

УДК 614.841.33

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ВЫНУЖДЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗРИТЕЛЬНЫХ ЗАЛОВ ЗРЕЛИЩНЫХ И КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЭВАКУИРУЕМЫХ

Соболевский С.Л., к.ф.-м.н., Дмитриченко А.С., к.т.н., доцент, Полоз Д.А.

*Article is devoted to definition of time of evacuation of people of premises with account heterogeneity of human stream. In base of offered approach concept of consideration of each person in human stream is placed how separate unit of account.*

(Поступила в редакцию 30 марта 2008 г.)

В настоящий момент ни одно современное здание в мире в случае возникновения в нем пожара не может с абсолютной надежностью гарантировать безопасность длительного нахождения в нем людей, в том числе защитить их от воздействия критических уровней опасных факторов пожара, к которым согласно государственного стандарта [1] относятся: пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, токсичные продукты горения и термического разложения, дым, пониженная концентрация кислорода.

Своевременная и беспрепятственная эвакуация людей, осуществляемая как непосредственно из помещений, так и из зданий и сооружений в целом, является единственным выходом из данной ситуации и позволяет людям в случае возникновения пожара в основном только за счет собственных физических и психофизических возможностей сохранить свою жизнь и здоровье. Именно поэтому в нормативных документах практически всех стран мира содержатся требования, касающиеся обеспечения безопасной эвакуации людей. Не является исключением из данного списка и Республика Беларусь.

К основным техническим нормативным правовым актам в области технического нормирования и стандартизации, действующим на территории Республики Беларусь и содержащим требования по обеспечению безопасной эвакуации людей из зданий и сооружений при пожаре, относятся документы [1–3]. Требования данных технических нормативных правовых актов гласят о том, что любое помещение, здание либо сооружение должно иметь такое объемно-планировочное и конструктивное исполнение, при котором все находящиеся в нем люди могли бы своевременно и беспрепятственно покинуть его, не подвергая опасности свою жизнь и здоровье. При этом эвакуация людей обязательно должна завершиться до того, как опасные факторы пожара достигнут своих предельных значений. Кроме этого, в государственном стандарте [1] содержатся методики определения расчетного и необходимого времени эвакуации людей, а в технических нормативных правовых актах [2, 3] – пояснения и уточнения к отдельным положениям и разделам данных методик.

Методика определения расчетного времени эвакуации людей получена в результате многочисленных теоретических и практических научных исследований, посвященных изучению параметров движения людских потоков в зданиях и сооружениях различного назначения [4, 5, 12]. По этой причине в методике отражены практически все основные положения «Теории людских потоков» [6]. В результате этого людской поток рассматривается как явление массовое, а все входящие в его состав люди и соответствующие им параметры движения специальным образом усреднены по отношению друг к другу. Возможность учета неоднородности людского потока методикой не предусматривается, что существенно сказывается на значениях величины расчетного времени эвакуации людей.

Необходимо отметить, что неоднородность людского потока возникает практически всегда. Происходит это по причине того, что в своем большинстве людской поток состоит из

людей, существенным образом отличающихся друг от друга по своим антропометрическим данным, возрасту, уровню физической подготовки и здоровья. Этот момент нельзя оставлять без внимания, так как перечисленные индивидуальные особенности человека существенным образом влияют на параметры движения, используемые при определении величины расчетного времени эвакуации людей. Таким образом, необходимость учета неоднородности людского потока достаточно очевидна. Решение данной проблемы позволит уточнить значения величины расчетного времени эвакуации людей и устранить ряд других недостатков методики, подробно описанных и проанализированных в работах [7–9].

С этой целью и были организованы и проведены исследования процесса движения людей в зальных помещениях с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти. Помещения находились в зрелищных и культурно-просветительных учреждениях (театрах, кинотеатрах, концертных залах, клубах, цирках, спортивных сооружениях с трибунами). В ходе исследований использовался метод натуральных наблюдений. В результате получены объективные данные о процессе движения людей в условиях повседневной эксплуатации зальных помещений с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти [10, 11].

