

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

И.В. ЕФРЕМОВ, В.А. ВАСИЛЕНКО,  
В.А. ГРУЗИНЦЕВА, Е.А. КОЛОБОВА

# РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЭВАКУАЦИИ ИЗ ОБЩЕСТВЕННЫХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ДИПЛОМНОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом  
государственного образовательного учреждения высшего  
профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2008

УДК 355.58 (076.5)  
ББК 68.90 Я 73  
Е 92

Рецензент  
кандидат технических наук, доцент Е.Л. Янчук

**Ефремов, И.В.**  
Е 92 **Расчет продолжительности эвакуации из общественных и производственных зданий при чрезвычайных ситуациях: методические указания к дипломному проектированию / И.В. Ефремов, В.А. Василенко, В.А. Грузинцева, Е.А. Колобова. - Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2008. – 28 с.**

Методические указания содержат порядок и последовательность определения продолжительности эвакуации людей при возникновении чрезвычайной ситуации.

Методические указания предназначены для студентов всех специальностей при выполнении ими раздела «Безопасность труда» в дипломных проектах и для расчетов на практических занятиях по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

ББК 68.90 Я 73

© Ефремов И.В.,  
Василенко В.А.,  
Грузинцева В.А.,  
Колобова Е.А., 2008  
© ГОУ ОГУ, 2008

## Содержание

Введение.....	5
1 Допустимая продолжительность эвакуации и мероприятия для ее осуществления .....	11
2 Задержка начала эвакуации.....	14
3 Расчет продолжительности эвакуации из здания.....	15
4 Вопросы для самоконтроля.....	19
5 Порядок проведения расчета.....	19
6 Пример расчета.....	19
7 Задание к расчету.....	23
Приложение А.....	24
Таблица А.1 – Категории помещений по пожарной опасности.....	24
Приложение Б.....	25
Таблица Б.1 – Степень огнестойкости для различных зданий.....	25
Приложение В.....	26
Таблица В.1 - Время задержки начала эвакуации.....	26
Приложение Г.....	27
Параметры движения людского потока.....	27
Приложение Д.....	28
Таблица Д.1 – Варианты к расчету.....	28

## Введение

Одним из основных способов защиты от поражающих факторов в чрезвычайной ситуации (ЧС) является своевременная эвакуация и рассредоточение персонала объектов из опасных зон бедствий.

**Эвакуация** – комплекс мероприятий по организованному выводу персонала объектов из зоны чрезвычайной ситуации или из зоны с возможностью возникновения чрезвычайной ситуации.

При проектировании зданий и сооружений одной из задач является создание наиболее благоприятных условий для движения человека при возможной ЧС и обеспечение его безопасности.

Движение может быть нормальным, осуществляемым человеком в нормальных условиях жизнедеятельности, и вынужденным, связанным с необходимостью покинуть помещение или здание из-за возникшей опасности (пожар, авария, взрыв и т.п.). Практика показывает, что вынужденное движение имеет свои специфические особенности, которые необходимо учитывать для сохранения здоровья и жизни людей. Профессором В.М. Предтеченским впервые рассмотрены основы теории движения людей как важного функционального процесса, свойственного зданиям различного назначения [1].

Статистика показывает, что наибольшее число человеческих жертв приходится на пожары в зданиях с массовым пребыванием людей. Число жертв на некоторых пожарах в театрах, универмагах и других общественных зданиях достигло нескольких сотен человек. Согласно статистическим данным России, 80 % всех пожаров случается в жилье, при этом на 1 миллион человек погибает более 100 человек, что в 6 раз больше, чем в США.

Самые свежие примеры гибели людей при пожарах доказывают, что от введения правил пожарной безопасности ничего не изменилось. Так, 24 июня 2006 г, после завершения выставки «Средства спасения Ленэкспо 2006», обычное, казалось бы, несерьезное загорание в общежитии Петербургской Морской академии, где всего то выгорел коридор и несколько дверей, привело к тому, что число жертв составило 7 человек.

В многоэтажных зданиях, выше отметки 60 м, проведение эвакуации людей при пожарах, террористических актах, при которых могут оказаться разрушенными такие пути эвакуации, как лестничные клетки, практически является пока нерешаемой проблемой не только в России, но и за рубежом. Наглядным подтверждением тому явилась Нью-Йоркская трагедия 11 сентября 2001 г.

Особенность вынужденной эвакуации заключается в том, что процесс движения людей в силу угрожающей им опасности инстинктивно начинается одновременно в одном направлении в сторону выходов, при известном проявлении физических усилий у части эвакуирующихся. Это приводит к тому, что проходы быстро заполняются людьми при определенной плотности людских потоков. С увеличением плотности потоков скорости движения снижаются, что создает вполне определенный ритм и объективность процесса движения. Если при нормальном движении процесс эвакуации носит

произвольный характер (человек волен двигаться с любой скоростью и в любом направлении), то при вынужденной эвакуации это становится невозможным.

Показателем эффективности процесса вынужденной эвакуации является время, в течение которого люди могут при необходимости покинуть отдельные помещения и здание в целом. Безопасность вынужденной эвакуации достигается в случае, если продолжительность эвакуации людей из отдельных помещений или зданий в целом будет меньше продолжительности чрезвычайной ситуации, по истечении которой возникают опасные для человека воздействия.

Кратковременность процесса эвакуации достигается конструктивно-планировочными и организационными решениями, которые нормируются соответствующими СНиПами.

Ввиду того, что при вынужденной эвакуации не каждая дверь, лестница или проем могут обеспечить кратковременную и безопасную эвакуацию (тупиковый коридор, дверь в соседнее помещение без выхода, оконный проем и др.), нормы проектирования оговаривают понятия «эвакуационный выход» и «эвакуационный путь».

Согласно нормам (СНиП 21-01-97, п. 4.1) **эвакуационными выходами** считаются дверные проемы, если они ведут из помещений непосредственно наружу; в лестничную клетку с выходом наружу непосредственно или через вестибюль; в проход или коридор с непосредственным выходом наружу или в лестничную клетку; в соседние помещения того же этажа, обладающие огнестойкостью не ниже III степени, не содержащие производств, относящихся по пожарной опасности к категориям А, Б и В, и имеющие непосредственный выход наружу или в лестничную клетку. Все проемы, в том числе и дверные, не обладающие указанными выше признаками, не считаются эвакуационными и в расчет не принимаются.

