Эвакуация людей, пути эвакуации и эвакуационные выходы. Основные определения и общие требования.

Эвакуация **(п. 6.2 СНиП 21-01-97*) представляет собой процесс организованного самостоятельного движения людей наружу из помещений, в которых имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара. Эвакуацией также следует считать несамостоятельное перемещение людей, относящихся к маломобильным группам населения, осуществляемое обслуживающим персоналом. Эвакуация осуществляется по путям эвакуации через эвакуационные выходы. Также в обиходе используются термины пожарная эвакуация, эвакуация здания.**

Эвакуация людей**при пожаре (ГОСТ 12.1.033-81*) вынужденный процесс движения людей из зоны, где имеется возможность воздействия на них опасных факторов пожара**

Спасение **(п. 6.3 СНиП 21-01-97*) представляет собой вынужденное перемещение людей наружу при воздействии на них опасных факторов пожара или при возникновении непосредственной угрозы этого воздействия. Спасение осуществляется самостоятельно, с помощью пожарных подразделений или специально обученного персонала, в том числе с использованием спасательных средств, через эвакуационные и аварийные выходы.**

Путь эвакуации **– последовательность коммуникационных участков, ведущих от мест пребывания людей в безопасную зону. Такой путь должен быть защищен требуемым нормами комплексом объемно-планировочных, эргономических, конструктивных и инженерно-технических решений, а также организационных мероприятий.**

Эвакуационный выход **– выход на путь эвакуации ведущий в безопасную при пожаре зону и отвечающий требованиям безопасности.**

Мероприятия, обеспечивающие защиту путей эвакуации.

Объемно-планировочные: кратчайшие расстояния до эвакуационных выходов, их достаточная ширина, изоляция путей эвакуации от пожаро- и взрывоопасных помещений, возможность движения к нескольким эвакуационным выходам и т.п.

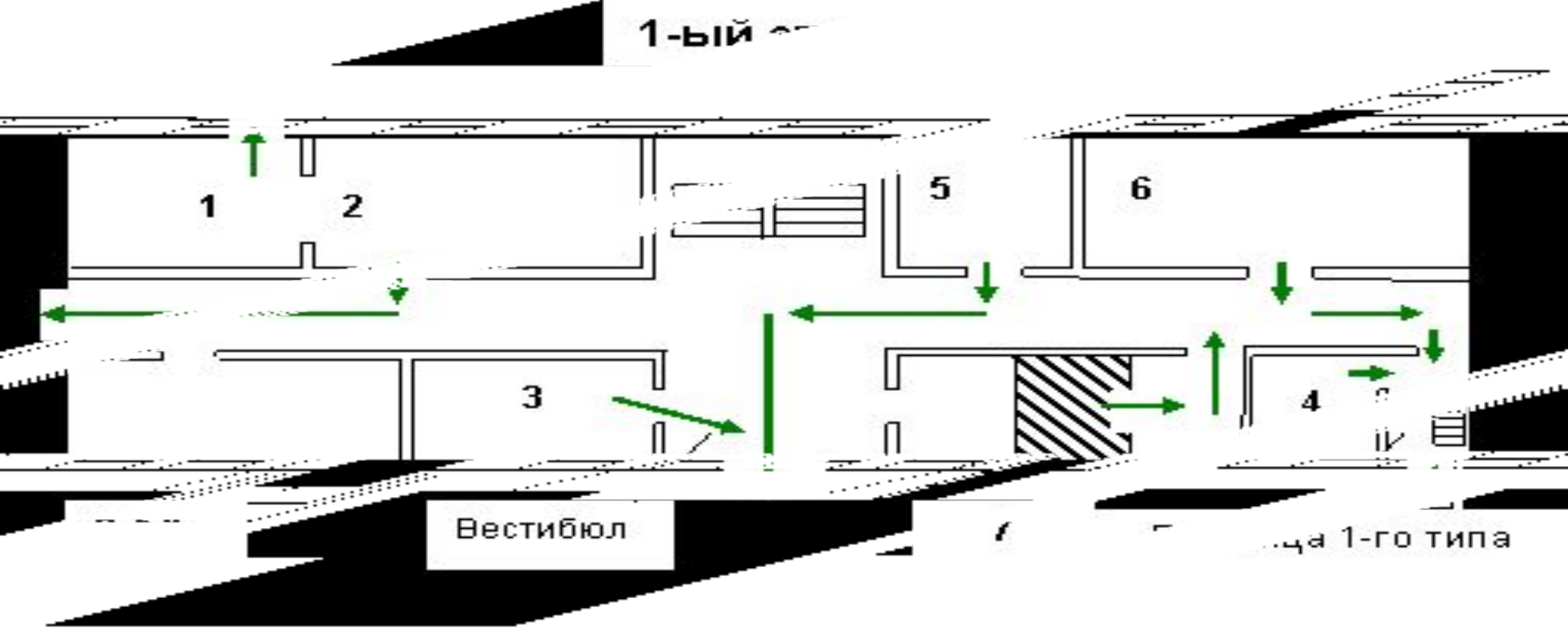
Эргономические: назначение размеров эвакуационных путей и выходов отвечающих антропометрическим размерам людей, особенностям их движения, нормирование усилий при открывании дверей и т.п.

Конструктивные: прочность, устойчивость и надежность конструкций эвакуационных путей и выходов, нормирование горючести отделки на путях эвакуации, перепадов высот на путях движения, размеров ступеней, уклона лестниц и пандусов и др.

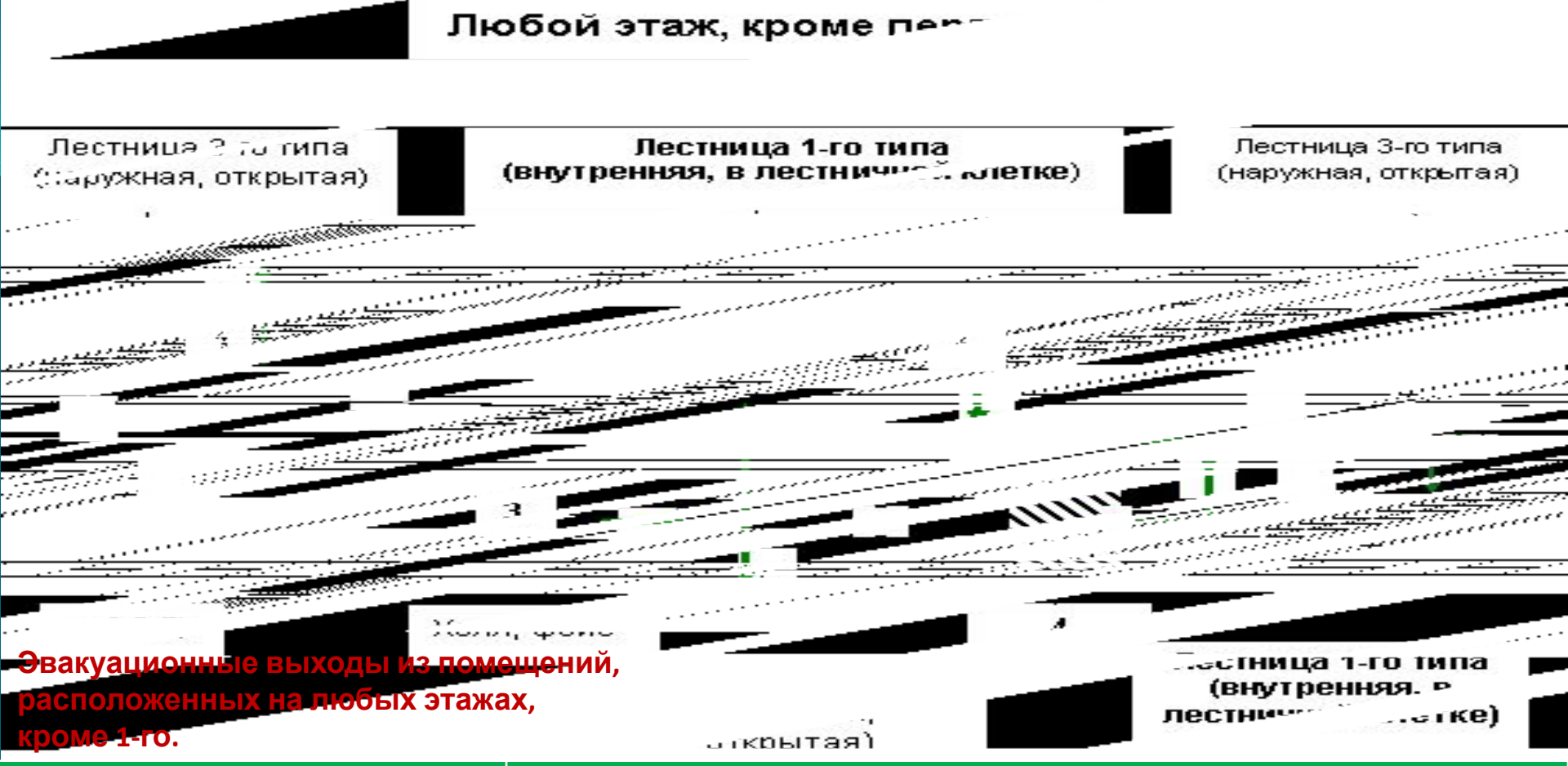
Инженерно-технические мероприятия: организация противодымной защиты, оборудование автоматическими установками пожаротушения, проектирование требуемой освещенности, размещение световых указателей, громкоговорителей системы оповещение и др.

Организационные: обеспечение функционирования всех эвакуационных выходов при пожаре и поддержание на требуемом уровне объемно-планировочных, конструктивных, эргономических и инженерных показателей, например: предупреждение загромождения эвакуационных путей и выходов горючими материалами, а также предметами, уменьшающую их пропускную способность и т.п.

Общие требования к эвакуационным путям и эвакуационным выходам по СНиП 21-01-97* "Пожарная безопасность зданий и сооружений".



Номера маршрутов	Описание маршрута эвакуации из помещений первого наружу:
1	непосредственно;
2	через коридор;
3	через вестибюль (фойе);
4	через лестничную клетку;
5	через коридор и вестибюль (фойе);
6	через коридор и лестничную клетку;
7	в соседнее помещение (кроме помещения категории А и Б), обеспеченное эвакуационными выходами



Эвакуационные выходы из помещений, расположенных на любых этажах, кроме 1-го.

Номера маршрутов	Описание маршрута эвакуации из помещений любого этажа, кроме первого:
1	непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
2	в коридор, ведущий непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
3	в холл (фойе), имеющий выход непосредственно в лестничную клетку или на лестницу 3-го типа;
4	в соседнее помещение (кроме помещения категории А и Б), обеспеченное эвакуационными выходами

Пути эвакуации в пределах помещения

Нормируемые параметры - расстояние от наиболее удаленной точки до выхода из зала, суммарная ширина выходов из залов (помещений), размещение на этажах здания и вместимость.

Для зрительных залов также нормируется число непрерывно установленных мест в ряду: при одностороннем выходе из ряда не более 26, при двустороннем - не более 50 (по п. 1.119 [2]).

В кинотеатрах пути эвакуации не допускается проектировать через помещения, в которых может находиться более 50 чел. Например, через помещение, в котором ожидают сеанса следующая группа зрителей, через кафе и т.п. (по п. 1.124 [2]).

В торговых залах ширина основных эвакуационных проходов в торговом зале должна быть от 1,4 до 2,5м в зависимости от площади торгового зала (по п. 1.111 [2]).

