

О МОДЕЛИРОВАНИИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ И ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ЦЕЛЯХ НОРМИРОВАНИЯ ЭВАКУАЦИОННЫХ ПУТЕЙ

Изложена методология моделирования процессов эвакуации людей и распространения опасных факторов пожара, используемая при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: моделирование, эвакуация, людской поток, пожар.

V.V. Holchevnikov, A.P. Parfenenko

ABOUT MODELING OF EVACUATION OF PEOPLE AND DYNAMICS OF FIRE HAZARDS IN PURPOSE OF NORMALIZATION EVACUATION ROUTES

Methodology of modeling evacuation of people and the spread of fire hazards is used in regulation of sizes of evacuation routes and exits in the buildings and structures was given.

Key words: modelling, evacuation, flow of people, fire.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 7 ноября 2013 г.

Моделирование эвакуации людей и динамики опасных факторов пожара всегда, в том или ином виде, используется в целях нормирования эвакуационных путей в зданиях и сооружениях различного назначения. **Нормы – всегда отображение тех представлений (моделей), которые имеют их разработчики** на текущий период времени **о явлениях реального мира** и возможностей их представления в нормировании.

Очевидно, что математическое описание содержит наиболее точное и однозначное представление свойств реального явления, учитываемых его моделью. Но его реализация зависит от разработки необходимого математического аппарата, от имеющихся средств вычислительной техники и программного обеспечения. Однако понятно, что степень точности воспроизведения реального явления любой математической моделью зависит, прежде всего, от адекватности этому явлению теории, лежащей в её основе.

Развитие математического моделирования динамики опасных факторов пожара началось сравнительно недавно [1]. Для широкой практической реализации этих моделей разработаны программно-вычислительные комплексы [2, 3]. Дальнейшее развитие математического моделирования динамики опасных факторов пожара осуществляется в работах [4-6].

Аналогичная зависимость использования моделирования от степени освоения разработчиками норм теории людских потоков и возможностей её программно-вычислительных реализаций наблюдается и при рассмотрении процессов эвакуации в нормировании. Первая модель описывала людской

поток как ряды "элементарных потоков" людей, идущих в затылок друг другу с одинаковой скоростью, наподобие строя солдат [7]. Такое представление (модель) о структуре людского потока внедряется в нормирование размеров эвакуационных путей и выходов: "Суммарная ширина маршей лестничных клеток в зависимости от числа людей, находящихся на наиболее населённом этаже, кроме первого, а также ширина дверей, коридоров или проходов на путях эвакуации во всех этажах должна приниматься из расчёта 0,6 м на 100 человек..." (п. 4.2. СНиП II-A.5-70 "Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений"). Почему берётся норма "100 человек", установить невозможно. Следует отметить, что СНиП II-Л.20-69 "Театры" в пункте 4.2 указывал: "Ширина путей эвакуации и их протяжённость, количество и ширина эвакуационных выходов (дверей) и лестниц определяются расчётом исходя из:

а) установленной продолжительности эвакуации, скорости движения людей ...;

б) пропускной способности однометровой ширины прохода, дверей или лестниц – 50 чел./мин. – при их ширине менее 1,5 м ...". При этом время эвакуации людей из помещений здания театра регламентировалось пунктом 4.1 [8].

Сопоставление показателей этих двух, существовавших практически одновременно, норм показывает различную степень интерпретации данных имеющихся теоретических исследований. СНиП II-A.5-70 использует описание моделью лишь структуры людского потока (в виде элементарных потоков шириной 0,6 м), *"выплёскивая" из модели её суть*: зависимость пропускной способности от времени использования любого элемента эвакуационного пути. Автор же этой, первой, модели людского потока постоянно подчёркивает: **"Только те нормы можно считать практически обоснованными, которые непосредственно учитывают время эвакуации; разработка же таких норм возможна лишь на основе изучения эвакуационного движения"** [7, с. 8].

Степень изучения этого процесса в то время была на таком уровне, что он писал в 1938 году: "При неорганизованном движении, имеющем место при эвакуации, ... уплотнение потока сопровождается уменьшением длины шага и числа шагов в минуту. То и другое способствует снижению скорости. Однако при этом скорость становится неопределённой, что затрудняет не только установление связи между плотностью и пропускной способностью, но и разрешение вопроса о том, увеличивает или уменьшает пропускную способность уплотнение потоков. Между тем, *выявление этой связи необходимо для решения основных задач эвакуации. Только на основе этой связи возможно по уплотнению определять пропускную способность эвакуационного пути в минуту и необходимую ширину их для осуществления эвакуации в заданный срок*. Потребовалось 50 лет "практических обследований" и теоретических исследований для установления "этой связи" [9]. На протяжении этого времени была разработана модель людских потоков, на её основе выявлены кинематические закономерности их движения, описываемые детерминированными зависимостями [10]. Эта модель реализовалась графоаналитическим методом расчёта.