К **эвакуационным путям** относят такие, которые ведут к эвакуационному выходу и обеспечивают безопасное движение в течение определенного времени. Наиболее распространенными путями эвакуации являются проходы, коридоры, фойе и лестницы. Пути сообщения, связанные с механическим приводом (лифты, эскалаторы), не относятся к путям эвакуации, так как всякий механический привод связан с источниками энергии, которые могут при пожаре или аварии выйти из строя.

Запасными выходами называют такие, которые не используются при нормальном движении, но могут быть использованы в случае необходимости при вынужденной эвакуации. Установлено, что люди обычно пользуются при вынужденной эвакуации выходами, которые ими использовались при нормальном движении. Поэтому в помещениях с массовым пребыванием людей запасные выходы в расчет эвакуации не принимаются [1].

Основными параметрами, характеризующими процесс эвакуации из зданий и сооружений, являются:

- плотность людского потока [ $D$ ];
- скорость движения людского потока [ $v$ ];
- пропускная способность пути [ $Q$ ];

- интенсивность движения [ $q$ ];
- длина эвакуационных путей, как горизонтальных, так и наклонных [ $l$ ];
- ширина эвакуационных путей [ $b$ ].

**Плотность людских потоков.** Плотность людских потоков можно измерять в различных единицах. Так, например, для определения длины шага человека и скорости его движения удобно знать среднюю длину участка эвакуационного пути, приходящуюся на одного человека. Длина шага человека принимается равной длине участка пути, приходящейся на человека, за вычетом длины ступни (рисунок 1).

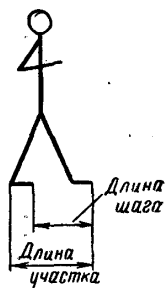


Рисунок 1 – Схема к определению длины шага и линейной плотности

Плотность, измеряемую длиной пути на одного человека, принято называть линейной и измерять в м/чел. Обозначим линейную плотность  $D_l$ . В производственных зданиях или помещениях с небольшой заселенностью плотность может быть более 1 м/чел.

Более наглядной единицей измерения плотности людских потоков является плотность, отнесенная к единице площади эвакуационного пути и выражаемая в чел/м<sup>2</sup>. Эта плотность называется *абсолютной* и получается путем деления количества людей на площадь занятого ими эвакуационного пути и обозначается  $D_F$ . Пользуясь этой единицей измерения, удобно определять пропускную способность эвакуационных путей и выходов. Эта плотность может колебаться от 1 до 10-12 чел/м<sup>2</sup> для взрослых людей и до 20-25 чел/м<sup>2</sup> для школьников.

По предложению кандидата технических наук А. И. Милинского, плотность потоков измеряют как отношение части площади проходов, занятой людьми, к общей площади проходов. Эта величина характеризует степень заполнения эвакуационных путей эвакуирующимися. Часть площади проходов, занятую людьми, определяют как сумму площадей горизонтальных проекций каждого человека (приложение Г, таблица Г.1). Площадь горизонтальной проекции одного человека зависит от возраста, характера одежды и колеблется в пределах от 0,04 до 0,126 м<sup>2</sup>. В каждом отдельном случае площадь проекции одного человека может быть определена, как площадь эллипса

$$f = \pi \frac{ac}{4}, \quad (1)$$

где  $a$  – ширина человека, м;  
 $c$  – его толщина, м.

Ширина взрослого человека в плечах колеблется от 0,4 до 0,8 м, а толщина - от 0,3 до 0,5 м. Имея в виду различный рост людей и некоторую сжимаемость потока за счет одежды, плотность может в отдельных случаях превышать  $1 \text{ м}^2/\text{м}^2$ . Эту плотность назовем *относительной*, или безразмерной, и обозначим  $D_o$ .

В связи с тем, что в потоке встречаются люди различного возраста, пола и различной конфигурации, данные о плотности потоков представляют в известной степени усредненные значения.

Для расчетов вынужденной эвакуации вводится понятие *расчетной* плотности людских потоков. Под расчетной плотностью людских потоков подразумевается наибольшее значение плотности, возможное при движении на каком-либо участке эвакуационного пути. Максимально возможное значение плотности называется предельным. Под предельным подразумевают такое значение плотности, при превышении которого вызывается механическое повреждение человеческого тела или асфиксия.

При необходимости можно от одной размерности плотности перейти к другой. При этом можно пользоваться следующими соотношениями

$$D_o = \frac{f}{D_l a} \quad (2)$$

и

$$D_F = \frac{D_o}{f}, \quad (3)$$

где  $f$  – средний размер площади проекции одного человека,  $\text{м}^2/\text{чел}$ ;  
 $a$  – ширина человека, м.

При массовых людских потоках длина шага ограничивается и зависит от плотности потоков. Если принять среднюю длину шага взрослого человека равной 70 см, а длину ступни – равной 25 см, то линейная плотность, при которой возможно движение с указанной длиной шага, будет

$$D_l = 0,7 + 0,25 = 0,95.$$

Практически считают, что шаг длиной 0,7 м сохранится и при линейной плотности, равной 0,8. Это объясняется тем, что при массовых потоках человек продвигает ногу между впереди идущими, что и способствует сохранению длины шага.

**Скорость движения.** Обследования скоростей движения при предельных плотностях показали, что минимальные скорости на горизонтальных участках пути колеблются в пределах от 15 до 17 м/мин. Расчетная скорость движения,

узаконенная нормами проектирования для помещений с массовым пребыванием людей, принимается равной 16 м/мин.

На участках эвакуационного пути или в зданиях, где заведомо плотности потоков при вынужденном движении будут меньше предельных значений, скорости движения будут соответственно больше. В этом случае при определении скорости вынужденного движения исходят из длины и частоты шага человека. Для практических расчетов можно скорость движения определять по формуле

$$v = n \cdot (D_l - 0,1), \quad (4)$$

где  $n$  – число шагов в мин, равное 100.

Скорость движения при предельных плотностях по лестнице вниз получена 10 м/мин, а по лестнице вверх – 8 м/мин.

**Пропускная способность выходов.** Под удельной пропускной способностью выходов подразумевают количество людей, проходящих через выход шириной в 1 м за 1 мин.

Наименьшее значение удельной пропускной способности, полученное опытным путем, при данной плотности именуется расчетной удельной пропускной способностью. Удельная пропускная способность выходов зависит от ширины выходов, плотностей людских потоков и отношения ширины людских потоков к ширине выхода.