В спортивно-зрелищных зданиях, нормируется количество человек на 1м ширины путей эвакуации с трибун открытых спортивных сооружений (п. 1.114 [2]), количество эвакуирующихся через каждый выход (люк) в крытых спортивных сооружениях (п. 1.116 [2]), а также ширина путей эвакуации на трибунах (п. 1.117 [2]).

Пути эвакуации в пределах этажа

Основными нормируемыми параметрами для коридоров является их ширина, протяженность путей движения и ширина выхода из коридора на лестничную клетку. Как правило, протяженность поставлена в зависимость от расположения помещения - между лестничными клетками или в тупиковом коридоре или холле и определяется в зависимости от плотности людского потока, от степени огнестойкости и функционального назначения здания.

Анализ методологии нормирования процесса эвакуации людей показывает, что критерием для определения помещения с выходом в тупиковый коридор и помещения расположенного между лестничными клетками является количество направлений для эвакуации.

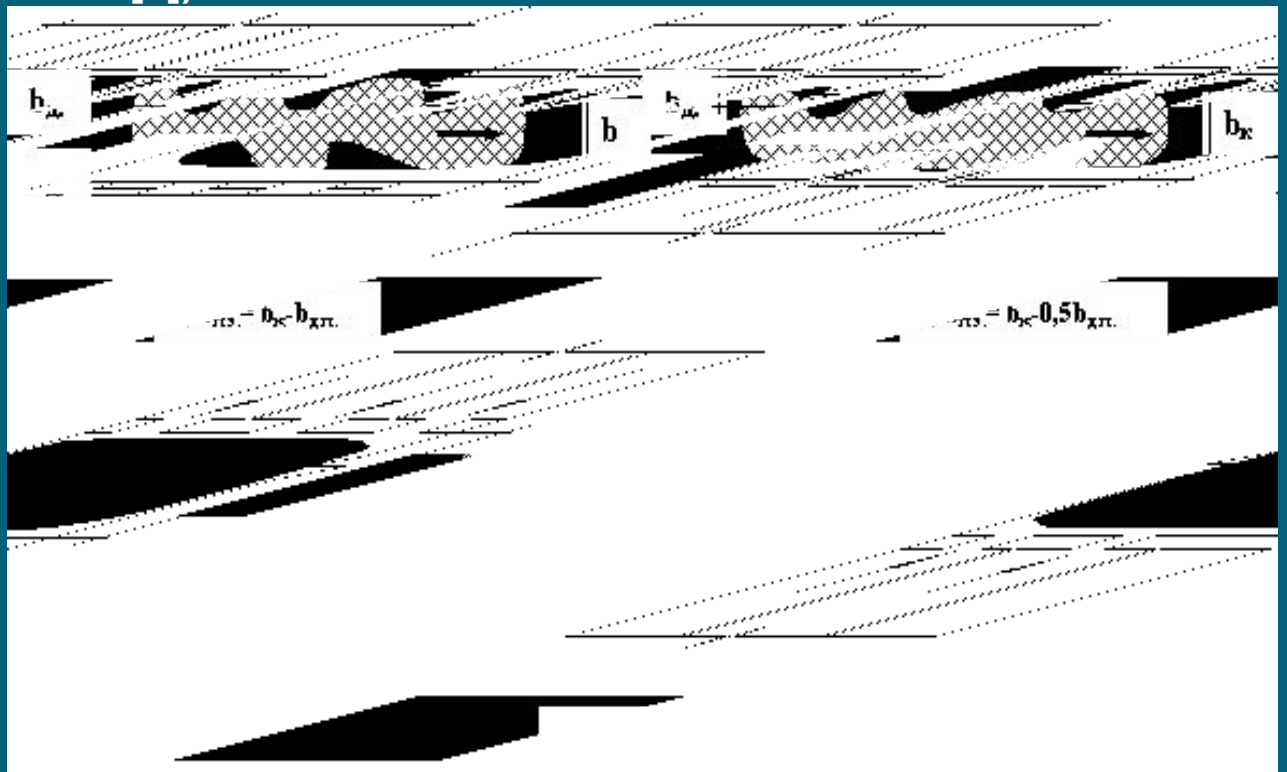
Одно направление эвакуации из помещения – это «помещение с выходом в тупиковый коридор», два и более - «помещение, расположенное между лестничными клетками». Нормируется также вместимость помещений, выходящих в тупиковый коридор, например, для общественных зданий от 80 до 125 человек [2, п. 1.109]

Ширина эвакуационных выходов из коридора на лестничную клетку, а также ширина лестничного марша лестницы поставлена в зависимость от с тепени огнестойкости здания, класса конструктивной пожарной опасности здания, объем и категория помещения.

При дверях, открывающихся из помещений в коридоры, за ширину эвакуационного пути по коридору следует принимать ширину коридора, уменьшенную:

на половину ширины дверного полотна - при одностороннем расположении дверей;

на ширину дверного полотна - при двустороннем расположении дверей, рис. 2 (по п. 6.26* [1])



Ширина пути эвакуации по коридору а), б) по нормам, при двух- и одностороннем открывании дверей; в) вероятный вариант, наблюдаемый в действительности.

Как показывают наблюдения и расчеты, наличие открытых дверей в некоторых случаях не влияет на процесс эвакуации людей, поэтому действительную ширину эвакуационного пути

Пути эвакуации по лестницам и пандусам

На путях эвакуации не допускается устройство винтовых лестниц, лестниц полностью или частично криволинейных в плане, а также забежных и криволинейных ступеней, ступеней с различной шириной проступи и различной высоты в пределах марша лестницы и лестничной клетки (по п. 6.28* [1]).

Нормируется ширина и уклон (рис. 3) лестничных клеток и пандусов.

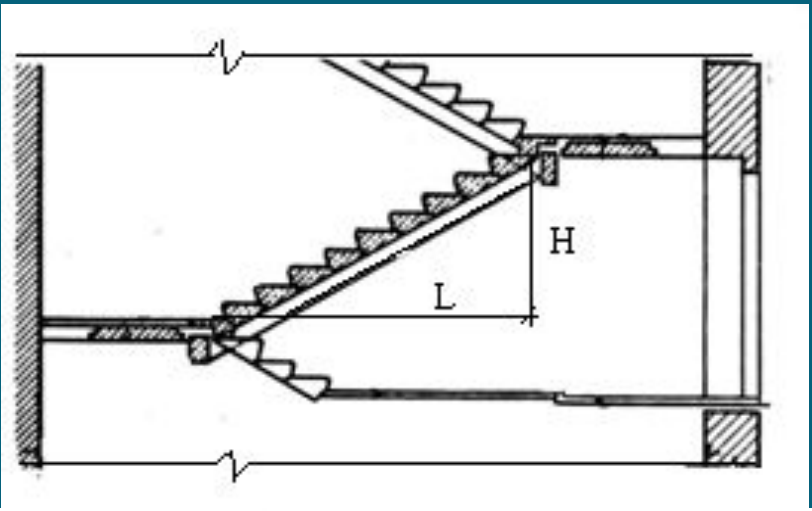
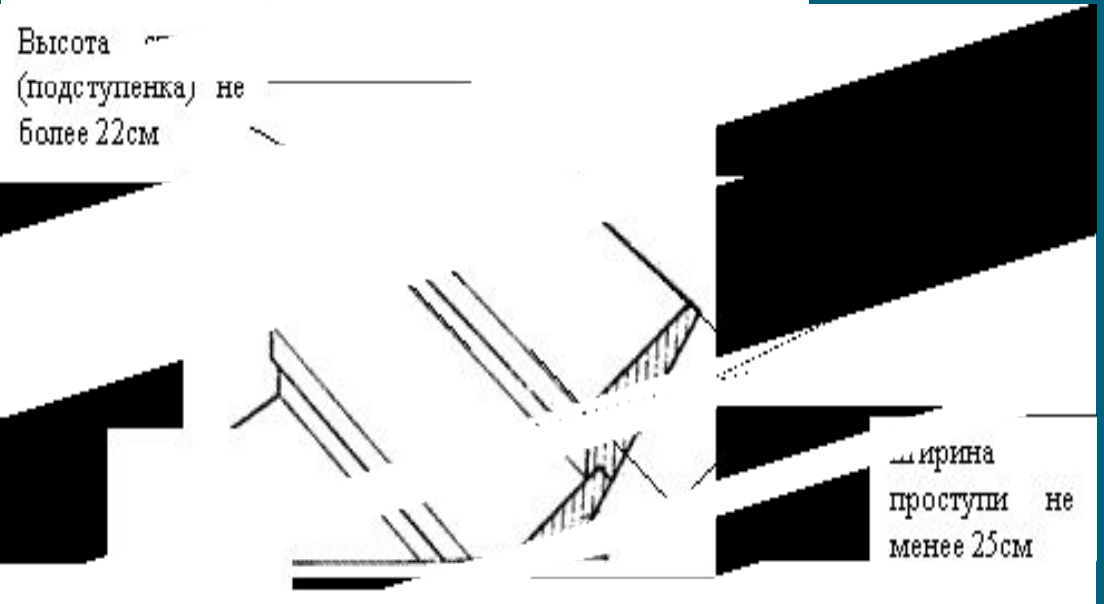


Иллюстрация к определению уклона вертикальных путей эвакуации:

Уклон определяется соотношением H / L , например, если H =1,5м, L=3м, уклон лестницы составляет 1:2

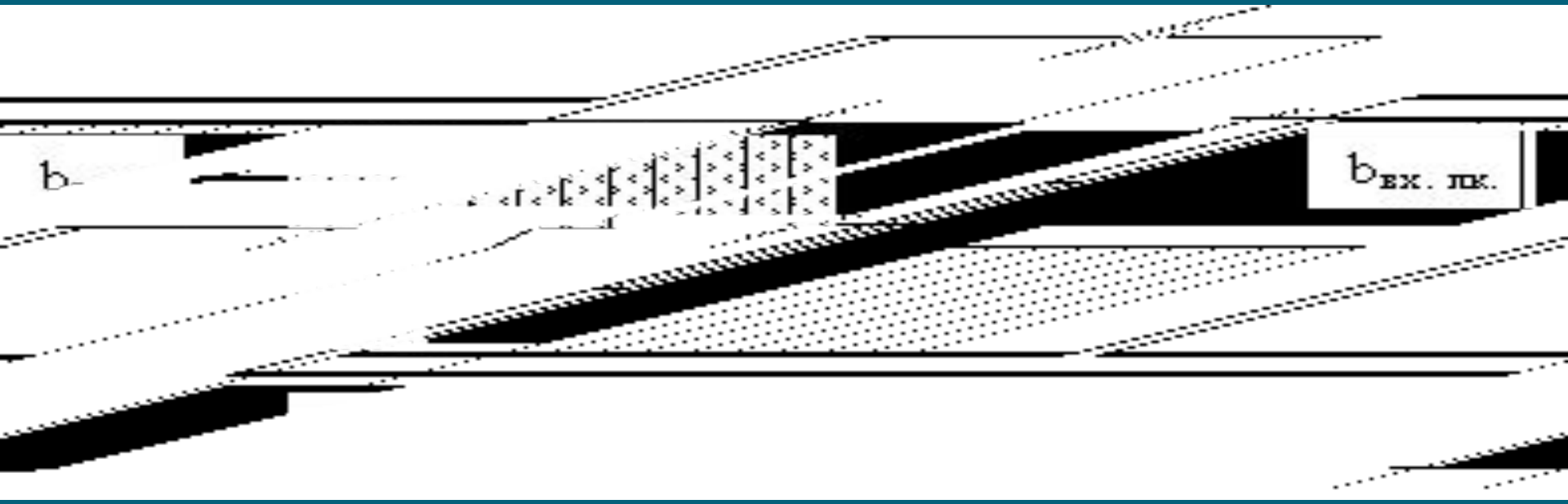
Ширина проступи на лестнице должна быть как правило, не менее 25 см, а высота ступени — не более 22 см (по п. 6.30*[1]),