Затем людской поток был описан, *более адекватно его природе, как случайный процесс* и для его математического воспроизведения была создана имитационно-стохастическая модель [11].

На момент, когда появилась возможность реализовать эту модель в нормировании [12], знания практикующих архитекторов ограничивались СНиП II-A.5-70. В этих условиях первостепенной задачей нормирования было внедрение в практику проектирования хотя бы основных положений теории людских потоков, в противовес архаичным "0,6 м на 100 человек". Поэтому в СНиП II-2-80 были изложены только "основные положения", содержащие понятия о плотности людского потока, зависимости скорости его движения от плотности и вида пути, связи между плотностью, скоростью и интенсивностью движения потока, слиянии людских потоков и возможности образования скоплений. Поэтому эти связи, вошедшие в СНиП II-2-80 (Приложение 1. Раздел 1. Расчётное время эвакуации), описаны всего 8-ю простейшими математическими соотношениями. Зависимости от плотности, скорости и интенсивности движения при повышенной активности по различным видам пути приведены в табличной форме.

Совокупность приведённых данных образует упрощённую математическую модель. Ввиду отсутствия в составе "основных положений" описаний переформирования потока, его разуплотнения и растекания, разработчики раздела 1 вынуждены были ввести требование: "Если значение $q_i \geq q_{\max}$, то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такую величину, чтобы соблюдалось условие:

$$q_i \leq q_{\max}. \quad (1)$$

При невозможности выполнения условия (1) интенсивность и скорость движения по участку пути i определяется по таблице при значении $D = 0,9$ и более". Такое требование означает, что потоку приписываются минимальные значения скорости и интенсивности движения по рассматриваемому и последующему участкам пути из-за скопления людей на границе смежных участков пути, которое таким образом распространяется на всю длину участков. Это искажает действительную картину движения людского потока (увеличивается время эвакуации), но стимулирует назначение такой их ширины, которая обеспечивает беспрепятственность эвакуации.

Имитационно-стохастическая модель воспроизводит движение людского потока за счёт описания его состояния на последовательно расположенных (смежных) участках малой протяжённости (элементарных) в последовательные моменты времени (рис. 1), задавая правила перехода через их границы в зависимости от соотношения плотностей потока на них, наблюдаемых в натуре. Модель описывает скорость, следовательно, и интенсивность движения, как случайную функцию, значения которой выбираются случайным образом на каждом шаге моделирования, учитывая тем самым в составе потока людей с различными мобильными возможностями и их влияние на скорость окружающих людей. В нормировании имитационно-стохастическая модель впервые использована МГСН 4.19-2005 [13].

Результаты имитационно-стохастического моделирования наиболее адекватны, как показывают ранее проведённые исследования [14, 15], процессам, наблюдаемым в реальных условиях (рис. 2, 3).

