

Ю.В. Алексеев

(Московский Государственный строительный университет;
e-mail: reglament2004@mail.ru)

ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ ПО ТЕРРИТОРИИ КОМПЛЕКСА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ЭВАКУАЦИИ ВО ВРЕМЯ ПОЖАРА И ДРУГИХ ОПАСНЫХ СОБЫТИЙ

Проведён анализ этапов эвакуации людей при пожарах и других опасных событиях. Обоснована необходимость разработки общей методологии организации движения людских потоков по территории комплекса зданий и сооружений при эвакуации.

Ключевые слова: эвакуация, пожар, безопасность людей.

Yu. V. Alekseev

ABOUT ORGANIZATION OF PEOPLES TRAFFIC ON TERRITORY THE COMPLEX OF BUILDINGS AND STRUCTURES FOR EVACUATION DURING A FIRE OR OTHER HAZARDOUS EVENTS

Analysis of the stages of evacuation during a fire or other hazardous events. The necessity of developing a common methodology organization of peoples traffic on territory the complex of buildings and structures for evacuation are presented.

Key words: evacuation, fire, human safety.

В настоящее время нормативные документы по противопожарной защите людей во время пожара предусматривают три этапа эвакуации людей из зданий и сооружений: из помещения, с этажа, по лестничной клетке до выхода на улицу непосредственно или через вестибюль. Но завершение третьего этапа ещё **не является окончанием эвакуации**. Людям необходимо удалиться от здания на расстояние, достаточное, чтобы исключить возможное воздействие на них сопутствующих проявлений опасных факторов пожара [1, статья 9, п. 2] или других поражающих факторов – осколков, частей разрушающихся конструкций, аппаратов и истекающих из них радиоактивных или токсичных веществ, или попасть в укрытие, защищающее от них.

Необходимость эвакуации людей при пожаре и в других чрезвычайных ситуациях в зону безопасности на территории вне радиуса поражения вторичными проявлениями опасных факторов пожара и возможного обрушения здания определяет требование рассматривать в качестве четвёртого этапа эвакуации движение людских потоков по территории, окружающей здание. Проектирование пешеходных путей по территории комплекса зданий и сооружений требует разработки общей междисциплинарной методологии.

Последствия трагедии 11 сентября 2001 года в Нью-Йорке (рис. 1) напоминает о том, что основоположник расчётного метода нормирования эвакуационных путей и выходов ещё в 1938 г. писал: "Четвёртый этап эвакуации – от выхода из здания до рассеивания эвакуируемых в общем городском движении" [2, с. 30].

Но это не только этап эвакуации – это и контакт с городом. Для современной коммуникационной структуры города характерно чёткое разделение функций транспортного и пешеходного передвижения: транспорт осуществляет общесистемную интеграцию, пешеходное движение – связь между объектами дифференцированных элементов планировочной структуры через постоянные остановочные пункты наземного и подземного транспорта.

Ориентация пешеходного движения по направлениям к узлам и точкам контакта с коммуникационным каркасом города стимулирует формирование многофункциональных комплексов и их развитие в многоуровневые структуры на ограниченных территориях. Многоаспектность проектирования многоуровневой системы коммуникационных путей территории, особенно при высокой концентрации их размещения, диктует необходимость разработки общей методологии планирования пешеходной системы при повседневных условиях эксплуатации зданий и сооружений и при эвакуации по ней людей в зону безопасности вне радиуса возможного обрушения здания. Величина радиуса возможного обрушения может быть принята равной полуторной высоте здания ($R = 1,5 H$). Её значение в зависимости от нормируемой этажности здания класса функциональной пожарной опасности может составлять от 15 м (2-3 этажа для зданий детских дошкольных учреждений) до 150 м и более (высотные здания от 100 м и выше).

В составе общей методологии проектирования пешеходных путей по территории городских комплексов зданий и сооружений при их повседневной эксплуатации и при использовании в чрезвычайных ситуациях должны быть:

- метод построения оптимальной сети пешеходных путей;
- учёт режимов функционирования источников людских потоков – выходов из зданий и сооружений;
- методы определения параметров потоков и на их основе размеров пешеходных путей.