Нормируемые значения габаритов ступеней

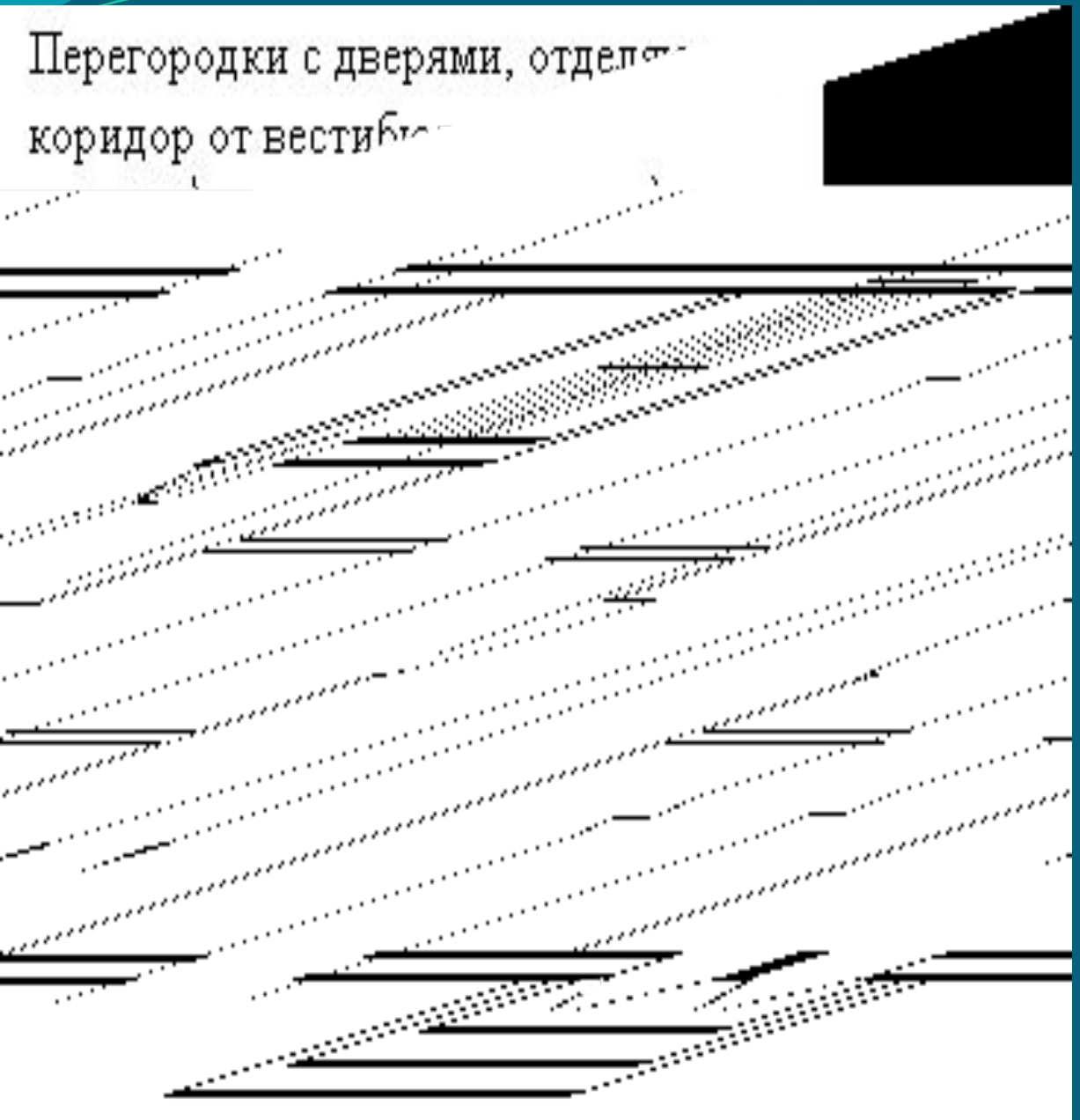
Нормируется число подъемов в одном марше. Например, для общественных зданий между площадками должно быть не менее 3 и не более 16 подъемов. В одномаршевых лестницах, а также в одном марше двух - и трехмаршевых лестниц в пределах первого этажа допускается не более 18 подъемов (по п. 1.90 [2]).

Действующие нормы требуют, что бы ширина площадки была не менее ширины лестничного марша, а ширина лестничного марша должна быть не менее ширины выхода на лестничную клетку (рис.): b л.п. b л.м., а b л.м b вх. лк. (по п. 1.96* [1]), т.к. в противном случае вероятно нарушения условия беспрепятственности движения.



Ширина лестничного марша b л.м, ширина лестничной площадки b л.м и ширина входа в лестничную клетку b вх. лк.

Лестничные клетки должны иметь выход наружу на прилегающую к зданию территорию непосредственно или через вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями, рис. (по п. 6.34* [1]).



Выход из лестничной клетки в вестибюль, отделенный от примыкающих коридоров перегородками с дверями

Выходы из подвальных и цокольных этажей, являющиеся эвакуационными, как правило, следует предусматривать непосредственно наружу обособленными от общих лестничных клеток здания. Допускается эвакуационные выходы из подвалов предусматривать через общие лестничные клетки с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки глухой противопожарной перегородкой 1-го типа, рис.

Выход из подвала предусмотрен через общую лестничную клетку с обособленным выходом наружу, отделенным от остальной части лестничной клетки противопожарной перегородкой 1-го типа.

Наружные открытые лестницы для эвакуации допускается использовать в IV климатическом районе и в III Б климатическом подрайоне (кроме стационарных лечебных учреждений) (по п. 1.99 [1]). В остальных климатических районах допускается использовать указанные лестницы для эвакуации только со второго этажа зданий (кроме зданий школ и школ-интернатов, детских дошкольных учреждений и т. п.), и должны быть рассчитаны на число эвакуируемых в пределах от 30 до 70 чел (по п.1.100 [2]).

Внутренние открытые лестницы широко используются, например, в общественных зданиях. Однако, ввиду их повышенной пожарной опасности их применение ограничено и поставлено в зависимость от степени огнестойкости, назначения здания (в стационарах лечебных учреждений открытые лестницы в расчет эвакуации людей при пожаре не включаются). При использовании в здании внутренних открытых лестниц, нормами вводятся дополнительные требования к объемно-планировочным решениям здания: отделение помещений с такой лестницей от примыкающих к ней коридоров и других помещений противопожарными перегородками, устройстве автоматического пожаротушения во всем здании, ограничение численности внутренних открытых лестниц, дополнительные закрытые лестничные клетки, выход из которых предусмотрен непосредственно наружу.

ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ СЛУЧАИ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКОГО ПОТОКА И ИХ КРАТКОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

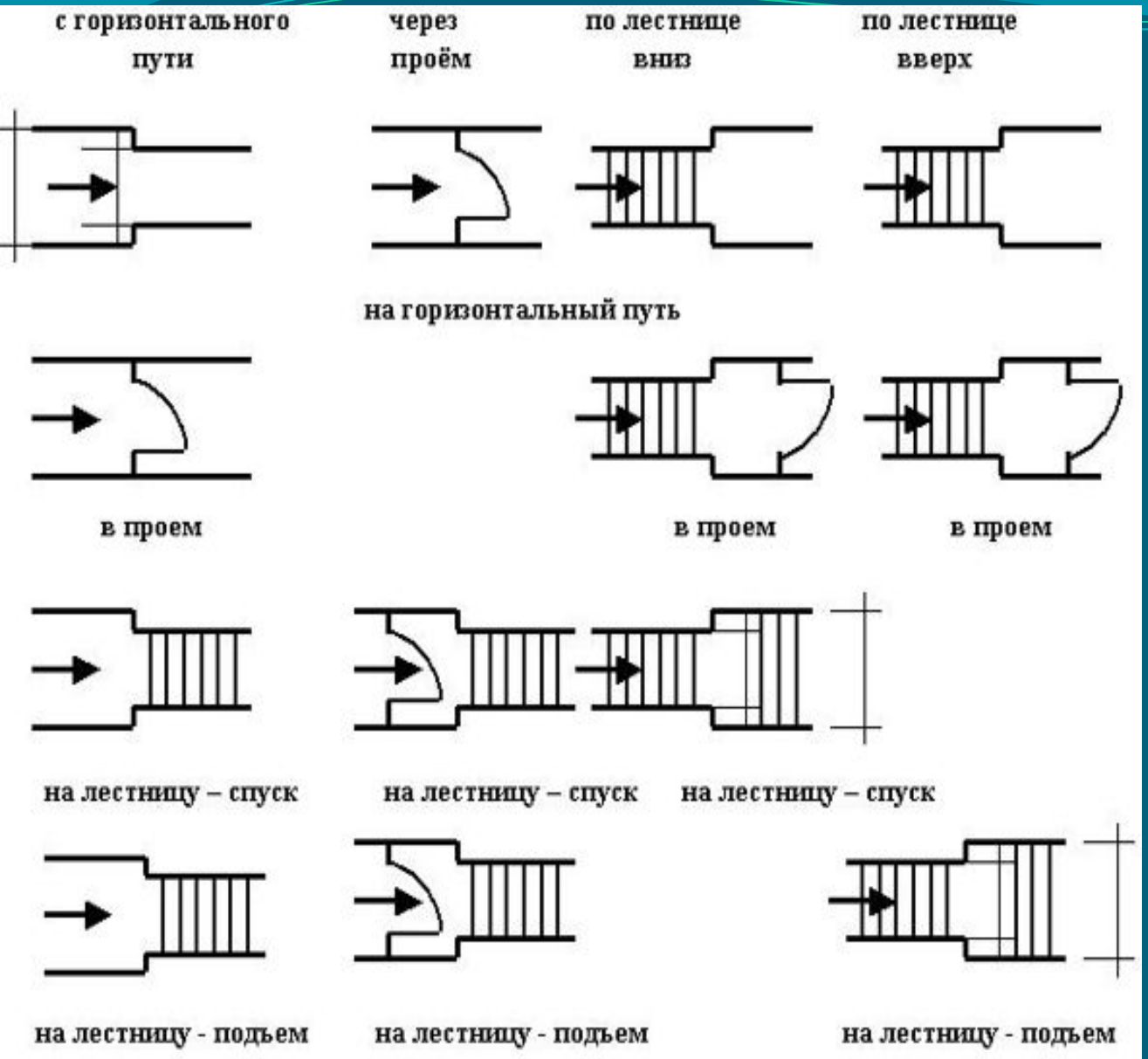
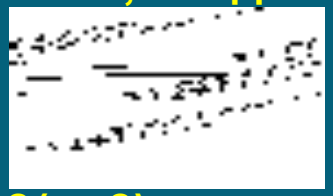


Рис. 1. Сочетание смежных участков пути при движении

Пересечение границы смежного участка пути

Границей смежного участка пути называется сечение пути, где изменяется его ширина или вид (с горизонтального на наклонный и т.п – рис.), а также количество людей при равной ширине и длине участка.

Подойдя по участку *i* к границе с участком *i +1* поток в составе *N* чел за время *t* перейдет на участок *n +1* . Поскольку, количество людей в потоке не изменится, то *N i = b il iD i = N i = b i +1 l i +1 D i +1* , но не известна плотность потока на участке *i +1* , поскольку не известна его длина, образующаяся на нем за время *t = l i / V i* . Но *N i = N i +1* . и *b il iD it = b i +1 l i +1 D i +1 t* , следовательно *b il iD i = b i +1 l i +1 D i +1* и обозначив, *V . D = q* , имеем



Пример 1:

q i =10 м/мин (V i =68,2 м/мин, . D i =0,15м 2/ м 2)

b i =2м

b i +1 =1,5м

Участки пути i и i +1 – горизонтальные, рис.