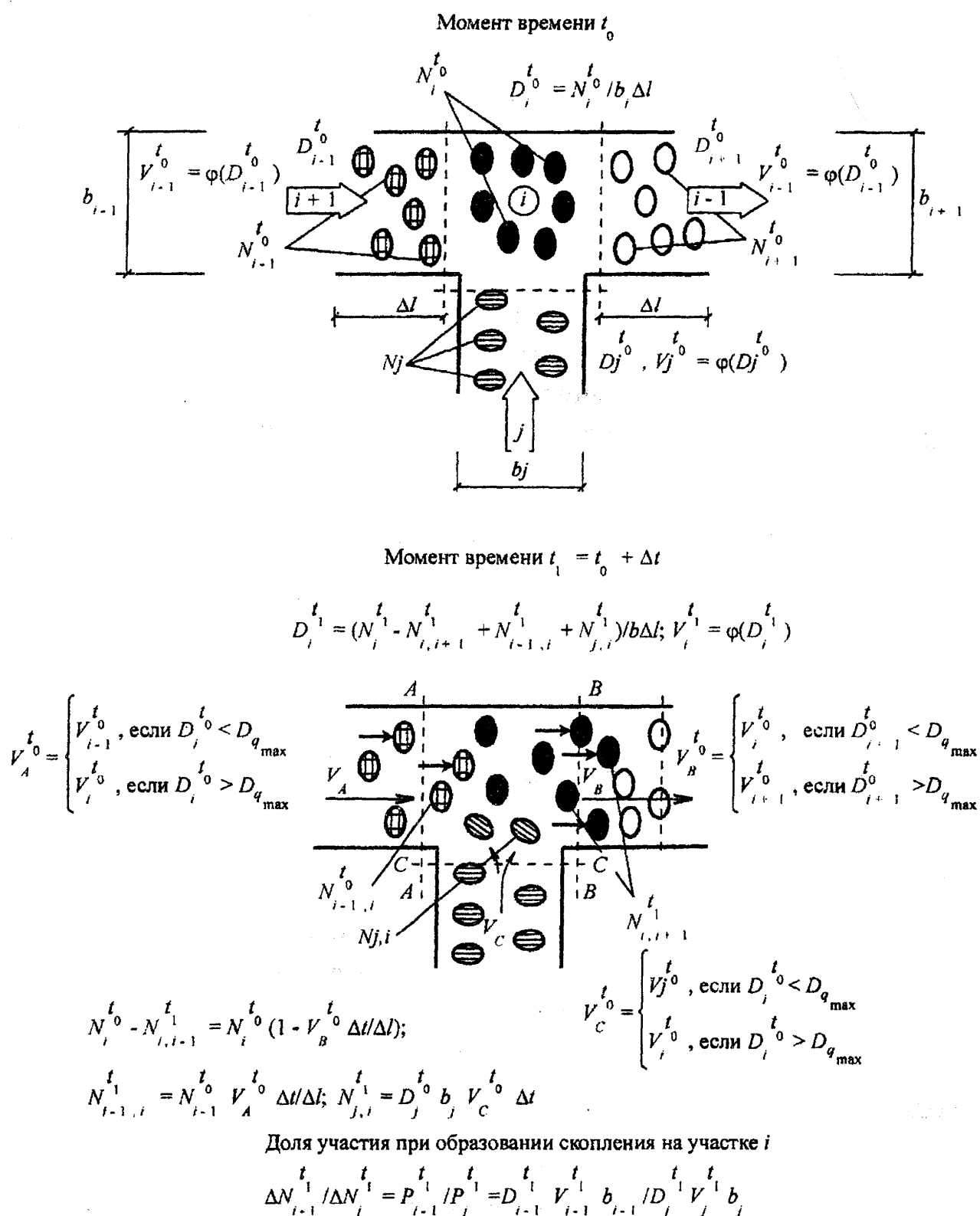


Рис. 1. Изменения состояний людского потока в последовательные моменты времени

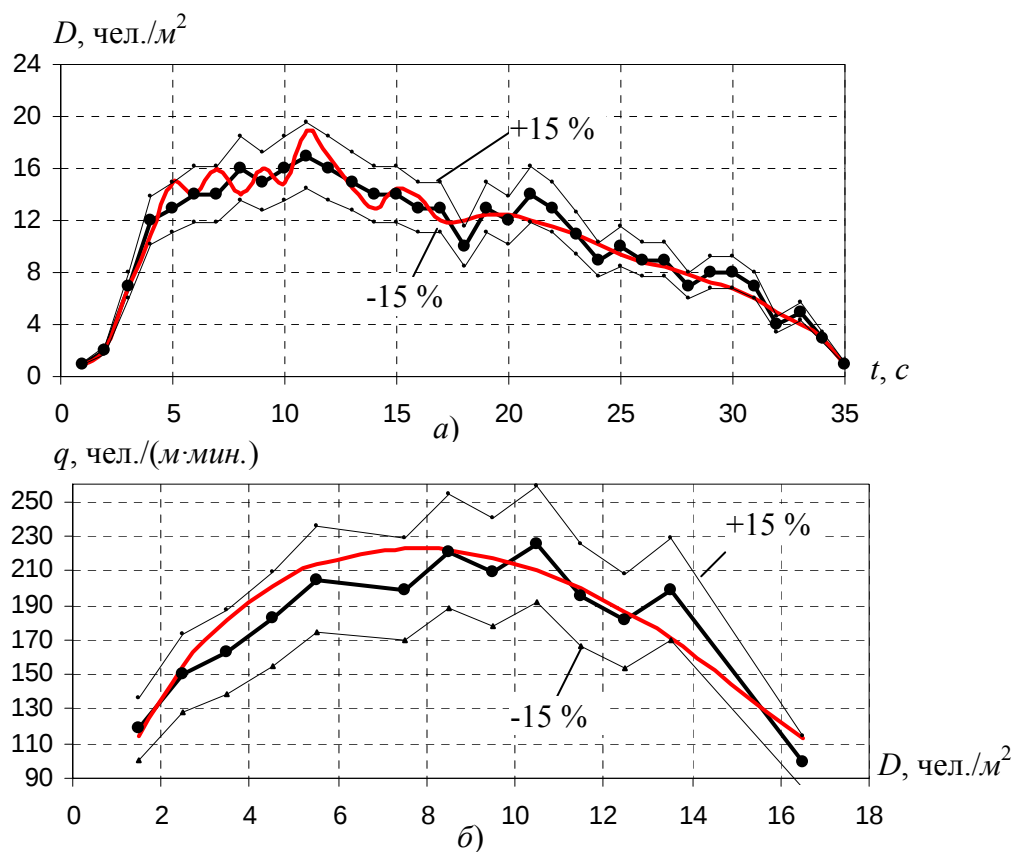


Рис. 2. Сопоставительный анализ результатов экспериментов и натурных наблюдений (•) с результатами численного моделирования:
 а) изменение плотности потока перед дверным проёмом во времени;
 б) изменение интенсивности движения от плотности потоков детей

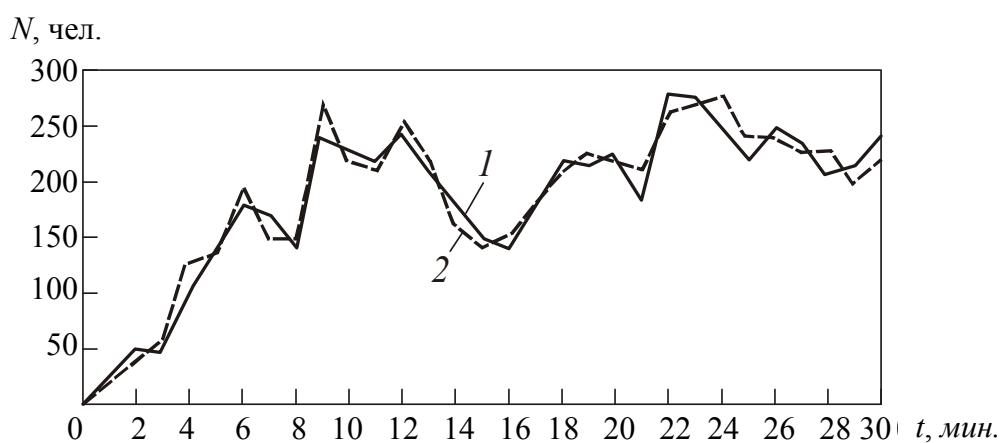


Рис. 3. Изменение количества людей, проходящих через поперечное сечение пути в вестибюле общественного здания:
 1 – эксперимент; 2 – моделирование

В настоящее время Методика [16] содержит:

- упрощённую аналитическую модель людского потока (приложение № 2);
- имитационно-стохастическую модель людского потока (приложение № 4);
- данные для определения времени начала эвакуации;
- принципы составления расчётных схем эвакуации;
- размеры горизонтальных проекций людей различных групп мобильности;
- формулы определения продолжительности возможных скоплений (приложение № 5), разработанные в рамках теории людских потоков [17].

Уравнения, заложенные в основе каждой из вышеперечисленных моделей, используются в программно-вычислительных комплексах [18, 19], разработанных как в нашей стране, так и за рубежом, что даёт возможность применить их для анализа расчётных ситуаций при решении инженерных задач обеспечения пожарной безопасности в зданиях различного назначения.

