методики.

5.4.13. Пользователь может самостоятельно задать файл со значениями площадей горизонтальной проекции см. руководство пользователя п.8 Создание пользовательский площадей проекции.

### 5.5. Расчет времени движения по наклонному пути

5.5.1. Наклонный участок пути эвакуации в программе задается с помощью объекта «Рампа». Также наклонным участком является марш лестницы.

5.5.2. Длина наклонного пути рассчитывается по формуле:

$$l_{\text{п}} = \frac{h_p}{\sin \alpha}, \quad (23)$$

5.5.4. где  $h_p$  — высота наклонного участка (перепад высот);

5.5.5.  $\alpha$  — угол наклона участка.

5.5.6. В случае, если наклон участка незначителен (меньше 1:8), параметры движения потока по данному участку рассчитываются аналогично горизонтальным участкам пути.

5.5.7. Наклонный участок пути, заданный объектом «Рампа», может иметь два типа пути: лестница или пандус. От этого зависят параметры движения (см. п. 4.5.).

### 5.6. Движение в проемах

5.6.1. Пути движения в пределах здания обычно пересекаются дверными проемами, декоративными порталами, имеют сужения за счет различных архитектурных или технологических элементов, высту-

пающих из плоскости ограждений. Такие местные сужения независимо от их характера моделируются проемами шириной  $b$ .

- 5.6.2. Длина пути  $l$  в проеме может не учитываться, если она не превышает 0,7 м, то есть длины одного шага, в противном случае движение в проеме следует рассматривать, как движение на самостоятельном расчетном участке горизонтального пути.

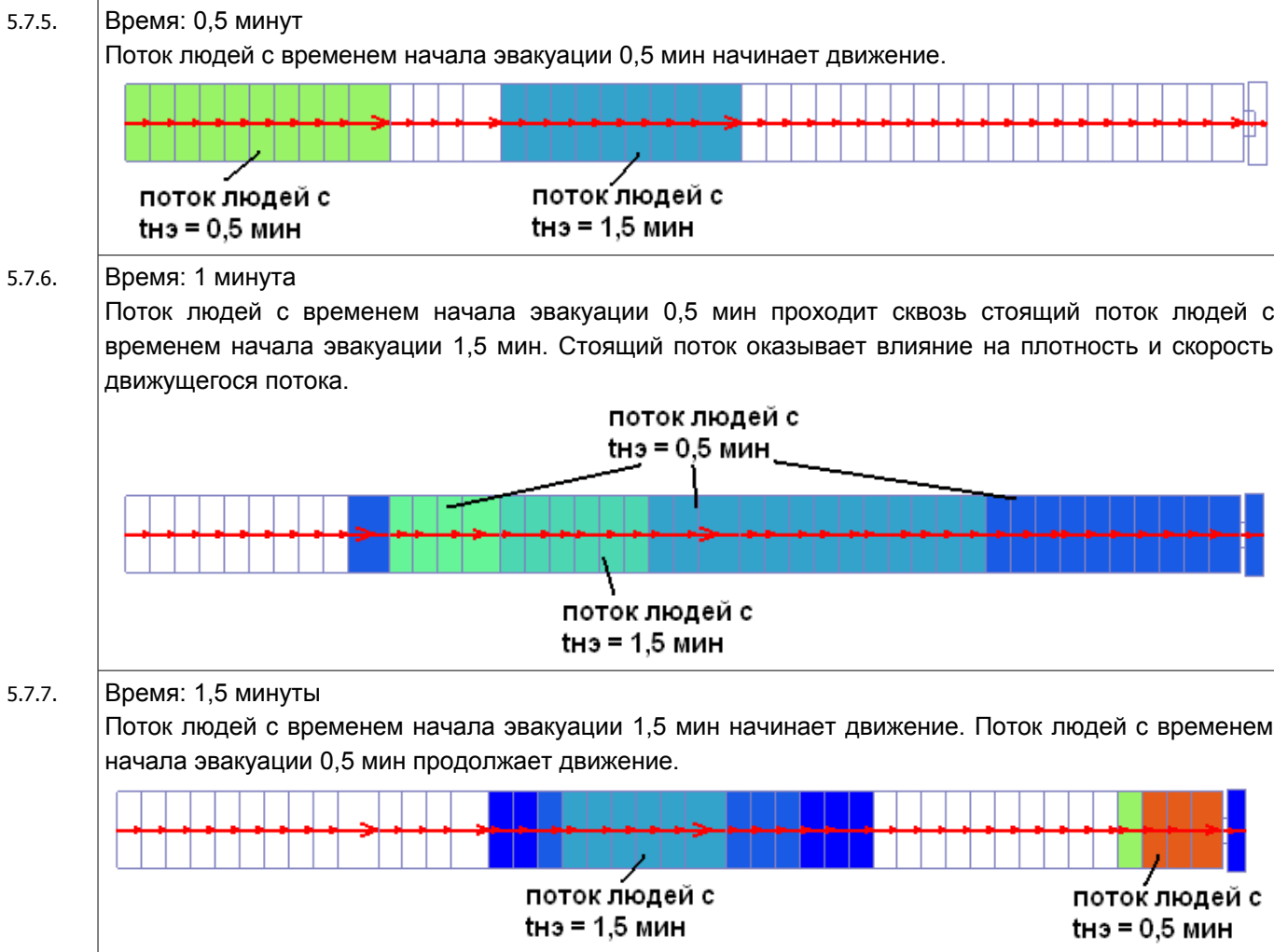
### 5.7. Взаимодействие потоков с различным временем начала эвакуации