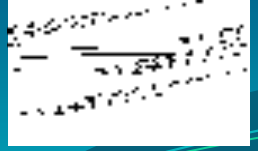
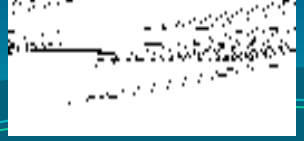
Определить q i+1, V i+1 .D i+1-?

Рис. Пересечение границы смежного участка пути

Решение:

При пересечении границы смежного участка пути возможны два варианта развития событий:

- интенсивность движения подходящего людского потока менее или равна максимально возможной интенсивности для следующего участка пути;
- интенсивность движения подходящего людского потока более максимально возможной интенсивности для следующего участка пути, в таком случае образуется скопление людей (давка) и задержка движения;

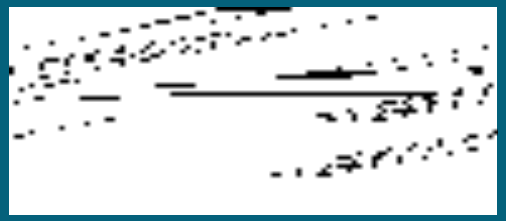
 = 

< q max =16,0 следовательно, движение происходит беспрепятственно, в таком случае *V i +1 =53,1 м/мин, D i +1 =0,29м 2/м 2*

2. Слияние людских потоков

Слияние людских потоков – процесс формирования потока с объединенными параметрами при соединении различных людских потоков.

При слиянии людских потоков справедливы те же закономерности изменения параметров движения людских потоков через границы смежных участков:



Пример 2:

q i =10 м/мин (V i =68,2 м/мин, D i =0,15 м 2/м 2)

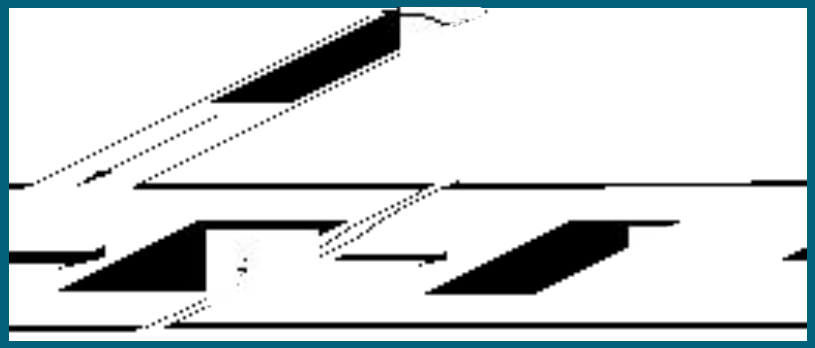
b i , b i +1 =2м

q j =3 м/мин (V i =100 м/мин, D i =0,03 м 2/м 2)

b j =1,5м

Участки пути горизонтальные.

Определить q i+1, V i+1 .D i+1-?



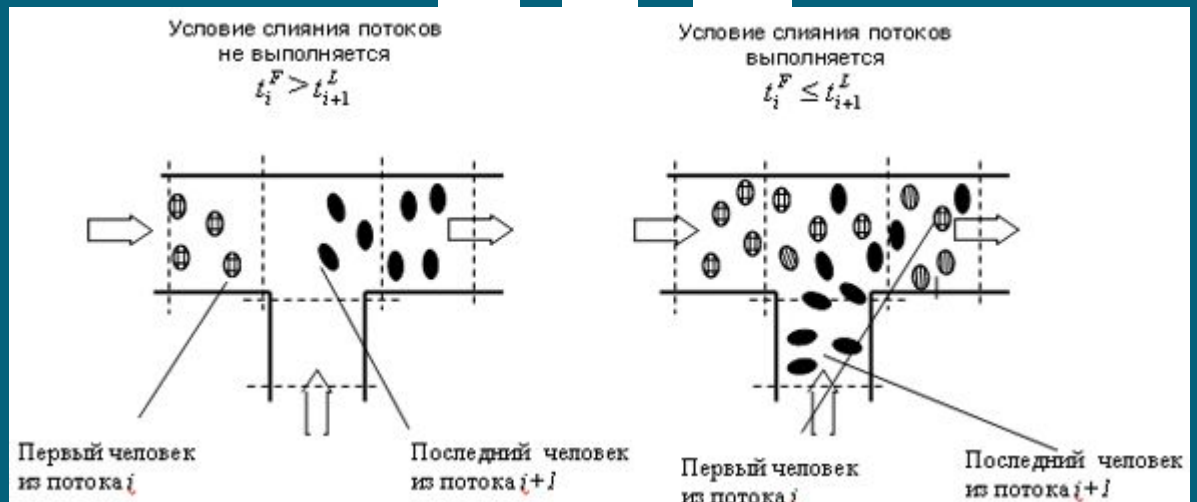
Слияние людских потоков

Общая расчетная формула:

q i , q j , q i +1 - интенсивность движения на участках *i , j , i +1* , м/мин
b i , b j , b i +1 - ширина участков, *i , j , i + 1 , м*
Расчет:

=

< q max =16,0м/мин,* следовательно, движение происходит беспрепятственно, в таком случае *V i +1 =58,3м/мин, D i +1 =0,21м 2/м2
Очевидно, что одновременный подход головных частей потока к месту слияния в практике практически не встречается. Как правило, люди из боковых проходов выходят либо в общий проход без слияния, либо вклиниваясь в поток идущих людей. Слияние людских потоков происходит при выполнении условия слияния потоков: первый человек из потока *i* должен подойти к месту слияния до того, как последний человек из потока *i +1* пройдет место слияния потоков. рис., т.е.:



Движение в боковом проходе происходит с параметрами:
D =0.1 м2/м2, V =80 м/мин
Движение в общем проходе происходит с параметрами:
D =0.05 м2/м2, V =100 м/мин
Участки пути горизонтальные, рис.
Проверитьслияние людских потоков 1 и 2

Условие слияния людских потоков

Рассмотрим два варианта а) при L =10м и б) при L =15м

Время выхода последнего человека из бокового прохода 1:

= l / V =10/80=0,125мин

а) время подхода первого человека из бокового прохода 2 к предполагаемому месту слияния людских потоков:

= l / V =10/100=0,1мин

Тогда, < , следовательно, происходит слияние людских потоков.

б) время подхода первого человека из бокового прохода 2 к предполагаемому месту слияния людских потоков:

= l / V =15/100=0,15мин

Тогда, > , следовательно, слияния людских потоков не происходит.

Образование скоплений людей (давки) и задержки движения

Скопление людей образуется в случае если в единицу времени по участку пути *i*подходит больше людей, чем способен пропустить следующий *i +1.* Тогда, перед границей участка *i +1* задерживается часть людей, которая в последующие моменты времени растет. На границе смежных участков образуется скопление людей, т.н. давка. Плотность потока в чрезвычайной ситуации в скоплении достигает (при ручном счете – мгновенно, на самом деле в течении 5-7с) максимальных значений. В нормальных условиях значение максимальных плотностей, как показывают натурных наблюдения, не превосходят 5 чел/м 2. В чрезвычайной же ситуации оно достигает значений 9 чел/м 2 и более. При расчетах признаком образования скопления является

Как известно, каждому значению интенсивности соответствует определенное значение плотности. Значению интенсивности q max соответствует значение плотности около 0,5 м 2/м 2.

В некоторых случаях, не таких уж впрочем редких, на рассматриваемом участке пути плотность людского потока достигает значений 0,6-0.9 м 2/м 2 но на несколько секунд, т.е. говорить о задержке движения не приходится. Однако, при использовании графоаналитического метода, условие образования скопления формализово, и далее, расчет ведется исходя из того, что возникло скопление людей, что в действительности не наблюдается. Это ведет к значительному искажению действительной картины движения людского потока.

Пример 4:

q i =13 м/мин

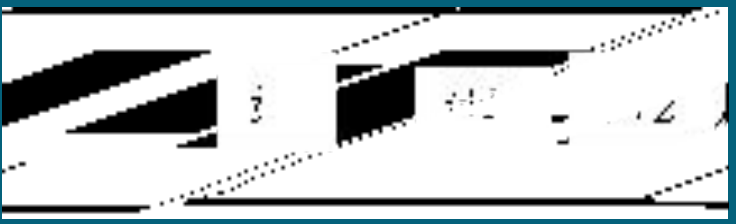
b i =2м

b i +1 =1,2м

N =50 чел или 6,25м 2 в зимней одежде

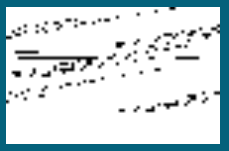
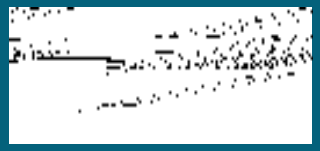
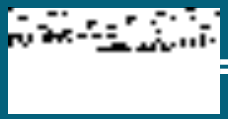
Участи пути i , , i +2 - горизонтальный, i +1 – дверной проем, рис.6.

Проверить беспрепятственность движения



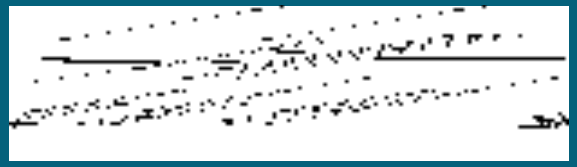
Образование скопления людей при пересечении границы смежного участка пути

Решение.

 =  , т.е.  =19,6 м/мин для дверного проема,

следовательно, образуется скопление людей.

При образовании скопления людей движения людского потока затруднено, люди задерживаются на границе смежных участков. Поэтому, необходимо определить в ремя задержки движения – разницу между временем прохождением потока смежного участка пути при образовании скопления и при беспрепятственном движении, т.е. движении без скопления. Значение времени определяется по известной формуле:



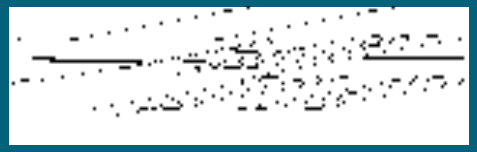
где, - интенсивность движения через участок *i +1* (дверной проем) при максимальной плотности людского потока. Для дверного проем шириной 1,2м интенсивность движения составит

=2,5+3,75 b =2,5+3,75x1,2=7 м/мин;

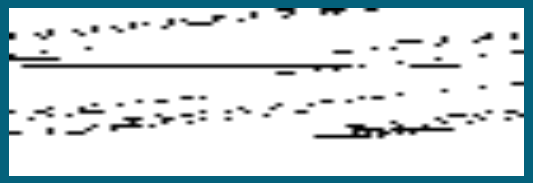
где, интенсивность движения до образования скопления, м/мин;

b i , b i +1 – ширины участка горизонтального участка пути i и дверного проема i + 1, м.

Для дверного проем шириной 1,2м интенсивность движения составит =2,5+3,75 b =2,5+3,75x1,2=7 м/мин

 = 6,25(0,12-0,04)=0,5 мин

Следует отличать вышеуказанный термин от понятия времени существования скопления – времени от момента возникновения скопления до момента его рассасывания. Время существования скопления определяется по формуле:



Расчетное время эвакуации определяется как сумма времени движения людей по участкам пути и времени задержки движения, если ее невозможно устранить.