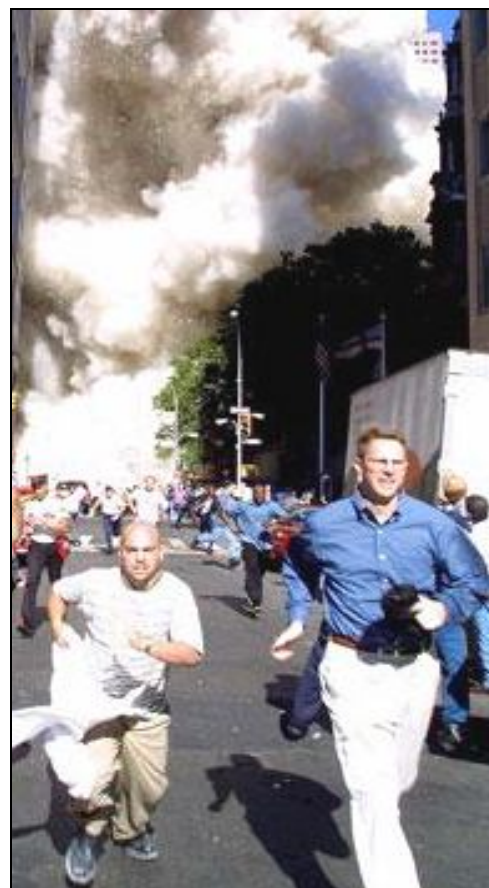


Рис. 1. Наглядная иллюстрация четвёртого этапа эвакуации – бегство людей от зданий Всемирного торгового центра после террористической самолётной атаки на него 11 сентября 2001 года

Поиск метода оптимизации сети и размеров коммуникационных путей актуален не только для эвакуации из зданий с большим количеством посетителей [3, 4], но и для территории комплексов жилых и общественных зданий различного назначения. Входы и выходы зданий являются центрами тяготения и источниками людских потоков, особенно интенсивно функционирующими во время эвакуации людей при их кратковременном одновременном выходе в процессе эвакуации.

В отличие от эвакуационных путей зданий, где они ограничены строительными конструкциями, пешеходные пути территории, как правило (за исключением внеуличных переходов), не имеют "жестких" конструктивных ограничений. И это определяет достаточно большую свободу выбора людьми маршрутов своего движения. Неучёт "человеческого фактора" при построении сетей пешеходных путей в городской застройке приводит к тому, что их практическая реализация, сплошь и рядом, *нежизнеспособна*: потоки людей проталкивают собственные пути движения через газоны, хозяйственные площадки, зоны отдыха и искусственные барьеры в виде оград, колючих кустарников и т.п.

Это происходит потому, что участки пешеходных путей, расположенные по прямоугольной схеме, противоречат психологии выбора направления движения пешеходами, которая всегда направлена на сокращение времени передвижения. Поэтому пешеходы стремятся идти кратчайшим путём от места своего нахождения (точка О) к цели своего движения (точка Ц), например, к остановке общественного транспорта или в зону безопасности. Кратчайший путь между этими двумя точками – прямая, тогда скорость движения пешехода V_0 равна скорости его приближения к цели $V_ц$. При отклонении маршрута от прямой линии под углом φ скорость приближения к цели становится равной $V_ц = V_0 \cos \varphi$. При увеличении угла снижается скорость приближения к цели. Возникает дискомфорт движения, связанный с необходимостью увеличения времени или энергетических затрат на передвижение. До поры до времени, как говорят, человек готов терпеть уровень возникающего дискомфорта, но когда он попадает в точку пути, в которой, так сказать, его терпению приходит конец, он меняет направление своего движения. Это – *конфликтная точка*.

При движении ориентация человека в пространстве определяется расстоянием от него до объекта и углом между лучом зрения на объект и выбранным человеком направлением движения. При движении мозг легко контролирует совмещение обоих направлений, поскольку отклонение от нужного направления сразу же обнаруживается, так как цель оказывается не прямо впереди, а сбоку. При равенстве длины возможных маршрутов движения между точками О и Ц преобладающее значение имеет угол направления движения. Его критическое значение φ_k зависит от величины пешеходного потока, состояния окружающей территории и её рельефа, времени года, цели движения, возраста и эмоционального состояния пешеходов.