Нормами установлена пропускная способность дверей шириной до 1,5 м, равная 50 чел/м·мин, а шириной более 1,5 м – 60 чел/м·мин (для предельных плотностей).

**Размеры эвакуационных путей.** Кроме размеров эвакуационных путей и выходов, нормы регламентируют их конструктивно-планировочные решения, обеспечивающие организованное и безопасное движение людей.

При нормировании исходили из того, что количество эвакуационных путей, выходов и их размеры должны одновременно удовлетворять четырем условиям:

1) наибольшее фактическое расстояние от возможного места пребывания человека по линии свободных проходов или от двери наиболее удаленного помещения  $l_\phi$  до ближайшего эвакуационного выхода должно быть меньше или равно требуемому по нормам  $l_{mp}$

$$l_\phi \leq l_{mp}; \quad (5)$$

2) суммарная ширина эвакуационных выходов и лестниц  $b_\phi$ , предусмотренная проектом, должна быть больше или равна требуемой по нормам  $b_{mp}$

$$b_\phi \geq b_{mp}; \quad (6)$$



3) количество эвакуационных выходов и лестниц по соображениям безопасности должно быть, как правило, не меньше двух;

4) ширина эвакуационных выходов и лестниц не должна быть меньше или больше значений, предусмотренных нормами [2].

Обычно в производственных зданиях протяженность путей эвакуации измеряют от наиболее удаленного рабочего места до ближайшего эвакуационного выхода. При этом косвенно увеличивается общая продолжительность эвакуации людей из здания в целом. В многоэтажных зданиях протяженность путей эвакуации в помещениях будет меньше, чем в одноэтажных. Протяженность путей эвакуации для общественных и жилых зданий предусматривается, как расстояние от дверей наиболее удаленного помещения до выхода наружу или в лестничную клетку с выходом наружу непосредственно или через вестибюль. Обычно при назначении величины предельного удаления учитываются назначение здания и степень огнестойкости.

Существует четыре категории помещений по пожарной опасности в зависимости от характеристики веществ и материалов, находящихся или обрабатываемых в них (см. приложение А) [3]. Производства категорий А и Б, в которых обращаются жидкости и газы, представляют особую опасность при пожарах в силу возможности быстрого распространения горения и задымления зданий, поэтому протяженность путей для них является наименьшей. В производствах категории В, где обращаются твердые горючие вещества, скорость распространения горения меньше, срок эвакуации может быть несколько увеличен, а следовательно, и протяженность путей эвакуации будет больше, чем для производства категорий А и Б. В производствах категорий Г и Д, размещаемых в зданиях I и II степеней огнестойкости, протяженность путей эвакуации не ограничивается.

Степень огнестойкости зданий определяется минимальными пределами огнестойкости строительных конструкций и максимальными пределами распространения огня по этим конструкциям, при определении степени огнестойкости необходимо воспользоваться приложением Б.

Степень огнестойкости здания также влияет на протяженность эвакуационных путей, так как она предопределяет скорость распространения горения по конструкциям. В зданиях I и II степеней огнестойкости протяженность путей эвакуации при прочих равных условиях будет больше, чем в зданиях III, IV и V степеней огнестойкости.

В отличие от материалов, изделий и конструкций, имеющих материальное воплощение, образцы которых могут быть испытаны до их реализации, эвакуация людей в чрезвычайных условиях не может быть "испытана" заблаговременно. По этому инструменту ее оценки является моделирование и разрабатываемые на его основе методы аналитического расчета. К сожалению, далеко не всегда аналитические методы определения расчетного времени (заметим, кстати, как и допустимой продолжительности) эвакуации могут заменить методы моделирования такого сложного процесса, как эвакуация людей.

## 1 Допустимая продолжительность эвакуации и мероприятия для ее осуществления

Характерная особенность современного строительства - увеличение количества зданий с массовым пребыванием людей. К их числу можно отнести крытые культурно-спортивные комплексы, кинотеатры, клубы, магазины, производственные и жилые здания и т.д. Чрезвычайные ситуации в таких помещениях нередко сопровождаются травмированием и гибелью людей. В первую очередь это относится к быстроразвивающимся пожарам, представляющим реальную опасность для человека уже через несколько минут после их возникновения и отличающимся интенсивным воздействием на людей опасных факторов пожара (ОФП): высоких температур, снижения концентрации кислорода в воздухе помещений и возможности потери видимости вследствие задымления зданий.

Под критической продолжительностью пожара подразумевается время, по истечении которого возникает опасная ситуация вследствие достижения одним из ОФП предельно-допустимого для человека значения [3]. При этом предполагается, что каждый опасный фактор воздействует на человека независимо от других, так как комплексное воздействие изменяющихся во времени различных качественных и количественных сочетаний факторов, характерных для начального периода развития пожара, оценить в настоящее время не представляется возможным. Критическая продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара определяется из условия достижения одним из ОФП в поэтажном коридоре своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара рассматривается условие достижения предельно допустимого значения одним из ОФП на лестничной клетке на уровне этажа.

На основе проведенных во ВНИИПО МВД России теоретических и экспериментальных исследований динамики ОФП, действующих на критической для человека стадии пожара в помещениях различного назначения была ориентировочно определена допустимая продолжительность эвакуации  $\tau_{доп}$  для общественных (таблица 1.1) и производственных (таблица 1.2) зданий. При этом в качестве предельно-допустимых для людей уровней ОФП использовались значения, полученные в результате медико-биологических исследований воздействия на человека различных опасных факторов.

Таблица 1.1 - Нормативное время эвакуации из общественных зданий

Степень огнестойкости	Допустимая продолжительность эвакуации $\tau_{доп}$ , мин
I и II	до 6
III и IV	до 4
V	до 3

Таблица 1.2 - Нормативное время эвакуации из производственных зданий

Категория производства	Допустимая продолжительность эвакуации $t_{доп}$ , мин, из производственных зданий I, II и III степени огнестойкости
А, Б, Е	до 4
В1, В2, В3 и В4	до 6
Г, Д	до 8

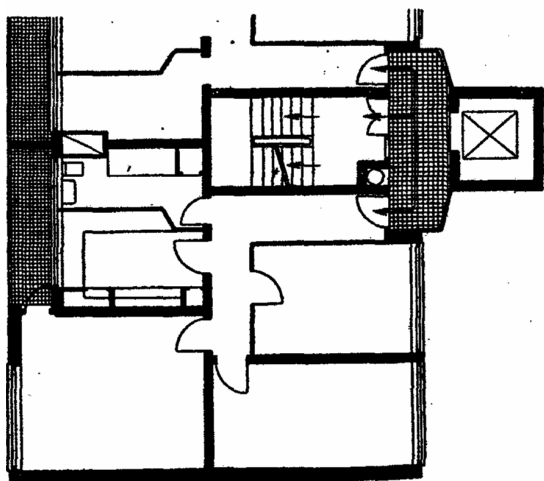
Для зданий IV степени огнестойкости необходимая продолжительность эвакуации уменьшается на 30 %, а для зданий V степени огнестойкости – на 50 %.