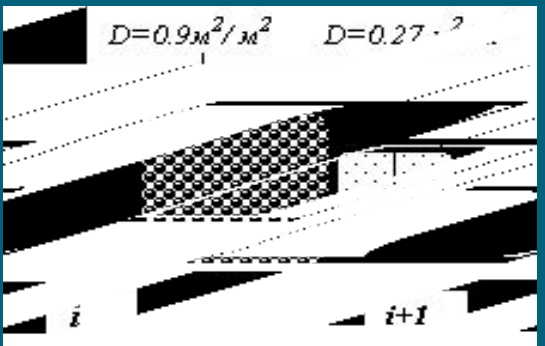
4. Разуплотнение людского потока

Явление разуплотнения состоит в том, что при образовании скопления с максимальной плотностью перед границей смежного участка пути на последующем участке плотность оказывается значительно меньше. При переходе людским потоком границы между участками происходит как бы мгновенная перестройка его структуры, и его головная часть, попадая на участок *i+1* занимает большую площадь по длине пути, увеличив собственно скорость движения и сохранив прежнюю интенсивность.

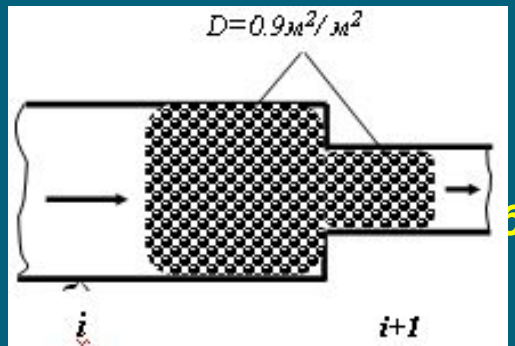
Пример 5.

Перед сужением пути (на границе участков *i* и *i +1*) образуется скопление людей с плотностью D i =0,9 м2/м2, рис.

Определить q i+1, V i+1 .D i+1-?



а)

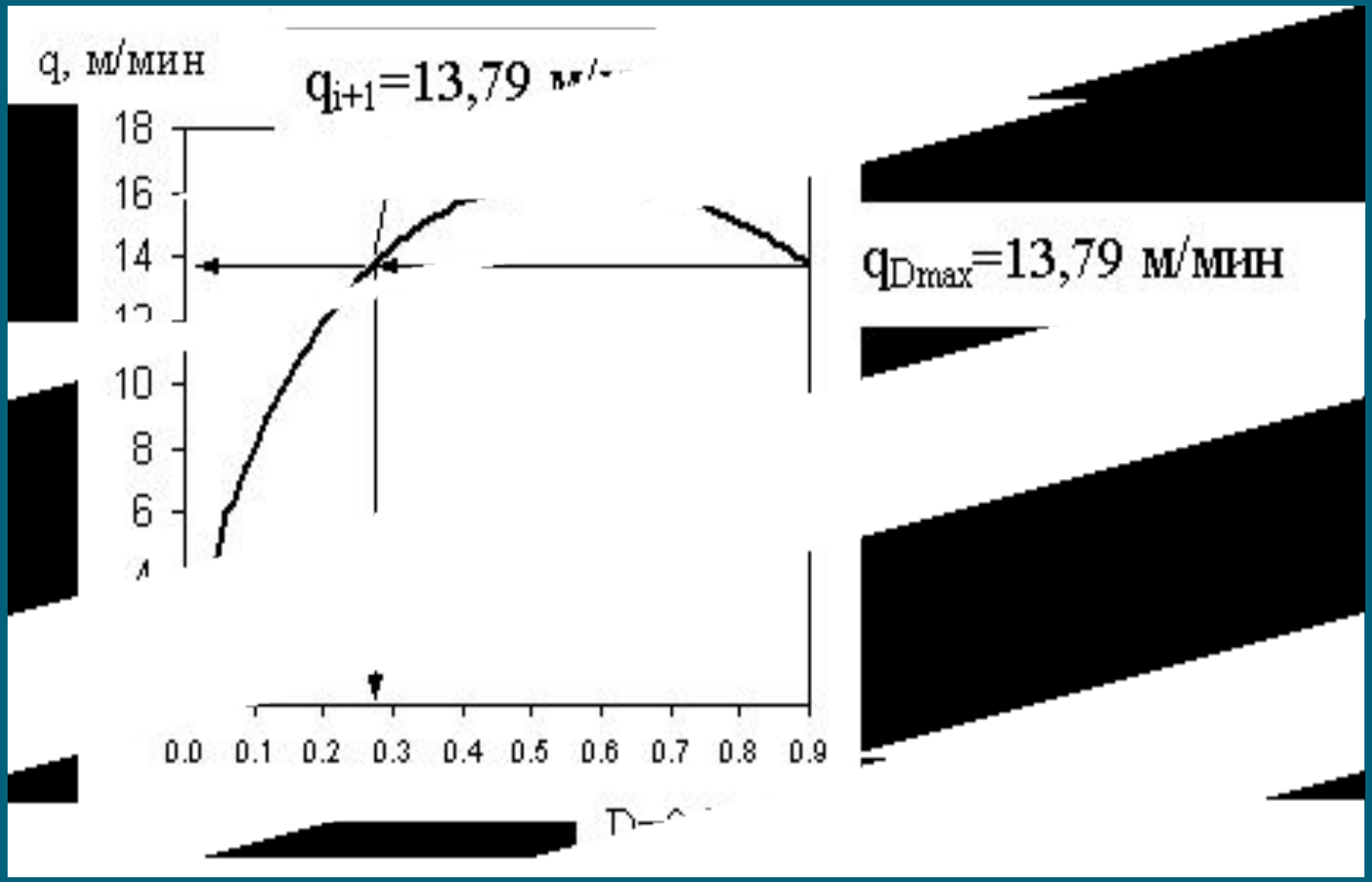


б)

Разуплотнение людского потока
а) в действительности;
б) согласно ГОСТ 12.1.004-91*;

Решение.

а) Перед сужением пути образуется скопление D i=0,9 м 2/м 2. Тогда, параметры движения на участке *i+1* (см. рис.) согласно [3]: q i+1=13,79 м/мин, D i+1=0,27 м 2/м 2; следовательно V i+1 =50,8 м/мин.



Определение параметров людского потока при разуплотнении

б) Перед сужением пути образуется скопление D i =0,9 м 2/м 2.

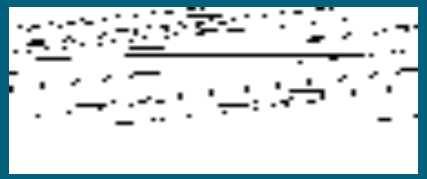
Тогда, согласно ГОСТ 12.1.004-91* «*интенсивность и скорость движения людского потока по участку пути [i +1] определяют ... при значении D =0,9 и более»,* т.е. D i +1 =0.9м 2/м 2, V i +1 =15 м/мин.

Переформирование людского потока

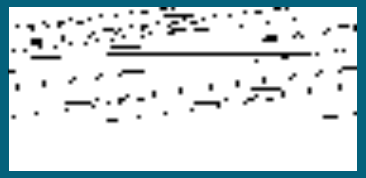
При движении людских поток по участкам пути, весьма вероятны случаи, когда объединенный людской поток имеет несколько зон с различной плотностью рис. 9. Переформирования людского потока – процесс выравнивания параметров движения в различных частях потока. В результате, вне зависимости от исходных параметров, каждая часть потока приобретает параметры впередиидущей части. Скорость переформирования V ’ – скорость движения границы увеличения впередиидущей части – определяется скоростью перемещения границы между частями потока с различной плотностью.

Схема людского потока с различными плотностями

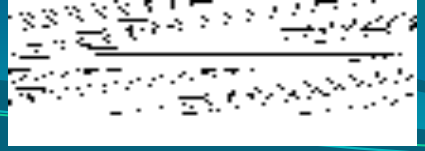
Скорость переформирования определяется из соотношения:



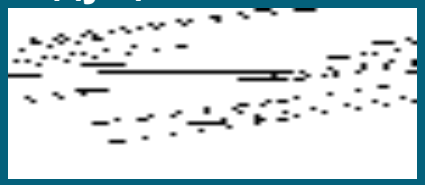
или



Время переформирования потока



где **приращение длины впереди идущей части потока, м**



Пример 7.

D 1 =0.25 м 2/ м 2, q 1 =13.3 м/мин , V 1 =53.1 м/мин

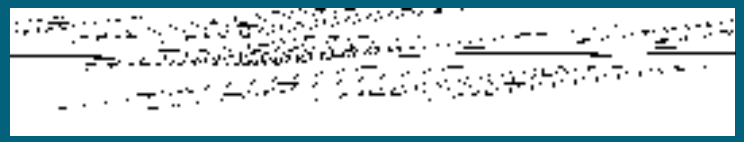
D 2 =0.1 м 2/ м 2, q 2 =8,01 м/мин , V 2 =84.1 м/мин, N 2 =5м 2,

Участи пути горизонтальные. Ширина пути движения b =2м

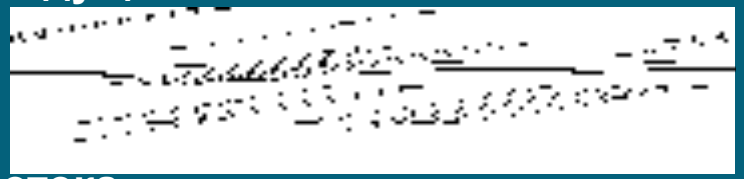
Определить скорость и время переформирования людского потока

Решение.

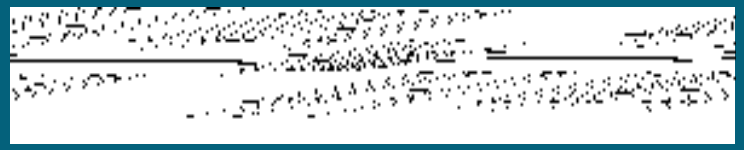
Скорость переформирования между частями потока с различной плотностью:



Приращение длины впереди идущей части потока



Время переформирования потока



или 29с

Согласно результатам расчета, через 29с закончится переформирование людского потока и весь поток будет иметь следующие параметры: ***D=0.25 м2/м2, q=13.3 м/мин,V=53.1 м/мин.***

Ручной метод расчета позволяет понять особенности движения людского потока при эвакуации. Однако в целом, такой подход ведет к недооценке пожарной опасности ввиду значительной неточности расчета. Кроме того, такой расчет достаточно трудоемок. В связи с этим, в конце 70-х годов прошлого века в нашей стране были разработаны программные комплексы, среди которых наибольшее распространение получил ADLPV –

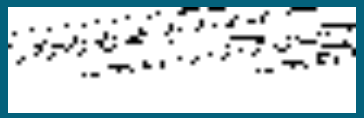
Маломобильные группы населения (МГН) - люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, получении услуги, необходимой информации или при ориентировании в пространстве. К маломобильным группам населения здесь отнесены: инвалиды, люди с временным нарушением здоровья, беременные женщины, люди старших возрастов, люди с детскими колясками и т.п.

При использовании приложения 2 ГОСТ 12.1.004 (раздел 2 «Основные расчетные зависимости») для учета специфики передвижения МГН по путям эвакуации следует применять дополнительные расчетные значения параметров движения МГН.
В.1. По мобильным качествам людей в потоке эвакуирующихся из зданий и сооружений следует подразделять на 4 группы согласно таблице В.1.