Предварительный и последующий анализ составов людских потоков в данных помещениях позволил выделить следующие условные группы людей: школьники младших классов в возрасте от 5 до 9 лет (группа Г1); школьники средних классов в возрасте от 10 до 14 лет (группа Г2); школьники старших классов, учащиеся профессионально-технических училищ, техникумов и колледжей в возрасте от 15 до 19 лет (группа Г3); взрослые люди в возрасте от 20 до 65 лет (группа Г4); взрослые люди в возрасте от 20 до 65 лет, ведущие детей в возрасте до 5 лет за руку либо несущие их на руках (группа Г5).

Статистическая обработка результатов натуральных наблюдений производилась с помощью пакетов прикладных программ статистического анализа данных СТАН и СТАН-М, разработанных кафедрой математического моделирования и анализа данных и научно-исследовательской лабораторией статистического анализа и моделирования Белорусского государственного университета. В результате получены эмпирические зависимости скорости движения от плотности людского потока для представителей выделенных условных групп людей. Эмпирические зависимости характеризовали процесс движения людей в период повседневной эксплуатации зальных помещений с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти. Так как психологическая и физиологическая обусловленность процесса движения людей не приближалась к условиям реального пожара, это ограничило область применения полученных результатов.

Сложившаяся ситуация была разрешена с помощью функции, описывающей скорость движения людского потока в зависимости от его плотности для любого вида пути и различных уровней эмоционального состояния, предложенной проф. В.В. Холщевниковым [5, 6, 12]. Предварительно эмпирические зависимости с помощью методики проф. В.В. Холщевникова [5, 12] преобразованы применительно к условиям вынужденной эвакуации [10, 11].

Сравнение полученных результатов с аналогичными расчетными зависимостями проф. В.М. Предтеченского [4] и проф. В.В. Холщевникова [5, 12] показало, что лучше всего они коррелируют с результатами проф. В.М. Предтеченского. Объяснить подобный результат можно тем, что нормативные расчетные зависимости проф. Холщевникова В.В. получены на основании данных, характеризующих процесс движения людских потоков в зданиях различного назначения. При этом необходимо отметить то, что в различных зданиях и сооружениях люди движутся с различными скоростями. При этом в зданиях кинотеатров, театров и учебных заведений наблюдаются наименьшие значения скорости движения людских потоков, скорость же движения людей в промышленных зданиях может быть в 1,5 раза, а в транспортных зданиях – в 2,5 раза выше [4].

Практически полученные расчетные зависимости скорости движения представителей различных групп людей от плотности людского потока были реализованы с помощью дифференцированной методики определения расчетного времени эвакуации людей,

описанной в работах [13]. Основной идеей методики явилась концепция рассмотрения каждого человека – участника процесса вынужденной эвакуации – в качестве отдельной расчетной единицы. При этом в методике сохранились основные подходы стандартной методики определения расчетного времени эвакуации людей [1], а именно: изображение расчетной схемы эвакуации людей из помещения в виде совокупности последовательно соединенных друг с другом эвакуационных участков, зависимость скорости движения людей от плотности людского потока. Таким образом, предложенная дифференцированная методика позволила учесть все возможные случаи движения людских потоков: перестроение и растекание; слияние и его неодновременность; расчленение; образование и рассасывание скоплений; уплотнение и т. д.

Механизм движения людей в составе людского потока, реализованный в методике, разработан на основании результатов натурных наблюдений за процессом движения людей в зальных помещениях с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти [5] и основных положений «Теории людских потоков» [6].

Предложенная дифференцированная методика позволила смоделировать процесс эвакуации людей из помещения в реальном времени. Изложенный в ней подход позволяет достаточно гибко изобразить процесс вынужденной эвакуации людей и учесть при этом различные особенности процесса движения людей в условиях повышенной психологической напряженности.