В зданиях, в которых не может быть обеспечена эвакуация людей в течение указанного времени, должны осуществляться соответствующие мероприятия:

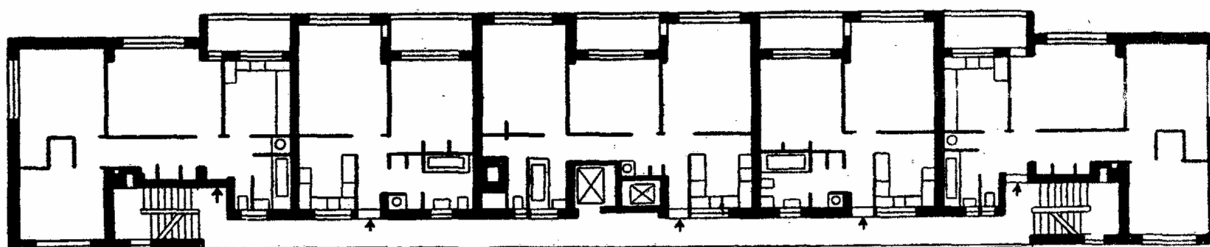
- создание незадымляемых эвакуационных путей: лестниц со входом в воздушную зону – балкон, лоджию, галерею (см. рисунок 2, а, б);
- подачей звуковых и световых сигналов во все помещения здания с постоянным или временным пребыванием людей;
- трансляцией текстов о необходимости эвакуации, путях эвакуации, направлении движения и других действиях, направленных на обеспечение безопасности людей;
- трансляцией специально разработанных текстов, направленных на предотвращение паники и других явлений, усложняющих эвакуацию;
- размещением эвакуационных знаков безопасности (указателей) на путях эвакуации;
- включением эвакуационного освещения;
- дистанционным открыванием дверей эвакуационных выходов (например, оборудованных электромагнитными замками);
- установку автоматической пожарной сигнализации, состоящую из пожарных извещателей и приемного устройства на посту-диспетчерской;
- приобретение устройств типа «самоспасатель» для эвакуации людей с верхних этажей многоэтажных зданий (см. рисунок 3);
- обучение рабочих, служащих и персонала учреждений поведению в условиях ЧС.

Весь комплекс вышеперечисленных мероприятий и технических средств предназначен для своевременного сообщения людям информации о возникновении чрезвычайной ситуации, о необходимости и возможных путях эвакуации.

а)



б)



а – вход в лестничную клетку через балкон;

б – вход в лестничную клетку через галерею.

Рисунок 2 – Незадымляемые лестницы

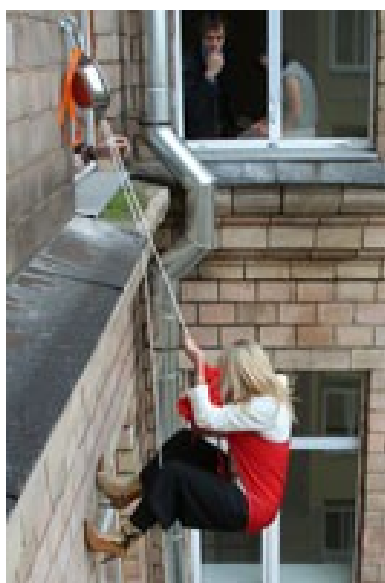


Рисунок 3 – Эвакуация людей с помощью самоспасателя «Барс»

## 2 Задержка начала эвакуации

Необходимость учета времени начала эвакуации впервые в нашей стране установлена ГОСТ 12.1.004-91 [4]. Исследования, проведенные в различных странах, показали, что при получении сигнала о пожаре, человек будет исследовать ситуацию, оповещать о пожаре, пытаться бороться с огнем, собирать вещи, оказывать помощь и т.п. Среднее значение времени задержки начала эвакуации  $\tau_{н.э.}$  (при наличии системы оповещения) может быть невысоким, но может достигать и относительно высоких значений. Например, значение 8,6 мин было зафиксировано при проведении учебной эвакуации в жилом здании; 25,6 мин - в здании Всемирного Торгового Центра при пожаре в 1993 году [5].

Ввиду того, что продолжительность этого этапа существенно влияет на общее время эвакуации, очень важно знать, какие факторы определяют его величину (следует иметь ввиду, что большинство этих факторов также будут влиять на протяжении всего процесса эвакуации). Опираясь на существующие работы в этой области, можно выделить следующие:

- состояние человека: устойчивые факторы (ограничение органов чувств, физические ограничения), временные факторы (сон/бодрствование, усталость, стресс, а также состояние опьянения);
- система оповещения;
- действия персонала;
- социальные и родственные связи человека;
- противопожарный тренинг и обучение;
- тип здания.

На поведение при чрезвычайной ситуации будет влиять пол и возраст человека, темперамент, а также другие факторы.

Эксперименты, проводимые в настоящее время в университете Ольстера (Великобритания), показывают, что даже служащие торговых комплексов, проходящие регулярный тренинг и имеющие четкие обязанности, при получении сигнала о ЧС не всегда ведут себя адекватно: большинство из них тратят время на сбор дополнительной информации, не все из них сразу начинают эвакуировать посетителей.

В общем, создается впечатление, что большинство людей на этом этапе непродуктивно тратит время, а задержка начала эвакуации ведет к гибели и травмам при ЧС. Поэтому изучение поведения людей в этот период чрезвычайно актуально. К сожалению, в нашей стране не проводятся целенаправленные исследования поведения людей в период с момента возникновения пожара до начала эвакуации с целью установления определенных временных констант. И, по-видимому, даже не анализируется состояние нормирования  $\tau_{н.э.}$  в других странах. Поэтому можно обратиться к британскому стандарту DD240 [6], в котором время задержки начала эвакуации

поставлено в зависимость от функционального назначения здания и системы оповещения о пожаре (приложение В).