Группы мобильности	Общие характеристики людей групп мобильности	Средняя площадь горизонтальной проекции людей f , м 2
М1	Люди, не имеющие ограничений по мобильности, в том числе с дефектами слуха	0,1
М2	Немощные люди, мобильность которых снижена из-за старения организма (инвалиды по старости); инвалиды на протезах; инвалиды с недостатками зрения, пользующиеся белой тростью; люди с психическими отклонениями	0,2
М3	Инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки)	0,3
М4	Инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную	0,96

Расчетные значения скорости и интенсивности движения потоков людей с различной группой мобильности следует определять по формулам:

при $D > D_{0,j}$; (В.1)



где и - скорость и интенсивность движения людей в потоке по *j* -му виду пути при плотности потока *D j* ;

D - плотность людского потока на участке эвакуационного пути, м2/м2;

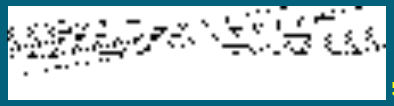
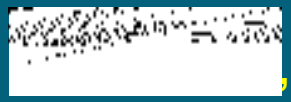
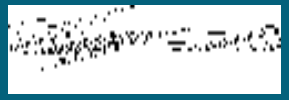
D 0, j - значение плотности людского потока на *j* -м виде пути, при достижении которого плотность потока начинает оказывать влияние на скорость движения людей в потоке;
- среднее значение скорости свободного движения людей по *j* -му виду пути при значениях плотности потока *D ? D 0, j* ;
a j - коэффициент, отражающий степень влияния плотности людского потока на его скорость при движении по *j* -му виду пути.
Значения *D 0, j* , , *a j* для потоков людей различных групп мобильности для формул (1) и (2) приведены в таблице 2.

Группы мобильности	Значения параметров	Величина параметров по видам пути (j)				
		горизонтальный	лестница вниз	лестница вверх	пандус вниз	пандус вверх
		100	100	60	115	80
M1	D 0, j	0,051	0,089	0,067	0,171	0,107
	a j	0,295	0,400	0,305	0,399	0,399
		30	30	20	45	25
M2	D 0, j	0,135	0,139	0,126	0,171	0,146
	a j	0,335	0,346	0,348	0,438	0,384
		70	20	25	105	55
M3	D 0, j	0,102	0,208	0,120	0,122	0,136
	a j	0,350	0,454	0,347	0,416	0,446
		60	-	-	115	40
M4	D 0, j	0,135	-	-	0,146	0,150
	a j	0,400	-	-	0,424	0,420

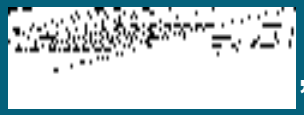
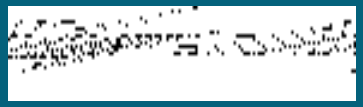
Пример расчета графоаналитическим методом

Определить расчетное время эвакуации 100 человек в уличной одежде, находящихся в потоке с плотностью 0,4 в начале сорокаметрового коридора шириной 2м, разделенного посередине перегородкой с проемом шириной 1м, см. рисунок. Расчетные зависимости между параметрами людского потока соответствуют значениям табл.2 ГОСТ 12.1.004.

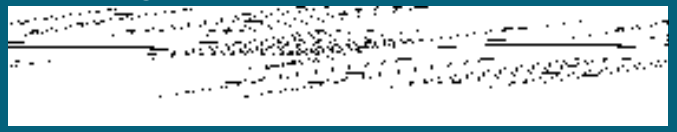
Очевидно, что поток занимает вначале коридора участок длиной 15,6м, а расстояние его головной части до проема 4,4м. В момент начала движения за счет растекания поток сразу разделяется на две части. Первая их них, имея перед собой свободное пространство, идет с параметрами свободного движения:

 ,  , 

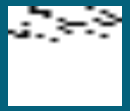
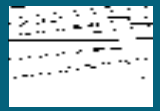
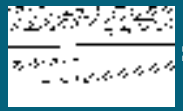
Вторая – с параметрами основной части:

,  , 

Между частями потока происходит переформирование: замыкающая часть потока постепенно приобретает параметры впередиидущей части. Скорость переформирования потока между первой и второй частями составит:



Первая часть потока подойдет к проему за время:

 =  =  = 0,14 мин.

Вторая часть потока (=0.4) подойдет к проему за время:

= = = 0,14 мин.

Определим параметры движения в проеме. Для первой части потока:

= = = 10 м 2/(м мин) < Для второй части потока

(= 0.4 м2/м2): = = = = 31,4 м 2/(м мин)>

Следовательно, перед проемом образуется скопление с максимальной плотностью 0,92 м2/м2.

Для исключения образования скопления, ширину проема следует определять из соотношения:

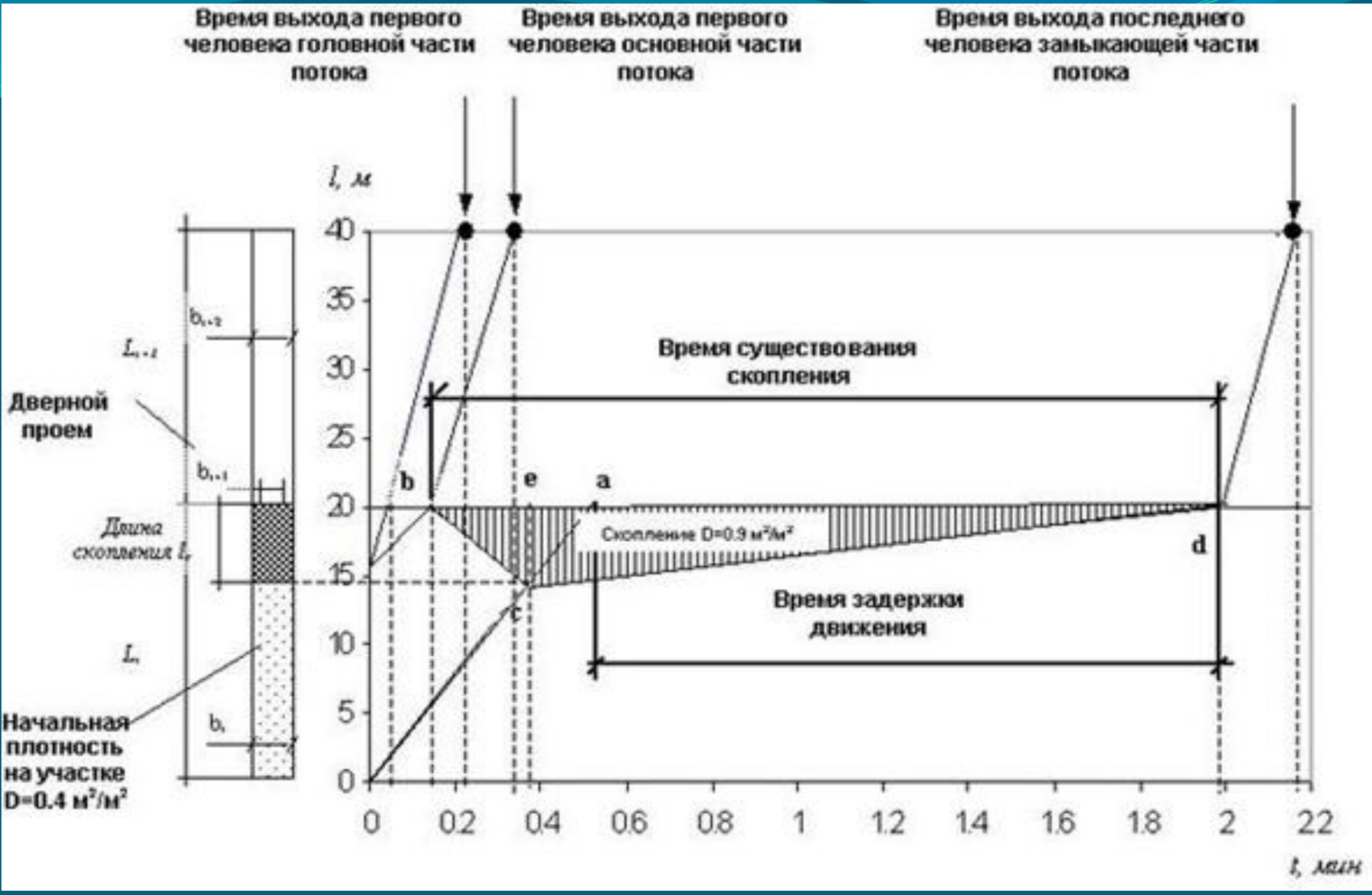
= = = 1,62 м

Параметры движения потока в проеме, который представляет собой границу между участками *i* и *i* +2 будут:

= 0,92 м 2/м 2 = 6,8 м/мин = 6,25 м 2/(м мин.

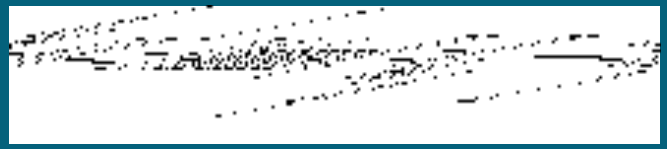
Скорость образования скопления людей:

Полученные результаты нанесем на график.



Расчетный график движения людского потока

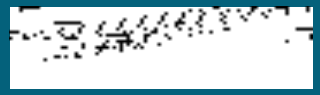
На графике проводим прямую из точки *b* до пересечения с прямой *0a* в точке *c*. В этот момент образование скопления людей прекратится и начинается процесс рассасывания потока. Скорость рассасывания скопления определяется по формуле:



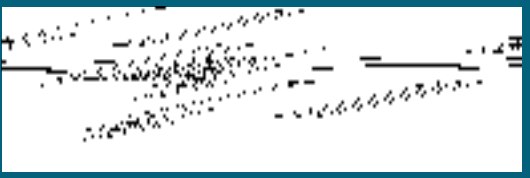
Из точки *c* проводим прямую до пересечения в точке *d* с горизонталью, определяющей на графике положения проема. Из графика следует, что поток покинет участок *i* в момент , т.е. через 1,98 минут после начала движения. Точка *c* определяет наибольшую величину скопления , которое распространилось от проема почти на 5,4 метра.