В действительности движение отдельного человека в любом случае определяется конкретной для него траекторией, поэтому вместо умозрительных выводов об особенностях поведения смешанного людского потока в тех или иных ситуациях проще смоделировать эти особенности, рассмотрев людской поток как совокупность отдельных людей и представив движение каждого человека по отдельности в общем людском потоке.

При моделировании движения человека в пределах эвакуационного участка в определенные моменты времени возникает необходимость определять направление его движения и его мгновенную скорость. Направление движения для каждого человека задается, как правило, в сторону конца эвакуационного участка параллельно его краям. Мгновенная скорость движения для каждого человека определяется в соответствии с нормативными расчетными зависимостями скорости движения людей от плотности людского потока, представленными в статьях [10, 11].

Основным параметром, влияющим на мгновенную скорость движения каждого участника процесса вынужденной эвакуации, является локальная плотность людского потока. Локальная плотность людского потока определяется как отношение количества людей, находящихся вблизи рассматриваемого человека, с учетом значений площадей их горизонтальных проекций к площади зоны влияния, в пределах которой человек ощущает на себе воздействие других движущихся рядом с ним людей.

Алгоритм определения времени эвакуации людей из помещения с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти выглядит следующим образом:

1. Равномерно, случайно либо с учетом известных условий на выбранных эвакуационных участках в начальный момент времени  $t = 0$  определяются координаты расположения заданного количества людей.

2. В последующий момент времени  $t$  на каждом эвакуационном участке для каждого человека определяется локальная плотность людского потока  $D$ , а затем – текущее направление движения человека и его мгновенная скорость  $V$ .

3. После этого для каждого эвакуационного участка определяются координаты людей в последующий момент времени  $t = t + \Delta t$ .

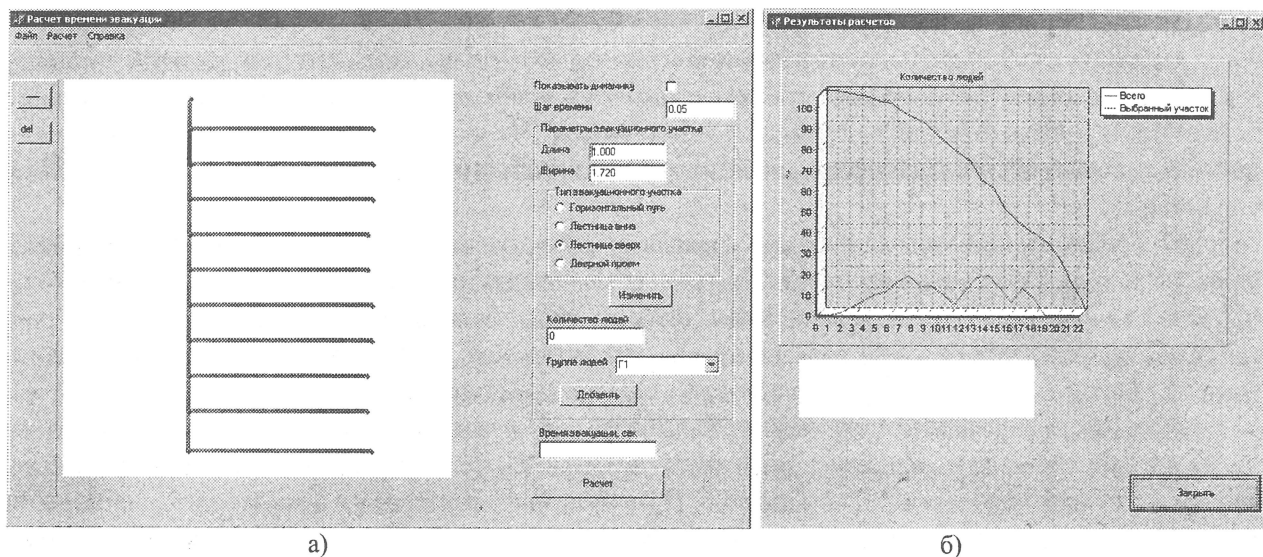
4. Если человек покинул эвакуационный участок, то специальным образом он перемещается на следующий эвакуационный участок.