- 5.7.1. В некоторых ситуациях людской поток с меньшим значением времени начала эвакуации проходит через еще не начавший движение поток с большим значением времени начала эвакуации (например, люди из помещения очага пожара эвакуируются через смежное помещение). В упрощенно-аналитической и имитационно-стохастической моделях, реализованных в программе «СИТИС: Флоутек ВД», взаимодействие таких потоков различно.

- 5.7.2. В имитационно-стохастической модели движущийся поток людей проходит «сквозь» не начавший движение поток, при этом учитывается влияние плотностей потоков друг на друга (и, соответственно, на скорость движущегося потока).

#### 5.7.3. Пример:

- 5.7.4. Пусть в коридоре\_01 находятся люди с временем начала эвакуации 0,5 минут, а в коридоре\_02 — люди с временем начала эвакуации 1,5 минуты.



## 5.8. Предельная плотность потока

- 5.8.1. Предельная плотность ограничивает максимальную плотность потока (плотность потока при расчете не может превышать заданную плотность). В текущей версии программы предельная плотность  $D_{max}$  не задается.
- 5.8.2. **Важно!** В текущей версии программы контроль за максимально допустимым значением плотности выполняет пользователь при анализе расчета, программа рассчитывает только плотность в расчетных точках. Контролировать плотность потоков можно с помощью графика «Плотность» для расчетной точки на вкладке «Результаты».
- 5.8.3. **Внимание!** До версии программы «СИТИС: Флоутек ВД 2.70», предельная плотность составляла 0,5 для групп мобильности М2, М3, М4 и 0,92 для группы мобильности М1. Результаты старых расчетов могут отличаться.

## 6. Область применения модели

- 6.1. Результаты, получаемые с помощью упрощенно-аналитической или иммитационно-стохастической моделей, могут быть практически значимыми в случаях, когда:
- 6.2. – объект имеет четкую систему эвакуационных путей, которая может быть представлена системой проходов, коридоров и лестниц
- 6.3. – на объекте при рассмотрении расчетной ситуации находится значительное количество людей, которые, начав движения, быстро формируют на путях эвакуации потоки, с достаточной степенью достоверности, описываемые упрощенной аналитической моделью.
- 6.4. Программа «СИТИС: Флоутек » может быть использована:
- 6.5. – для оценки времени эвакуации в жилых, общественных и промышленных зданиях и сооружениях
- 6.6. – для оценки допустимой населенности в жилых, общественных и промышленных зданиях и сооружениях
- 6.7. – для оценки пропускной способности лестниц и выходов
- 6.8. – для анализа планировочных решений.

## 7. Существенные параметры модели

### 7.1. Геометрия

- 7.1.1. Для выполнения расчета рассматриваемые здания и сооружения представляются в виде системы проходов, коридоров и лестниц. В расчете должна учитываться не геометрическая, а расчетная ширина объектов (то есть значительные препятствия на путях эвакуации должны учитываться).
- 7.1.2. Высота помещений, коридоров и проходов не оказывает влияния на расчет. Перепад высот лестничных маршей и наклонных участков пути влияет на длину пути, соответственно, влияет на расчет.
- 7.1.3. Тип пути (горизонтальный, вниз по лестнице, вверх по лестнице, вниз по пандусу, вверх по пандусу) влияет на скорость движения людей. Угол наклона лестницы или пандуса на скорость движения не влияют.