Определим параметры движения на участке : для первой части потока:

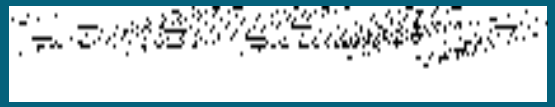
м 2/(м мин) следовательно и

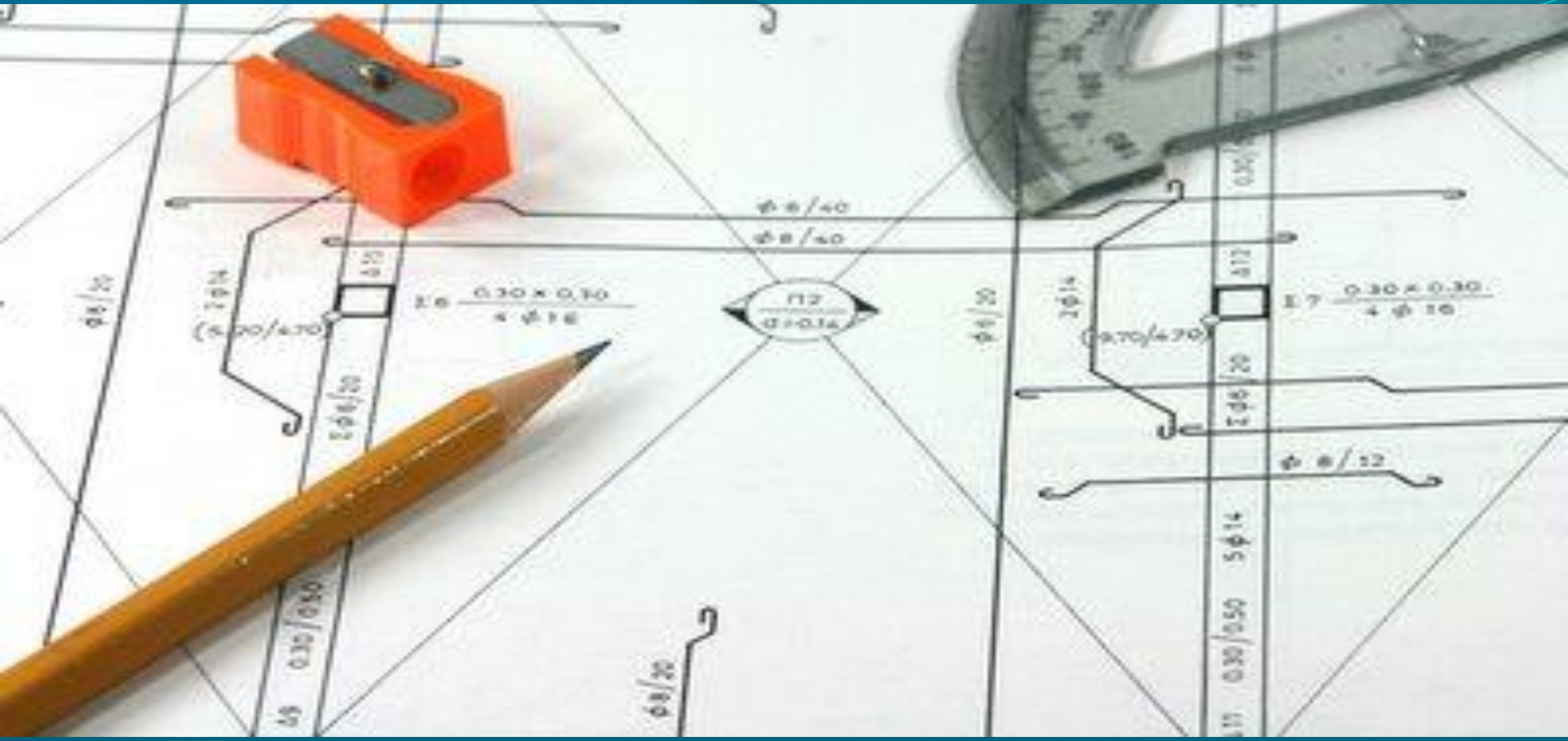
головная и замыкающие части потока будут иметь параметры  м2/м2, .

Время движения головной и замыкающей частей потока составит



Искомое расчетное время составит:

t p = 



РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОГО УРОВНЯ КОМФОРТНОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ЛЮДЕЙ

Расчет, как правило, производится в следующем порядке.

1. Определяется общая постановка задачи, например обеспечение заданного времени движения людей или плотностей людских потоков, что связано с травмоопасностью при возникновении чрезвычайной ситуации или комфортности передвижения в нормальных условиях.
2. Определяется расчетная численность людей.
3. Выбираются наиболее вероятные пути движения людей, что представляет довольно сложную задачу, поскольку объективных методов пока не существует. Здесь необходимо учитывать следующее. Люди стараются двигаться к более широким и хорошо заметным выходам, использовать знакомых маршрутов движения (покинуть здание по тому же пути, по которому пришли), идти в противоположную сторону от очага пожара, хотя при этом они могли бы покинуть здание быстрее, двигаясь в сторону очага пожара и др. Поэтому, как правило, целесообразно оценить несколько вариантов. Более точно спрогнозировать направления движения людей можно на уже функционирующем объекте с учетом сложившегося режима его эксплуатации.
4. Определяются размеры коммуникационных путей, причем при решении ряда задач следует использовать т.н. эффективную ширину участка пути, часть пути, реально используемую для движения (например, люди не прутся о стены коридоров и т.п.).
5. Производится расчет параметров движения людей. В настоящее время для расчета путей эвакуации используются формулы ГОСТ 12.1.004-91* (в специальных случаях - МГСН 4.19-2005). Отметим, что 3 расчетные формулы ГОСТ не позволяют точно рассчитать пути эвакуации здания ввиду значительных погрешностей расчета, что как следствие, ведет к недооценке пожарной опасности принятых проектных решений.
6. Анализируются полученные результаты. Прежде всего проверяется соответствие результатов расчета допустимым значениям времени эвакуации и плотности (с учетом риска получить травмы или уровня комфортности).

Если заданные параметры оказались превышены, определяются места, в которых образовались скопления людей, движение происходит слишком медленно, а плотность людского потока высока. В этих местах следует путем расширения соответствующих участков обеспечить такой ход процесса эвакуации, который отвечал бы заданным условиям. Наоборот, если в результате расчета значения имеют запас, то возможно сокращение размеров тех участков здания, которые могут дать наибольший экономический эффект.

Анализ параметров коммуникационных помещений производится по результатам расчета как в чрезвычайной ситуации, так и в нормальных условиях.

По материалам учебного пособия: Предтеченский В.М., Милинский А.И. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков. - М.: Стройиздат, 1979 – 375с.

Время начала эвакуации по ГОСТ 12.1.004-91* с комментариями

В ГОСТ 12.1.004-91* п.2.5 приводятся следующие данные о времени начала эвакуации:

Значение времени начала эвакуации tн.э для зданий (сооружений) без систем оповещения определяется по результатам исследования поведения людей при пожарах в зданиях конкретного назначения.

При отсутствии необходимых исходных данных величину tн.э, следует принимать равной 0,5 мин — для этажа пожара и 2 мин — для вышележащих этажей.

При наличии в здании системы оповещения о пожаре значение tн.э ГОСТ допускает принимать равным 0. Однако, при анализе временных параметров эвакуации, необходимо учесть инерционность СОУЭ.

Если местам возникновения пожара является зальное помещение, где пожар может быть обнаружен одновременно всеми находящимися в нем людьми, то tн.э допускается принимать равным нулю

Анализ требований п. 2.5 ГОСТ 12.1.004-91* позволяет заключить, что значения tн.э в целом занижены.

Нет ни одной исследовательской работы, в которой были получены бы значения tн.э равные 0, как при срабатывании СОУЭ так и при обнаружения пожара в помещении, т.к. это не соответствует психофизическим возможностям человека. При отсутствии в здании СОУЭ, ситуация становится сложно прогнозируемой, и значения 0,5 и 2 мин представляются весьма усредненными (кроме того, нет данных для этажей ниже этажа пожара). Например, при экспериментальной эвакуации в одном из учреждений образования г. Москвы без системы оповещения, среднее время начала эвакуации составило 6 мин, а максимальное значение – 8 мин. Есть данные, позволяющие утверждать, что время начала эвакуации составляет до 80% времени эвакуации людей.

Среднее значение время задержки начала эвакуации (при наличии системы оповещения) может быть невысоким, но может достигать и относительно высоких значений. Например, значение 25,6мин было зафиксировано в здании Всемирного Торгового Центра при пожаре в 1993 году.

Наиболее сложная ситуация возникает при пожаре в ночное время. Профессором Брак (Австралия) было установлено, что большинство взрослых в нормальном состоянии (не находящихся под действием снотворных и т.п.) способны проснуться под действием сирены громкостью 55-60 дБ, однако самостоятельное пробуждение детей (особенно 6-10 лет) менее вероятно. В целом, время пробуждения достигает нескольких минут.

Вообще говоря, величина времени начала эвакуации является одной из наиболее сложнопрогнозируемых величин в рамках расчета процесса эвакуации людей и ее уточнение требует большой исследовательской работы.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА СВОЕВРЕМЕННОЙ И БЕСПРЕПЯТСТВЕННОЙ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ

Высотные здания должны предусматривать возможность полной или частичной, одновременной или поэтапной эвакуации людей из здания при возникновении чрезвычайной ситуации (не только пожара). Организация эвакуации должна обеспечивать кратчайшее время и беспрепятственность движения образующихся людских потоков в зоны безопасности, расположенные внутри здания или на прилегающей к этому зданию территории. При этом необходимо учитывать возможный возрастной состав и физическое состояние эвакуирующихся людей, которые будут сказываться на вероятных показателях их мобильности, определяя плотность распределения вероятности их значений (табл. 16.2.1, 16.2.2).

Вероятность воздействия (Q В) опасных факторов процессов чрезвычайной ситуации, с учетом того, что чрезвычайная ситуация уже произошла, должна определяться по формуле

$$Q_В = (1 - P_Э) * (1 - P_{СЗ}),$$

где Р Э - вероятность эвакуации по предусмотренным маршрутам,

Р СЗ – вероятность эффективной работы технических систем защиты от опасных факторов.

Планы обеспечения безопасности людей в высотных зданиях должны разрабатываться на основе анализа расчетных вариантов, с учетом динамики распространения опасных факторов чрезвычайной ситуации, надежности функционирования систем защиты людей и организационно-технических мероприятий.

Структура и размеры эвакуационных путей и выходов должны обеспечивать беспрепятственную и своевременную, полную или частичную, одновременную или поэтапную, пешеходную и при помощи лифтов, в зависимости от типа чрезвычайной ситуации, эвакуацию людей из любой части высотного здания независимо от их возраста и физического состояния.

Своевременность эвакуации людей должна обеспечиваться при условии, что на каждом участке (i) эвакуационного пути вероятность (P) максимального значения времени эвакуации (t эв. i) последнего человека (с участка) выше вероятности минимального расчетного значения необходимого времени (t нб. i) эвакуации людей с этого участка

$$P\ (\max t_{эв.\ i}) > P\ (\min t_{нб.\ i})\ (16.2.2)$$

где t нб. i – расчетное значение минимального времени, необходимого для эвакуации людей с i -го участка до достижения на нем предельно допустимых уровней воздействия на людей опасных факторов чрезвычайной ситуации, определяемое динамикой их распространения при различных вариантах функционирования систем защиты;

$t_{эв.\ i} = t_{н.э.} + d\,t_{pi}$ – расчетное значение времени эвакуации с i -го участка последнего из проходящих по нему людей;

t н.э. – интервал времени от возникновения ЧС до начала эвакуации людей определяется психофизиологией поведения людей при получении информации о ЧС, его расчетное значение следует определять по данным табл. 16.2.1 в зависимости от функционального назначения здания и системы оповещения людей о ЧС;

dt pi – расчетное значение минимального времени выхода с i -го участка замыкающей части образовавшегося на нем людского потока, определяемое как сумма времени движения людей по нему и предшествующим участкам с учетом переформирования частей потока в последовательные моменты времени dt с момента начала эвакуации.

Беспрепятственность эвакуации людей должна обеспечиваться при условии, что людской поток при своем движении по участкам пути не встречает механических препятствий и его величина Q i , чел./мин. не превосходит пропускной способности П i , чел/мин. поперечных сечений участков пути при его одновременном слиянии на их границах с другими потоками со смежных (i -1) участков

Q i d П i d d Q i-1

Значения параметров людских потоков с учетом неоднородности состава людей по мобильным качествам следует определять по данным табл. 16.2.2.

Время начала эвакуации t н.э. следует считать случайной величиной с числовыми характеристиками: математическое ожидание (среднее значение) m (t н.э) и среднее квадратическое отклонение d (t н.э). Интервал изменений возможных значений случайной величины t н.э следует принимать равным m (t н.э)±3 d (t н.э).