5. Если эвакуационный участок был покинут через эвакуационный выход, то человек считается эвакуированным.

6. Если остались неэвакуированные люди, возвращаемся к пункту 2.

7. Итоговое время  $t$  является временем эвакуации людей из помещения.

Предложенная дифференцированная методика, а также входящая в нее математическая модель была реализована в визуальной среде разработки Delphi (версия 7.0) для операционных систем Windows 2000 и XP. В результате была разработана специальная программа, позволяющая производить вычисления расчетного времени вынужденной эвакуации людей из помещений с массовым пребыванием людей, а именно: зрительных залов кинотеатров, театров, цирков, клубов, крытых спортивно-зрелищных залов, концертных и лекционных залов, крупных поточных аудиторий вузов, актовых залов школ и т. д. Данная программа позволяет также отслеживать динамику покидания людьми помещения, а в случае необходимости – и отдельных специально выделенных эвакуационных участков.



а) – окно ввода исходных данных; б) – окно вывода результатов расчета и динамики покидания людьми зального помещения

**Рисунок – Внешний интерфейс программы по расчету времени эвакуации людей**

Предложенный способ определения времени эвакуации людей из зальных помещений с расчетным числом посадочных мест более пятидесяти позволяет учесть неоднородность людского потока и устранить ряд недостатков стандартной методики [1], что в свою очередь приводит к уточнению искомой величины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004 – 91. – Введ. 01.07.92. – М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 88 с.
2. Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре: СНБ 2.02.02-01\*. – Введ. 01.07.02. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2002. – 28 с.
3. Здания и сооружения. Эвакуационные пути и выходы. Правила проектирования: ТКП 45-2.02-22-2006 (02250). – Введ. 01.07.06. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2006. – 46 с.
4. *Предтеченский, В.М.* Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков: учеб. пособие для вузов / В.М. Предтеченский, А.И. Милинский. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1979. – 375 с.



5. *Холщевников, В.В.* Исследование людских потоков и методология нормирования эвакуации людей из зданий и сооружений при пожаре / В.В. Холщевников. – М.: МИПБ МВД России, 1999. – 93 с.
6. *Холщевников, В.В.* Теория людских потоков / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 4. – С. 21–34.
7. *Дмитриченко, А.С.* Новый подход к расчету вынужденной эвакуации людей при пожарах / А.С. Дмитриченко, С.Л. Соболевский, С.А. Татарников // Пожаровзрывобезопасность. – 2002. – № 6. – С. 50–53.
8. *Самошин, Д.А.* Расчет времени эвакуации. Проблемы и перспективы / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 1. – С. 33–46.
9. *Транклевский, Л.Т.* О некоторых проблемах расчетных методов эвакуации / Л.Т. Транклевский, А.А. Таранцев // Пожарная безопасность. – 2004. – № 5. – С. 40–49.
10. *Дмитриченко, А.С.* Исследование параметров смешанных людских потоков в помещениях с массовым пребыванием людей / А.С. Дмитриченко, Д.А. Полоз // Вест. Командно-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2007. – № 2. – С. 88–97.
11. *Дмитриченко, А.С.* Определение расчетных зависимостей между параметрами людских потоков в помещениях с массовым пребыванием людей зального типа / А.С. Дмитриченко, И.И. Полевода, Д.А. Полоз // Вест. Командно-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2008. – № 1. – С. 42–49.
12. *Холщевников, В.В.* Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов: дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Холщевников. – М.: МИСИ, 1983. – 435 л.
13. *Дмитриченко, А.С.* Дифференцированная методика определения расчетного времени вынужденной эвакуации людей из помещений с массовым пребыванием людей / А.С. Дмитриченко, С.Л. Соболевский, Д.А. Полоз // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – № 2. – С. 91–105.