Предполагается, что величина φ_k имеет меньшее значение для мощных потоков и при более благоприятном состоянии территории (газон в летнее время). Запроектированная для этих условий пешеходная сеть будет жизнеспособной и для более неблагоприятных условий. В среднем значение φ_k принимается равным 60° . Значение *критического угла* определяет границу поля возможных маршрутов, в пределах которого находится маршрут, оптимальный по критерию минимума длины. Вполне очевидно, что *система эвакуационных путей на территории должна соответствовать жизнеспособной пешеходной сети*.

Пример проверки пешеходной сети на жизнеспособность иллюстрируется схемами на рис. 2. Здесь запроектированная пешеходная сеть, связывающая исходные точки O_1, O_2, O_3, O_4, O_5 с целевой точкой Ц, показана сплошной линией. Известно критическое значение $\varphi_k = 60^\circ$. Соединим точку O_4 с Ц и на O_4 Ц, как на хорде, опишем дугу окружности O_4m Ц, вмещающую угол $\phi = \pi - \varphi_k = 120^\circ$. Известно, что маршрут из O_4 в Ц не может выходить за пределы рабочего поля O_4 Ц. Поскольку в имеющейся сети это требование нарушается, она не жизнеспособна.

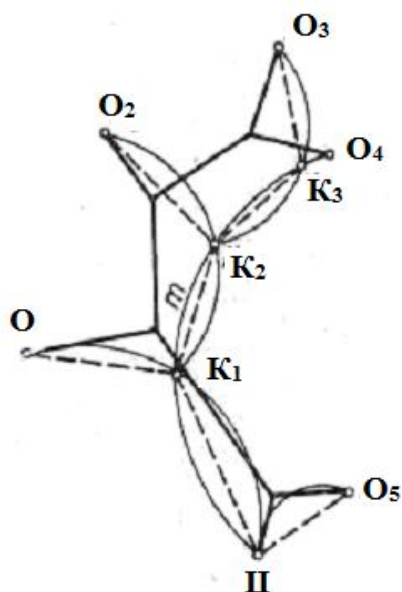


Рис. 2. Схема проверки пешеходной сети на жизнеспособность

На рисунке пунктирной линией показана скорректированная сеть. Маршрут $O_4K_3K_2K_1$ Ц представляет собой теперь выпуклую ломаную линию, лежащую в пределах поля O_4 Ц, что свидетельствует о жизнеспособности сети, показанной пунктирной линией.

Интенсивность функционирования источников людских потоков – выходов из зданий и сооружений – изменяется в течение суток в зависимости от функционального назначения здания и "биоритма" городской жизни. Очевидно, что максимальная интенсивность выхода людей из зданий будет наблюдаться при их эвакуации во время опасного события. При этом наибольшее количество людей, эвакуируемых из того или иного здания, определяется его посещаемостью в тот период, когда произошло опасное событие.

Биоритм городской жизни определяет различные периоды максимальной посещаемости зданий различного функционального назначения, размещаемых в едином многофункциональном городском комплексе. Данные натурных исследований режимов эксплуатации зданий различного назначения дают возможность подразделить их на несколько групп по режиму функционирования и определить максимальные значения их загрузки в суточном цикле [5]. Это позволяет установить расчётные ситуации для проектирования пешеходной сети путей эвакуации из комплекса зданий и сооружений при наиболее опасном времени возникновения опасного события.

Для расчёта необходимых размеров путей эвакуации необходимо моделирование людских потоков установленной их численности из источников движения по построенной жизнеспособной сети. Их размеры должны обеспечивать свободное движение людей (при плотности потока около 1 чел. на 2 м^2 – $D = 0,05$). Значения индивидуальной скорости движения людей имеют нормальный закон распределения:

$$f(V) = \frac{1}{S_V \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(V-\bar{V})^2}{2S_V^2}},$$

где \bar{V} – математическое ожидание;

S_V – среднеквадратичное отклонение скорости движения людей в потоке.