### **3 Расчет продолжительности эвакуации из здания**

Продолжительность эвакуации людей до выхода наружу из здания определяют по протяженности путей эвакуации и пропускной способности дверей и лестниц. Расчет ведется для условий, что на путях эвакуации плотности потоков равномерны и достигают максимальных значений.

Согласно ГОСТ 12.1.004-91 (приложение 2, п.2.4), общее время эвакуации людей складывается из интервала «времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей»,  $\tau_{н.э.}$ , и расчетного времени эвакуации,  $t_p$ , которое представляет собой сумму времени движения людского потока по отдельным участкам ( $t_i$ ) его маршрута от места нахождения людей в момент начала эвакуации до эвакуационных выходов из помещения, с этажа, из здания.

ГОСТ 12.1.004-91 предусматривает, что спустя какой-то период времени человек приступит к эвакуации. Однако опросы людей после пожара [5] показали, что около трети из них не захотели эвакуироваться. Эту цифру не следует абсолютизировать — она относится преимущественно к жилым зданиям. Также в определенных случаях эвакуация не является безопасной и целесообразнее оставаться в зданиях. Это относится, прежде всего, к зданиям повышенной этажности и к зданиям, в которых находятся люди с физическими ограничениями. Во всяком случае, эвакуация не всегда должна, а иногда и не может заканчиваться выходом людей наружу сразу же. Вопрос устройства в необходимых случаях безопасных зон обсуждается, как известно, на протяжении десятков лет. Теперь он положительно разрешился, по крайней мере, для зданий с пребыванием маломобильных групп населения.

Решив эвакуироваться, человек будет выбирать возможный маршрут своего движения. И здесь не всегда будет срабатывать стереотип поведения «движение к ближайшему эвакуационному выходу». Многие факторы могут влиять на выбор маршрута, тем более, если угроза опасности не столь очевидна. Воздействие представления об объемно-планировочном решении здания достаточно ясно, но может быть при этом человек будет стремиться быстрее попасть к наружному выходу, ближе к которому он оставил машину или своих близких. Традиционность объемно-планировочных решений, свойственная функциональным типам зданий, помогает человеку сориентироваться должным образом даже в случае, если он попал в данное здание первый раз. На выбор маршрута или его этапов должны оказывать значительное влияние расстояния до эвакуационных выходов и их загрузка. Но и в этом случае не приходится рассчитывать на стереотип «кратчайшего расстояния». Как показали уникальные исследования российских ученых [7], распределение эвакуирующихся из зрелищных залов значительно отличается от указанного стереотипа. Психология поведения человека при выборе маршрутов эвакуации приводит к тому, что и распределение людского потока после выхода из зала происходит не пропорционально расстоянию до последующих

эвакуационных выходов, а описывается сложной логистической зависимостью. В этих исследованиях впервые было показано психологическое влияние возможности визуального восприятия дальнейшего маршрута движения на выбор его направления: до 68 % людей предпочитают эвакуироваться по открытым лестницам, даже если они расположены на тех же расстояниях, что и закрытые лестничные клетки.

Итак, решив эвакуироваться и наметив маршрут, человек начинает двигаться в выбранном направлении по начальному участку пути. Люди, двигающиеся одновременно в одном направлении по общим участкам эвакуационного пути, и образуют людской поток — некую временную совокупность людей, людскую массу, индивидуальное поведение человека в которой значительно нивелируется. Закономерностями движения этой массы людей по эвакуационным путям определяется, как известно, расчетное время эвакуации.

Расчетное время эвакуации людей ( $t_p$ ) следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути  $t_i$

$$t_p = t_{н.э.} + t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_i \quad (7)$$

где  $t_{н.э.}$  - время задержки начала эвакуации;

$t_1$  - время движения людского потока на первом участке, мин;

$t_2, t_3, \dots, t_i$  - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участкам пути, мин.

При расчете весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной  $l_i$  и шириной  $b_i$ . Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п.

При определении расчетного времени длина и ширина каждого участка пути эвакуации принимаются по проекту. Длина пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельным участком горизонтального пути, имеющим конечную длину  $l_i$ .

Время движения людского потока по первому участку пути ( $t_1$ ), мин, вычисляются по формуле

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1}, \quad (8)$$

где  $l_1$  - длина первого участка пути, м;

$v_1$  - значение скорости движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, определяется в зависимости от относительной плотности  $D$ , м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Плотность людского потока ( $D_1$ ) на первом участке пути,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ , вычисляют по формуле

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot b_1}, \quad (9)$$

где  $N_1$  - число людей на первом участке, чел.;

$f$  - средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая по таблице Г.1 приложения Г,  $\text{м}^2/\text{чел}$ ;

$l_1$  и  $b_1$  - длина и ширина первого участка пути, м.

Скорость  $v_i$  движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимается по таблице Г.2 приложения Г в зависимости от значения интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которое вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (10)$$

где  $b_i$ ,  $b_{i-1}$  - ширина рассматриваемого  $i$ -го и предшествующего ему участка пути, м;

$q_i$ ,  $q_{i-1}$  - значения интенсивности движения людского потока по рассматриваемому  $i$ -му и предшествующему участкам пути, м/мин.

Если значение  $q_i$ , определяемое по формуле (10), меньше или равно значению  $q_{max}$ , то время движения по участку пути ( $t_i$ ) в минуту

$$t_i = \frac{l_i}{v_i}, \quad (11)$$

при этом значения  $q_{max}$ , м/мин, следует принимать по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Максимальная интенсивность движения людей

Вид пути	Максимальная интенсивность движения, м/мин
горизонтальный	16,5
дверной проем	19,6
лестница вниз	16
лестница вверх	11

Если значение  $q_i$ , определенное по формуле (10), больше  $q_{max}$ , то ширину  $b_i$  данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие

$$q_i \leq q_{max}. \quad (12)$$



При невозможности выполнения условия (12) интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути  $i$  определяют по таблице Г.2 приложения Г при значении  $D = 0,9$  и более. При этом должно учитываться время задержки движения людей из-за образовавшегося скопления.

При слиянии вначале участка  $i$  двух и более людских потоков (рисунок 4) интенсивность движения ( $q_i$ ), м/мин, вычисляют по формуле

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i}, \quad (13)$$

где  $q_{i-1}$  - интенсивность движения людских потоков, сливающихся в начале участка  $i$ , м/мин;

$b_{i-1}$  - ширина участков пути слияния, м;

$b_i$  - ширина рассматриваемого участка пути, м.