Математические модели движения людских потоков, реализованные в программных продуктах, позволяют проследить динамику изменений параметров потока во времени в процессе эвакуации, выявить наиболее загруженные участки пути движения. Сравнение возможностей математического описания движения людских потоков с использованием различных моделей приведено в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение возможностей математического описания расчётных случаев движения людских потоков с использованием различных моделей

Расчётные случаи движения людских потоков	Модели эвакуации		
	Упрощённая аналитическая модель	Имитационно-стохастическая модель	Модель индивидуально-поточного движения
Пересечение границы смежного участка пути	+	+	+
Переформирование	–	+	+
Растекание	–	+	+
Разделение	+	+	+
Слияние	+	+	+
Неодновременность слияния	–	+	+
Образование и ликвидация скоплений	–	+	+
Разуплотнение	–	+	+
Учёт вариабельности физического и эмоционального состояния людей в потоке	–	+	+
Неоднородность состава эвакуирующихся	–	+	+

Условные обозначения: + описывается точно; – не учитывается

Заключение

Анализ моделирования процессов эвакуации людей и распространения опасных факторов пожара показывает, что в настоящее время при нормировании размеров эвакуационных путей и выходов в зданиях и сооружениях имеется возможность использования моделей, достаточно адекватно воспроизводящих реальную динамику этих процессов.

Для моделирования процесса эвакуации необходимо использовать **имитационно-стохастическую модель** движения людских потоков, которая наиболее точно отражает динамику процесса в различных условиях эксплуатации здания. Имитационной модель названа потому, что она имитирует людской поток, задавая его характеристики, установленные по результатам обширных натурных наблюдений людских потоков. Стохастической эта модель названа потому, что она учитывает разнообразие индивидуальных мобильных качеств эвакуированных вероятным распределением значений скорости движения в потоке каждого из них. Пользователь модели, как и наблюдатель реального людского потока, может ничего и не знать о его закономерностях. Результаты, как и в реальности, не зависят от его математических операций. Сопоставление результатов моделирования с данными реальных ситуаций движения людей показало адекватность и точность полученных результатов, что позволяет использовать данную модель в качестве "инструмента", необходимого для анализа выполнения условий безопасности людей при эвакуации из зданий различного функционального назначения.

Литература

1. **Кошмаров Ю.А.** Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении: учебное пособие. М.: Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
2. **Программный** продукт "ВИМ" – ГОССТАНДАРТ России, № РОСС RU.СП15.Н00346.
3. **Программный** продукт "Evacuation (Necessary time) Basic" – ГОССТАНДАРТ России, № РОСС RU.СП15.Н00337.
4. **Пузач С.В.** Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. 150 с.
5. **Пузач С.В.** Методы расчёта тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. 336 с.
6. **Есин В.М.** Исследование распространения продуктов горения по многоэтажным зданиям и сооружениям и противодымная защита: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: ВНИИПО МВД СССР, 1991.
7. **Беляев С.В.** Эвакуация зданий массового назначения. М.: Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1938.
8. **СНиП II-Л.20-69.** Театры. Нормы проектирования.
9. **Холицевников В.В.** Закономерности связи между параметрами людских потоков. Диплом № 24-S // Научные открытия. М.: Российская академия естественных наук, Международная академия авторов научных открытий и изобретений, 2004.
10. **Предтеченский В.М., Милинский А.И.** Проектирование зданий с учётом организации движения людских потоков. М.: изд. лит. по строительству. М., 1979.

11. **Холщевников В.В.** Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: Дис. ... д-ра техн. наук. М.: МИСИ, 1983.
12. **СНиП II-2 -80.** Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
13. **МГСН 4.19-2005.** Временные нормы и правила проектирования многофункциональных высотных зданий и зданий-комплексов в городе Москве.
14. **Исаевич И.И.** Разработка основ многовариантного анализа объёмно-планировочных решений станций и пересадочных узлов метрополитена на основе моделирования закономерностей движения людских потоков: Дис. ... канд. техн. наук (научный рук. Холщевников В.В.). М.: МИСИ, 1990.
15. **Парфёненко А.П.** Нормирование требований пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам в зданиях детских дошкольных образовательных учреждений: Дис. ... канд. техн. наук (научный рук. Холщевников В.В.). М.: Академия ГПС МЧС России, 2012.
16. **Методика** определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: приложение к приказу МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 // Российская газета. 2009. № 161 с учётом изменений, утверждённых приказом №749 МЧС РФ от 12.12.2011.
17. **Холщевников В.В.** Исследование людских потоков и методологии нормирования эвакуации людей из зданий при пожаре. М.: МИПБ МВД России, 1999.
18. **Программный** продукт: Анализ движения людских потоков, вероятность. Версия V 2.0 "ADLPV-2.0". ГОССТАНДАРТ России, № РОСС RU.СП05.Н00220.
19. Программный продукт: Флоутек ВД. ГОССТАНДАРТ России, № РОСС RU.СП15.Н00345.