Поэтому при движении поток людей растекается. Распределение людей в момент t по длине пути описывается [6] функцией

$$f_t(l) = \frac{1}{t \cdot S_V \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}},$$

а время пересечения людьми поперечного сечения пути, находящегося на расстоянии l от источника движения, описывается функцией

$$f_l(t) = \frac{1}{t^2 \cdot S_V \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(l/t - \bar{V})^2}{2S_V^2}},$$

Эти распределения при одном функционирующем источнике движения строятся достаточно просто, даже вручную, хотя и требует многочисленных расчётных операций. Для описания движения людских потоков по участкам пути с многочисленными узлами пересечения и при большом количестве источников движения создана модель "SDLP" – Свободное Движение Людских Поток [6]. Применение модели к анализу фрагментов крупных транспортно-коммуникационных городских узлов показало высокую степень соответствия её результатов реально наблюдаемой в них картине процесса движения людских потоков [7]. Модель реализуется при помощи программно-вычислительного комплекса, который совершенствуется по мере развития вычислительной техники и возможностей программного обеспечения. В 2010 г. для расчёта свободно движущихся потоков была создана программа FMT1.0, получившая государственную регистрацию [8]. Пример использования про-

граммы для определения времени прихода людей из вагонов поезда на железнодорожной платформе вокзала на остановку городского транспорта (сток) приведён на рис. 3. На рис. 4 приведён пример распределения времени прихода людей в зону безопасности при эвакуации людей из многоэтажных зданий жилого комплекса.

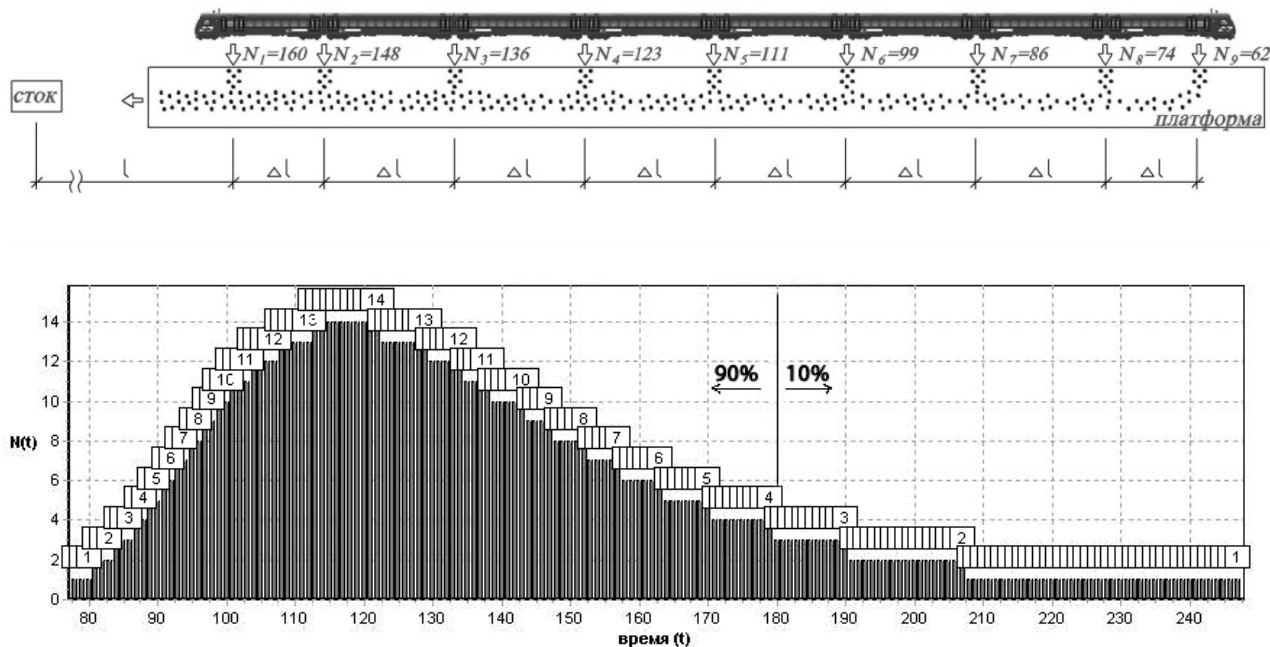


Рис. 3. Расчётная схема (сверху) и график (снизу) распределения времени прихода людей на остановку городского транспорта при $l = 200$ м