Если значение  $q_i$ , определенное по формуле (13), больше  $q_{max}$ , то ширину  $b_i$  данного участка пути следует увеличивать на такую величину, чтобы соблюдалось условие (12). В этом случае время движения по участку  $i$  определяется по формуле (11).

Интенсивность движения в дверном проеме шириной менее 1,6 м определяется по формуле

$$q_d = 2,5 + 3,75 \cdot b \quad (14)$$

где  $b$  – ширина проема.

Время движения через проем определяется как частное деления количества людей в потоке на пропускную способность проема

$$t_d = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} \quad (15)$$

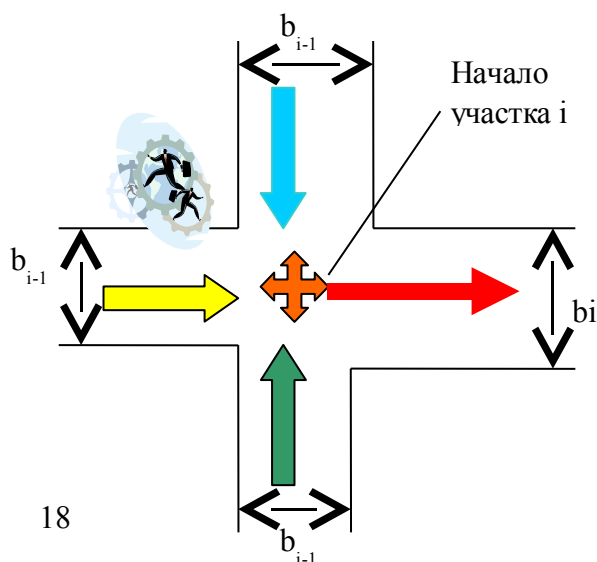


Рисунок 4 - Слияние людских потоков

## **4 Вопросы для самоконтроля**

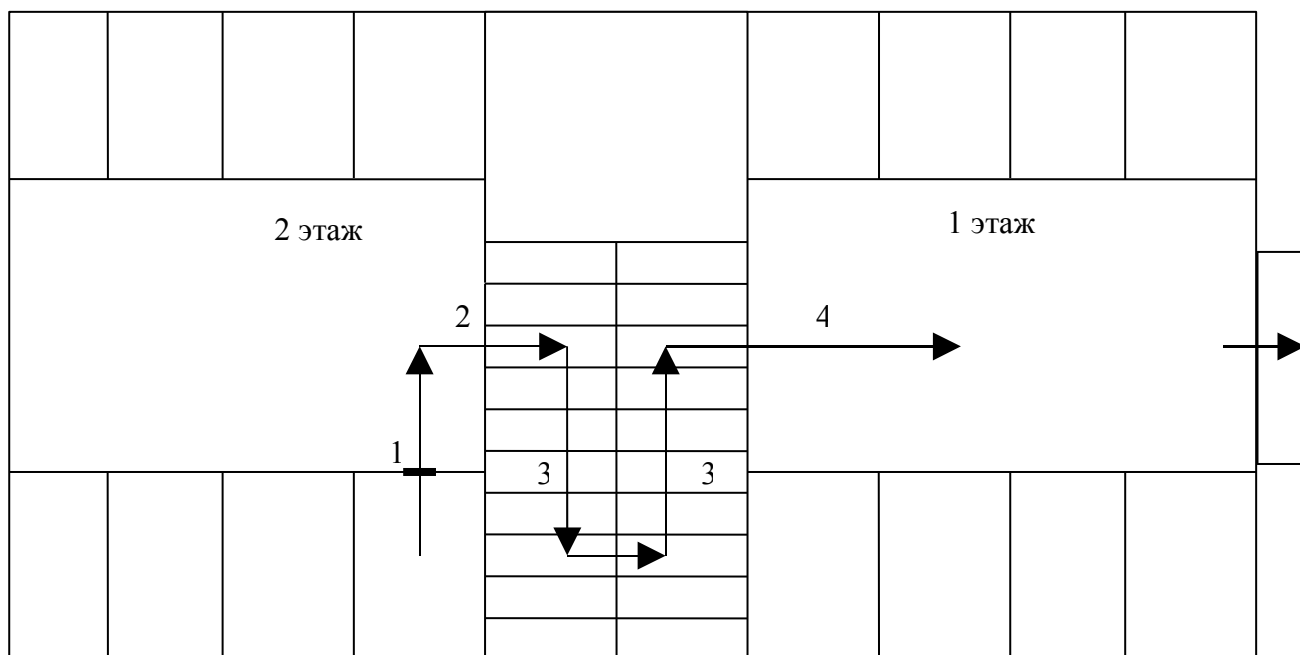
- 4.1 Дать определение эвакуации.
- 4.2 Особенности вынужденного движения людей.
- 4.3 Эвакуационные выходы и пути, их характеристика.
- 4.4 Понятия плотности и скорости людских потоков.
- 4.5 Размеры эвакуационных выходов и их пропускная способность.
- 4.6 Что такое допустимая продолжительность эвакуации и от чего она зависит?
- 4.7 Назовите мероприятия для своевременного сообщения людям информации о возникновении чрезвычайной ситуации.
- 4.8 Назовите технические средства и архитектурно-планировочные решения, необходимые для обеспечения безопасной эвакуации.
- 4.9 Какое время входит в расчетное время эвакуации людей из зданий и сооружений?

## **5 Порядок проведения расчета**

- 4.1 Определить категорию и степень огнестойкости здания (по приложениям А и Б) и допустимую продолжительность эвакуации из здания в целом по таблицам 1.1 и 1.2.
- 4.2 Определить расчетное время эвакуации людей при пожаре, воспользовавшись формулой (7).
- 4.3 Сравнить расчетное и допустимое время эвакуации, сделать выводы о возможных мероприятиях для обеспечения безопасности людей.

## **6 Пример расчета**

Необходимо определить продолжительность эвакуации сотрудников предприятия «Обус» при возникновении пожара в здании. Административное здание панельного типа, не оборудовано автоматической системой сигнализации и оповещения о пожаре. Здание двухэтажное, имеет размеры в плане 12×32 м, в его коридорах шириной 3 м имеются схемы эвакуации людей при пожаре. Рассматриваемый кабинет площадью (6×7) м<sup>2</sup> расположен на втором этаже в непосредственной близости от лестничной клетки, ведущей на первый этаж. Лестничные клетки имеют ширину 1,5 м и длину 10 м. В данном кабинете работает 7 человек. Всего на этаже работают 98 человек. На первом этаже работает 76 человек. Схема эвакуации из здания представлена на рисунке 5.