### 7.2. Параметры людей

- 7.2.1. Основными параметрами людского потока являются количество человек, средняя площадь проекции человека и скорость движения.
- 7.2.2. Максимальная скорость определяется группой мобильности человека.
- 7.2.3. В моделях не учитывается эмоциональное и физическое состояние, изменение состояния людей в процессе эвакуации, и другие поведенческие особенности.

### 7.3. Время начала эвакуации

- 7.3.1. Время начала эвакуации — крайне важный параметр. Время начала эвакуации может существенно превышать время движения до эвакуационных выходов.

### 7.4. Длина участка пути в имитационно-стохастической модели движения

- 7.4.1. Длина участков, на которые разделяется путь эвакуации, является существенным параметром имитационно-стохастической модели движения.
- 7.4.2. Если при выполнении верификации расчетов возникают нефизичные результаты (например, при незначительном изменении количества людей или параметров эвакуационных путей время эвакуации резко изменяется), необходимо варьировать длину участка пути, чтобы изменения при верификации стали адекватными.

## 8. Точность модели

- 8.1. Точность модели зависит от её предполагаемого использования. Также она зависит от точности и детальности задания входных данных.
- 8.2. Информация будет добавлена позднее.



## 9. Требования к ресурсам

- 9.1. Для работы программы «СИТИС: Флоутек» необходимы следующие минимальные требования:
- 9.2. – ПК с процессором 1,8 ГГц
- 9.3. – 512 МБ оперативной памяти
- 9.4. – цветной монитор 1024 x 768 пикселей, 16 бит
- 9.5. – операционная система: Microsoft® Windows 2000, Microsoft® Windows XP, Microsoft® Windows Vista или Microsoft® Windows 7.
- 9.6. Расчет сценария может выполняться от нескольких секунд до нескольких минут, в зависимости от сложности и детализации сценария.

## 10. Обзор сведений о валидации модели

- 10.1. **Валидация** — это документированное доказательство достоверности метода. В процессе валидации выполняется сравнение результатов физического эксперимента и результатов моделирования того же процесса, определяется соответствие между физической и математической моделями.
- 10.2. Информация будет добавлена позднее.

## 11. Обзор основных методов верификации расчетов

- 11.1. **Верификация** — это документированное доказательство достоверности результата; проверка его адекватности. Верификация подразделяется на верификацию кода и верификацию вычислений. **Верификация кода** — это проверка того, что расчетная программа адекватно реализует математическую модель. **Верификация вычислений** — проверка адекватности полученных результатов. Если валидация метода и верификация кода могут быть выполнены один раз для расчетной программы, то **верификация вычислений должна выполняться для каждого расчета**.
- 11.2. Верификация вычислений может выполняться следующими способами:
- 11.3. – сопоставление результата вычисления и инженерного суждения, основанного на имеющейся практике создания аналогичных объектов (зданий)
- 11.4. – сопоставление результата вычисления с результатом выполнения оценочного расчета — упрощенного расчета, проведенного по более грубой модели/алгоритму
- 11.5. – проведение анализа чувствительности (определение влияния неопределенности исходных данных на результат расчета)
- 11.6. – сопоставление результата вычисления с результатом уточняющего расчета — расчета, проведенного по более точной модели с использованием уточненных/расширенных исходных данных.

## 12. Список литературы

- 12.1. Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- 12.2. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности. Приложение к приказу МЧС России от 30.06.09 г. № 382.
- 12.3. Грачев В.Ю. Введение в моделирование пожаров для расчета пожарного риска. - Екатеринбург: Издательский дом «Ажур», 2009. — 69 с.
- 12.4. Руководство пользователя «СИТИС: Флоутек ВД»
- 12.5. Холщевников В.В., Самошин Д.А. Эвакуация и поведение людей при пожарах. Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 212 с.
- 12.6. Холщевников В.В., Самошин Д.А., Исаевич И.И. Натурные наблюдения людских потоков. Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. — 191с.
- 12.7. Холщевников В.В. Исследования людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. – М.: МИПБ МВД России, 1999. - 93 с.
- 12.8. NFPA 551. Guide for the Evaluation of Fire Risk Assessments. 2010 Edition.
- 12.9. Изменения, вносимые в методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности, утвержденную приказом МЧС России от 30.06.09 г. № 382. Приложение к приказу МЧС России от 12.12.11 г. № 749, от 02.12.15г. №632.
- 12.10. Милинский А.И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения: Дис... канд. техн. наук. - М., 1951.