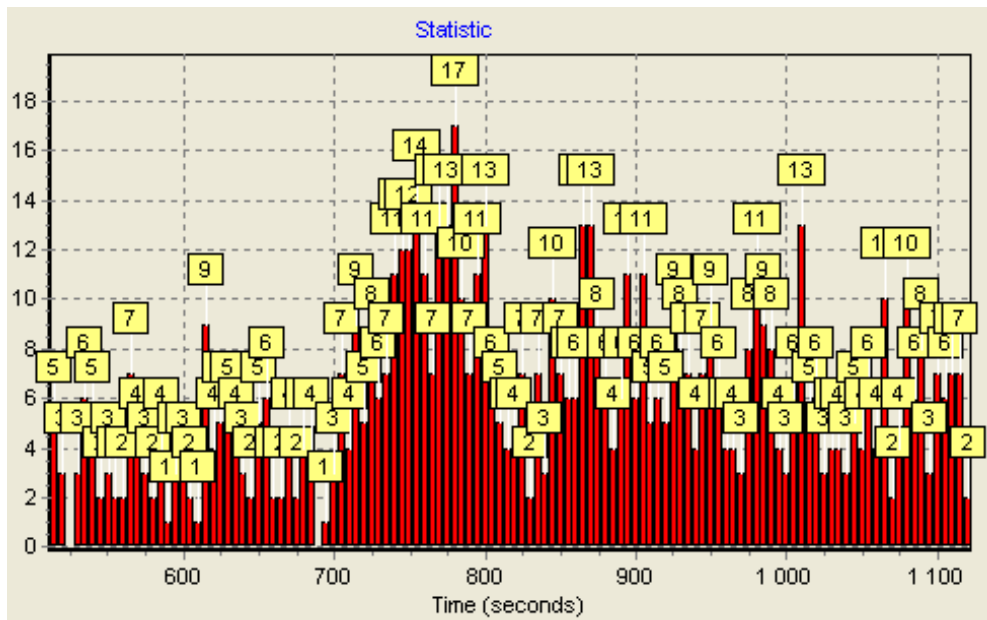


Рис. 4. Распределения времени прихода людей в зону безопасности

Расчёт интенсивности выхода людей при эвакуации из зданий произведён по имитационно-стохастической модели [9, Приложение 4]. Имитационно-стохастическая модель и модель свободного движения людских потоков совместимы, поскольку они основываются на общих закономерностях связи между параметрами людских потоков [6, 10].

Таким образом, к настоящему времени разработаны все три составляющие методологии проектирования пешеходных путей на территории комплексов зданий и сооружений при их повседневной эксплуатации и при использовании во время пожаров и других опасных событий. Возможность учёта четвёртого этапа эвакуации в противопожарном нормировании повысит уровень обеспечения безопасности людей при пожарах.

Литература

1. **Федеральный закон** от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
2. **Беляев С.В.** Эвакуация зданий массового назначения. М.: Изд-во Всесоюзной академии художеств, 1938.
3. **Холщевников В.В.** Оптимизация путей движения людских потоков. Высотные здания: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1978.
4. **Алексеев Ю.В.** Формирование движения людских потоков в проходах зрелищных сооружений: Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1969.
5. **Холщевников В.В.** Влияние закономерностей передвижения городского населения на пропускную способность пунктов доступа многофункциональных высотных зданий // Пожаровзрывобезопасность, 2008, № 1. С. 34-43.
6. **Холщевников В.В.** Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: Дис. на соиск. уч. степ. д-ра техн. наук. М., 1983.
7. **Холщевников В.В.** Расчёт оптимальных вариантов пешеходных путей в городских узлах // На стройках России, 1983, № 3.
8. **Свидетельство** о государственной регистрации программ для ЭВМ №2011614752. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам.
9. **Приказ** МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 "Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности".
10. **Закономерность** связи между параметрами людских потоков (Диплом № 24-S. Открытие в области социальной психологии) // Научные открытия. М.: РАЕН, МААНОИ, МААНО, 2006.