1,2,3,4 – этапы эвакуации.

Рисунок 5 – Схема эвакуации сотрудников предприятия «Обус»

## 6.1 Расчет продолжительности эвакуации из здания

6.1.1 По категории помещение относится к группе Д и II степени огнестойкости. Допустимая продолжительность эвакуации из здания  $\tau_{доп}$  по таблице 1.1 не должна превышать 6 минут.

6.1.2 Время задержки начала эвакуации принимается 4,1 мин по таблице В.1 приложения В с учетом того, что здание не имеет автоматической системы сигнализации и оповещения о пожаре.

6.1.3 Для определения времени движения людей по первому участку, с учетом габаритных размеров кабинета 6х7 м, определяется плотность движения людского потока на первом участке по формуле (9)

$$D_1 = \frac{N_1 \cdot f}{l_1 \cdot b_1} = \frac{7 \cdot 0,1}{6 \cdot 7} = 0,01 \text{ м}^2/\text{м}^2.$$

По таблице Г.2 приложения Г скорость движения составляет 100 м/мин, интенсивность движения 1 м/мин, т.о. время движения по первому участку

$$t_1 = \frac{l_1}{v_1} = \frac{7}{100} = 0,07 \text{ мин.}$$

6.1.4 Длина дверного проема принимается равной нулю. Наибольшая возможная интенсивность движения в проеме в нормальных условиях  $q_{max} = 19,6$

м/мин, интенсивность движения в проеме шириной 1,1 м рассчитывается по формуле (14):

$$q_d = 2,5 + 3,75 \cdot b = 2,5 + 3,75 \cdot 1,1 = 6,62 \text{ м/мин},$$

$q_d < q_{\max}$  поэтому движение через проем проходит беспрепятственно.

Время движения в проеме определяется по формуле (15)

$$t_{d1} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{7 \cdot 0,1}{6,62 \cdot 1,1} = 0,09 \text{ мин.}$$

6.1.5 Так как на втором этаже работает 98 человек, плотность людского потока второго этажа составит

$$D_2 = \frac{N_2 \cdot f}{l_2 \cdot b_2} = \frac{98 \cdot 0,1}{28 \cdot 3} = 0,11 \text{ м}^2/\text{м}^2,$$

по таблице Г.2 приложения Г скорость движения составляет 80 м/мин, интенсивность движения 8 м/мин, т.о. время движения по второму участку (из коридора на лестницу)

$$t_2 = \frac{l_2}{v_2} = \frac{28}{80} = 0,35 \text{ мин.}$$

6.1.6 Для определения скорости движения по лестнице рассчитывается интенсивность движения на третьем участке по формуле (10)

$$q_i = \frac{q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{8 \cdot 3}{1,5} = 16 \text{ м/мин}, \text{ и это показывает, что на лестнице скорость}$$

людского потока снижается до 40 м/мин. Время движения по лестнице вниз (3-ий участок)

$$t_3 = \frac{l_3}{v_3} = \frac{10}{40} = 0,25 \text{ мин.}$$

6.1.7 При переходе на первый этаж происходит смешивание с потоком людей, двигающихся по первому этажу. Плотность людского потока для первого этажа

$$D_4 = \frac{N_4 \cdot f}{l_4 \cdot b_4} = \frac{76 \cdot 0,1}{28 \cdot 3} = 0,09 \text{ м}^2/\text{м}^2, \text{ при этом интенсивность движения}$$

составит около 8 м/мин.

6.1.8 При переходе на 4-ый участок происходит слияние людских потоков, поэтому интенсивность движения определяется по формуле (13)

$$q_i = \frac{\sum q_{i-1} \cdot b_{i-1}}{b_i} = \frac{(16 \cdot 1,5) + (8 \cdot 3)}{3} = 16 \text{ м/мин.}$$

По таблице Г.2 приложения Г скорость движения равняется 40 м/мин, поэтому время движения по коридору первого этажа

$$t_4 = \frac{l_4}{v_4} = \frac{28}{40} = 0,7 \text{ мин.}$$

6.1.9 Тамбур при выходе на улицу имеет длину 5 метров, на этом участке образуется максимальная плотность людского потока, поэтому согласно данным приложения скорость падает до 15 м/мин, а время движения по тамбуру составит

$$t_5 = \frac{l_5}{v_5} = \frac{5}{15} = 0,3 \text{ мин.}$$

6.1.10 При максимальной плотности людского потока интенсивность движения через дверной проем на улицу шириной более 1,6 м – 8,5 м/мин, время движения через него

$$t_{d2} = \frac{N \cdot f}{q \cdot b} = \frac{174 \cdot 0,1}{8,5 \cdot 2} = 1,02 \text{ мин.}$$

6.1.11 Расчетное время эвакуации рассчитывается по формуле (7)

$$t_P = t_{H.Э.} + t_1 + t_{d1} + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_{d2} = 4,1 + 0,07 + 0,09 + 0,35 + 0,25 + 0,7 + 0,3 + 1,02 = 6,88 \text{ мин.}$$

6.1.12 Таким образом, расчетное время эвакуации из кабинетов предприятия «Обус» больше допустимого. Поэтому здание, в котором располагается предприятие, необходимо оборудовать системой оповещения о пожаре, средствами автоматической сигнализации.

## 7 Задание к расчету

В трехэтажном административном здании панельного типа возник пожар. Об этом известила сирена пожарной сигнализации. На момент пожара в здании находилось 247 человек. Определить, за какое время эвакуировались 30 человек из конференц-зала, габаритные размеры которого  $L \times B$  м, который находится на третьем этаже, если всего на этаже в это время было 100 человек. Двери конференц-зала выходят в коридор длиной  $l$  м и шириной  $b$  м. В конце коридора располагается лестница шириной 4 м, время движения по которой всех людей, находящихся на этаже было определено экспериментальным путем, и составляет 5 мин, при интенсивности движения людского потока 10 м/мин. На первом этаже здания, в фойе размером 10x7 м, происходит слияние людей первого этажа (в среднем 85 человек) и спускающихся по лестнице. Выход на улицу - через дверной проем 2,5 м.

Размеры зала и коридора в приложении Д, таблица Д.1 – Варианты к расчету.

### Список использованных источников

- 1 Охрана труда в строительстве: учеб. для вузов/ Н.Д. Золотницкий [и др.]. – М.: Высшая школа, 1969. – 472 с.
- 2 Безопасность труда в строительстве (Инженерные расчеты по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»): учеб. пособие/ Д.В. Коптев [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2003.- 352 с.
- 3 **Фетисов, П.А.** Справочник по пожарной безопасности/ П.А. Фетисов – М.: Энергоиздат, 1984. – 262 с.
- 4 **ГОСТ 12.1.004-91.** ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. – Введ. 1992-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с.
- 5 **Самошин, Д.А.** Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы / Д. А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. - № 1. - С.33 - 43.
- 6 Draft British Standard BS DD240 Fire Safety Engineering in Buildings. Part 1: Guide to the Application of Fire Safety Engineering Principles. – British Standards Institution, 1997. – P. 78-80.
- 7 Рекомендации по расчету путей эвакуации из зальных помещений и зданий спортивных сооружений: справочное пособие к СНиП/ А.Н. Овсянников [и др] – М.: Стройиздат, 1991. – 230 с.

**Приложение А**  
(справочное)

**Таблица А.1 – Категории помещений по пожарной опасности**

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А Взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа
Б Взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 Пожароопасная	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А и Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

## Приложение Б (справочное)

**Таблица Б.1 – Степень огнестойкости для различных зданий**

Степень огнестойкости	Конструктивные характеристики
I	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов
II	То же. В покрытиях зданий допускается применять незащищенные стальные конструкции
III	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона. Для перекрытий допускается использование деревянных конструкций, защищенных штукатуркой или трудногорючими листовыми, а также плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня, при этом элементы чердачного покрытия из древесины подвергаются огнезащитной обработке
IIIа	Здания преимущественно с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса — из стальных незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции — из стальных профилированных листов или других негорючих листовых материалов с трудногорючим утеплителем
IIIб	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса - из цельной или клееной древесины, подвергнутой огнезащитной обработке, обеспечивающей требуемый предел распространения огня. Ограждающие конструкции — из панелей или поэлементной сборки, выполненные с применением древесины или материалов на ее основе. Древесина и другие горючие материалы ограждающих конструкций должны быть подвергнуты огнезащитной обработке или защищены от воздействия огня и высоких температур таким образом, чтобы обеспечить требуемый предел распространения огня
IV	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из цельной или клееной древесины и других горючих или трудногорючих материалов, защищенных от воздействия огня и высоких температур штукатуркой или другими листовыми или плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня, при этом элементы чердачного покрытия из древесины подвергаются огнезащитной обработке
IVа	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса — из стальных незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции — из стальных профилированных листов или других негорючих материалов с горючим утеплителем
V	Здания, к несущим и ограждающим конструкциям которых не предъявляются требования по пределам огнестойкости и пределам распространения огня



## Приложение В (справочное)

**Таблица В.1 - Время задержки начала эвакуации**

Тип и характеристика здания	Время задержки начала эвакуации, мин, при типах систем оповещения			
	W1	W2	W3	W4
Административные, торговые и производственные здания (посетители находятся в бодрствующем состоянии, знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	не более 1	3	не более 4	не менее 4
Магазины, выставки, музеи, досуговые центры и другие здания массового назначения (посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	не более 2	3	не более 6	не менее 6
Общежития, интернаты (посетители могут находиться в состоянии сна, но знакомы с планировкой здания и процедурой эвакуации)	не более 2	4	не более 5	не менее 5
Отели и пансионаты (посетители могут находиться в состоянии сна, и быть не знакомыми с планировкой здания и процедурой эвакуации)	не более 2	4	не более 6	не менее 6
Госпитали, дома престарелых и другие тому подобные заведения (значительное число посетителей может нуждаться в помощи)	не более 3	5	не более 8	не менее 8
<p>Примечание - Характеристика системы оповещения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- W1 – оповещение и управление эвакуацией оператором;</li> <li>- W2 – использование записанных заранее типовых фраз и информационных табло;</li> <li>- W3 – сирена пожарной сигнализации;</li> <li>- W4 – без оповещения</li> </ul>				

## Приложение Г (справочное)

### Параметры движения людского потока

Таблица Г.1 - Площадь проекции человека

Характеристика движущегося человека	Значение, м <sup>2</sup> /чел.
Взрослый человек в домашней одежде	0,1
Взрослый человек в зимней одежде	0,125
Взрослый с ребенком на руках	0,26
Взрослый с сумкой	0,16
Взрослый с чемоданом	0,35
Подросток	0,07

Таблица Г.2 - Зависимость скорости и интенсивности движения от плотности людского потока

Плотность потока D, м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Горизонтальный путь		Дверной проем	Лестница вниз		Лестница вверх	
	v, м/мин	q, м/мин	q, м/мин	v, м/мин	q, м/мин	v, м/мин	q, м/мин
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	90	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,1	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,2	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,3	47	14,1	15,6	52	15,6	32	9,6
0,4	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,5	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,6	27	16,2	19,0	24	14,4	18	10,6
0,7	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,8	19	15,2	17,3	13	10,4	10	10,0
0,9 и более	15	13,5	8,5	10	7,2	8	9,9

Примечание - Табличное значение интенсивности движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равное 8,5 м/мин, установлено для дверного проема шириной 1,6 м и более

**Приложение Д**  
**(обязательное)**

**Таблица Д.1 – Варианты к расчету**

№ варианта	L, длина зала, м	B, ширина зала, м	l, длина коридора, м	b, ширина коридора, м
1	31	21	35	4
2	23	13	49	5
3	36	26	36	4
4	33	23	45	5
5	25	15	50	4,5
6	35	25	49	5,5
7	20	10	50	4
8	28	18	44	5
9	38	28	45	5
10	30	20	31	3,5
11	24	14	46	5,5
12	37	27	37	4,5
13	34	24	48	5,5
14	21	11	32	4
15	32	22	47	5,5
16	26	16	42	5
17	20	10	33	4
18	29	19	43	5
19	22	12	38	4,5
20	27	17	30	3
21	21	10	40	3,5
22	24	12	42	3
23	34	11	46	4
24	30	14	44	3
25	22	11	46	3,5
26	28	12	43	4
27	25	13	45	4,5
28	23	11	47	4
29	36	15	41	3
30	20	10	50	4