Таблица 16.2.1. Значения m (t н.э) и d (t н.э) для помещений различного функционального назначения при системах оповещения и управления эвакуацией (согласно НПБ 104 – 03)

Функциональный тип помещений и характеристики населения	IV – V типа		II - III типа		I типа	
	m(t н.э) мин.	d (t н.э) мин.	m(t н.э) мин.	d (t н.э) мин.	m(t н.э) мин.	d(t н.э) мин.
Жилые квартиры (апартаменты) для длительного проживания. Жильцы могут находиться в состоянии сна, но знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	5,0	0,5
Номера гостиниц. Жильцы могут находиться в состоянии сна и недостаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	4,0	0,5	6,0	0,5
Магазины, выставки, досуговые центры и другие помещения массового посещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы с планировкой здания и структурой эвакуационных путей и выходов	2,0	0,5	2,0	0,5	6,0	0,5
Административные, торговые и другие помещения. Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов.	1,0	0,3	3,0	0,5	4,0	0,3

Множество людей, одновременно идущих в одном направлении по общим участкам пути, образуют людской поток. Участками формирования людских потоков в помещениях следует принимать проходы между оборудованием. Для последующих участков эвакуационных путей они представляют собой первичные источники людских потоков. Распределение N i человек на участках формирования, имеющих ширину b i и длину l i , принимается равномерным. Поэтому в начальный момент t o на каждом элементарном участке dl i , занимаемом потоком, плотность потока D to i , чел./м 2

$$D_{to\,i} = N_{to\,i} / b_i * dl_i$$

При дальнейшем движении людских потоков из первичных источников по общим участкам пути происходит их слияние. Образуется общий поток, части которого имеют различную плотность. Происходит выравнивание плотностей различных частей людского потока – его переформирование. Следует учитывать, что его головная часть, имеющая перед собой свободный путь, растекается – люди стремятся идти свободно при плотности D o , k . За интервал времени ?t часть людей переходит с этих элементарных участков на последующие – происходит изменение состояния людского потока, его движение.

16.2.7 . Скорость движения людского потока при плотности D i на i -ом отрезке участка пути k -го вида следует считать случайной величиной V D , K , имеющей числовые характеристики:

- математическое ожидание (среднее значение)

$$V_{D,K} = V_{o,k} (1-a_k \ln D_i dD_{o,k})m \text{ при } D_i > D_{o,k} ,$$

$$V_{D,K} = V_{o,k} \text{ при } D_i d D_{o,k}$$

- среднее квадратичное отклонение

$$d(V_{DK}) = d(V_{ok})(1 - a_k \ln D_i / D_{ok})$$

где: V_o, k и $d(V_{ok})$ - математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при D_i d D_o, k) при чрезвычайной ситуации и ее среднее квадратичное отклонение, м/мин.;

D_o, k – предельное значение плотности людского потока, до достижения которого возможно свободное движение людей по k-му виду пути (плотность не влияет на скорость движения людей);

a_k – коэффициент адаптации людей к изменениям плотности потока при движении по k-му виду пути;

D_i – значение плотности людского потока на i-ом отрезке (d1) участка пути шириной b_i, чел./м 2;

m – коэффициент влияния проема.

Значения перечисленных параметров следует принимать по табл.

Значения параметров для определения скорости движения людского потока

Вид пути, k	V_{ok} м/мин.	$d(V_{ok})$ м/мин.	$D_{o,k}$ чел./м 2	a_k	m
Горизонтальный в здании	100	5	0,51	0,295	1
Горизонтальный вне здания	100	5	0,70	0,407	1
Проем *	100	5	0,65	0,295	1,25-0,05 D , при D d 5
Лестница вниз	80	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	50	5	0,67	0,305	1

* При D = 9 чел./м 2 значения V i * D o , k = q i определяются по формуле

$$q_i = 10\,(3{,}75 + 2{,}5\,b_i),\ \text{чел.м/мин.}$$

При любом возможном значении V to i люди в количестве d to i , находящиеся в момент t o на i -ом элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок i +1. На участок i в свою очередь переходит часть людей с предыдущего (i -1) элементарного участка и из источника j .

По прошествии времени d t к моменту t l = t 0 + d t только часть людей d to i , i +1 с участка i успеет перейти на участок i +1. К этому моменту времени из ? to i людей, бывших на участке i в момент t 0 , останется d to i – d t o i , i +1 людей. Их число пополняется за счет людей, успевших за этот интервал времени перейти на него с предыдущего участка – d t o i -1, i , и из источника N t o j , i . Тогда плотность потока на участке i в момент t 1 будет равна

$$D_{t1i} = (d_{to\,i} - d_{to\,i,\,i+1} + d_{to\,i-1,\,i} + N_{to\,j,i}) / b_i\, d\, D_l$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t 1 , определяется по формуле

$$V_{t1i} = V_{o,k}(1 - a_k\, l\, n\, D_{ti\,i} / D_{o,k})$$

Следует учитывать, что изменение плотности потока на каждом участке в различные моменты времени отражает процесс переформирования различных частей потока и, как частный случай, процесс растекания потока.

Изменение плотности потока на каждом из элементарных участков в последовательные моменты времени зависит от количества людей, переходящих через границы участков. В общем случае количество людей, переходящих за интервал времени dt с участка i на последующий участок i+1, составляет

$$d_{t1i,\,i+1} = D_{t0i} \cdot b_i\, D_l\, V_{пер.}\, D_t$$

Скорость перехода V пер через границы смежных элементарных участков следует принимать, руководствуясь следующими соотношениями:

$$V_{пер} = \begin{cases} V^{to}_{i}, \text{ если } D^{to}_{i+1} \le D \text{ при } \max V_{Dik} \cdot D = q_{max} \\ V^{to}_{i+1}, \text{ если } D^{to}_{i+1} > D \text{ при } \max V_{Dik} \cdot D = q_{max} \end{cases}$$

Если V пер = V i to , то время t пер., необходимое для перехода всех d to i людей, находящихся на элементарном участке i в момент t 0 , на последующий участок (i +1), будет определяться по формуле:

t пер = dl / V to i (16.2.11)

За интервал времени dt < t пер. на участок i +1 перейдут не все d to i людей, а только их часть

d to i, i+1 = d to i V to idt / d1 (16.2.12)

Количество людей, не успевших перейти за интервал времени ?t с участка i на участок i +1, следовательно, составит:

d to i - d to i, i+1 = d to i (1- V to i dt/ dl) (16.2.13)

Если V пер = V to i +1 , то справедливы аналогичные соотношения, в которых вместо V to i следует принимать V to i +1 . При этом количество людей, остающихся на участке i , увеличивается, а количество людей, переходящих на него с предыдущего элементарного участка i -1 и источника j , остается тем же, что и при V пер = V to i . Следовательно, плотность потока на участке i в следующий момент времени t 1 будет больше, чем при V пер = V to i Она будет расти тем быстрее, чем меньше значение V to i +1 , т.е. чем выше значение D to i +1 . При D to i +1 = D max этот процесс моделирует распространение скопления людей.

Следует учитывать, что в тот момент времени t n , когда плотность потока на участке i достигла максимальной величины, на этот участок не может прийти ни один человек ни с предшествующего участка, ни из источника.

В результате перед участком i задерживается соответственно dN tn i -1 и dN tn j , i людей. В следующий момент времени t n +1 часть людей с участка i переходит на участок i +1, плотность людского потока на нем уменьшится и часть скопившихся перед его границей людей сможет перейти на него. Доля их участия в пополнении людьми участка i в момент t n +1 определяется соотношением:

$$dN_{t_n, t_{n+1}}^{i-1} / dN_{t_n, t_{n+1}}^{j} = D_{t_n, t_{n+1}}^{i-1} \cdot V_{t_n, t_{n+1}}^{i-1} b_{i-1} / D_{t_n, t_{n+1}}^{j} \cdot V_{t_n, t_{n+1}}^{j} \cdot b_j$$

Соотношения (14.2.7) d (14.2.14) полностью описывают состояние людского потока на элементарных участках и их переходы в последовательные моменты времени. Совокупность значений расчетного времени эвакуации, полученных при различных значениях V о,к , формирует эмпирическое распределение вероятностей значений d t р . По этому распределению следует рассчитывать значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности Р (t р.эв.) = 0,999.

Время начала эвакуации в соответствии с Британским стандартом PD7974-6:2004

PD 7974-9:2004. Published document. The application of fire safety engineering to fire safety design of buildings - Part 6. Human factors: Life safety strategies - Occupant evacuation (Sub-system 6).

PD 7974-9:2004. Официальный документ. Применение принципов инженерной пожарной безопасности к проектированию пожаробезопасного здания. Часть 6. Человеческий фактор: стратегия обеспечения безопасности людей - эвакуация людей, поведение при пожаре и состояние человека (подсистема 6), 2004 г.

Таблица С.1. Предполагаемое время начала эвакуации для разных сценариев эвакуации, мин

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre(1rst percentile)	Распределение dtpre(99th percentile)
A: бодрствующий и знакомый с внутренней планировкой здания M1 B1 – B2 A1 – A2 M2 B1 – B2 A1 – A2 M3 B1 – B2 A1 – A3 Для B3 добавляется 0.5мин на нахождение пути эвакуации M1 предполагает наличие системы голосового оповещения, если возможно присутствие людей, не знакомых с внутренней планировкой	0.5 1 >15	1.0 2 >15
B: бодрствующий и не знакомый с внутренней планировкой здания M1 B1 A1 – A2 M2 B1 A1 – A2 M3 B1 A1 – A3 Для B2 добавляется 0.5 мин на нахождение пути эвакуации Для B3 добавляется 1.0 мин на нахождение пути эвакуации M1 предполагает наличие системы голосового оповещения	0.5 1.0 >15	2 3 >15

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre(1rst percentile)	Распределение dtpre(99th percentile)
Ci: спящий и знакомый с внутренней планировкой здания (например, жилой дом)		
M2 B1 A1	5	5
M3 B1 A3	10	>20
Для остальных жильцов в соседних блоках/секция - не менее 1 часа		
Cii: Жилые помещения с постоянно присутствующей	10	20
администрацией	15	25
(апартаменты, резиденции)	>20	>20
M1 B2 A1 – A2		
M2 B2 A1 – A2		
M3 B2 A1 – A3	15	15
Ciii: спящий и не знакомый с внутренней планировкой	20	20
здания	>20	>20
(гостиницы, пансионы)		
M1 B2 A1 – A2		
M2 B2 A1 – A2		
M3 B2 A1 – A3		
Для B3 добавляется 1.0 на нахождение пути		
M1 предполагает наличие системы голосового оповещения		

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre(1rst percentile)	Распределение dtpre(99th percentile)
D: медицинские учреждения		
Бодрствующий и не знакомый с внутренней планировкой здания (клиники, хирургия, дантист)	0.5	2
M1 B1 A1 – A2	1.0	3
M2 B1 A1 – A2	>15	>15
M3 B1 A1 – A3		
Для B2 добавляется 0.5 мин на нахождение пути		
Для B3 добавляется 1.0 мин на нахождение пути	5b	10b
M1 предполагает наличие системы голосового оповещения	10b	20b
Спящий и не знакомый с внутренней планировкой здания (госпиталь, приют, дом престарелых)	>10b	>20b
M1 B2 A1 – A2		
M2 B2 A1 – A2		
M3 B2 A1 – A3		
Для B3 добавляется 1.0 на нахождение пути		
M1 предполагает наличие системы голосового оповещения		

Расчетная характеристика людей	Первый человек dtpre(1rst percentile)	Распределение dtpre(99th percentile)
E: транспорт (железная дорога, автобусная остановка или аэропорт) M1 B3 A1 – A2 M2 B3 A1 – A2 M3 B3 A1 – A3 M1 и M2 M1 предполагает наличие системы голосового оповещения	0.5 1.0 >15	4 5 >15

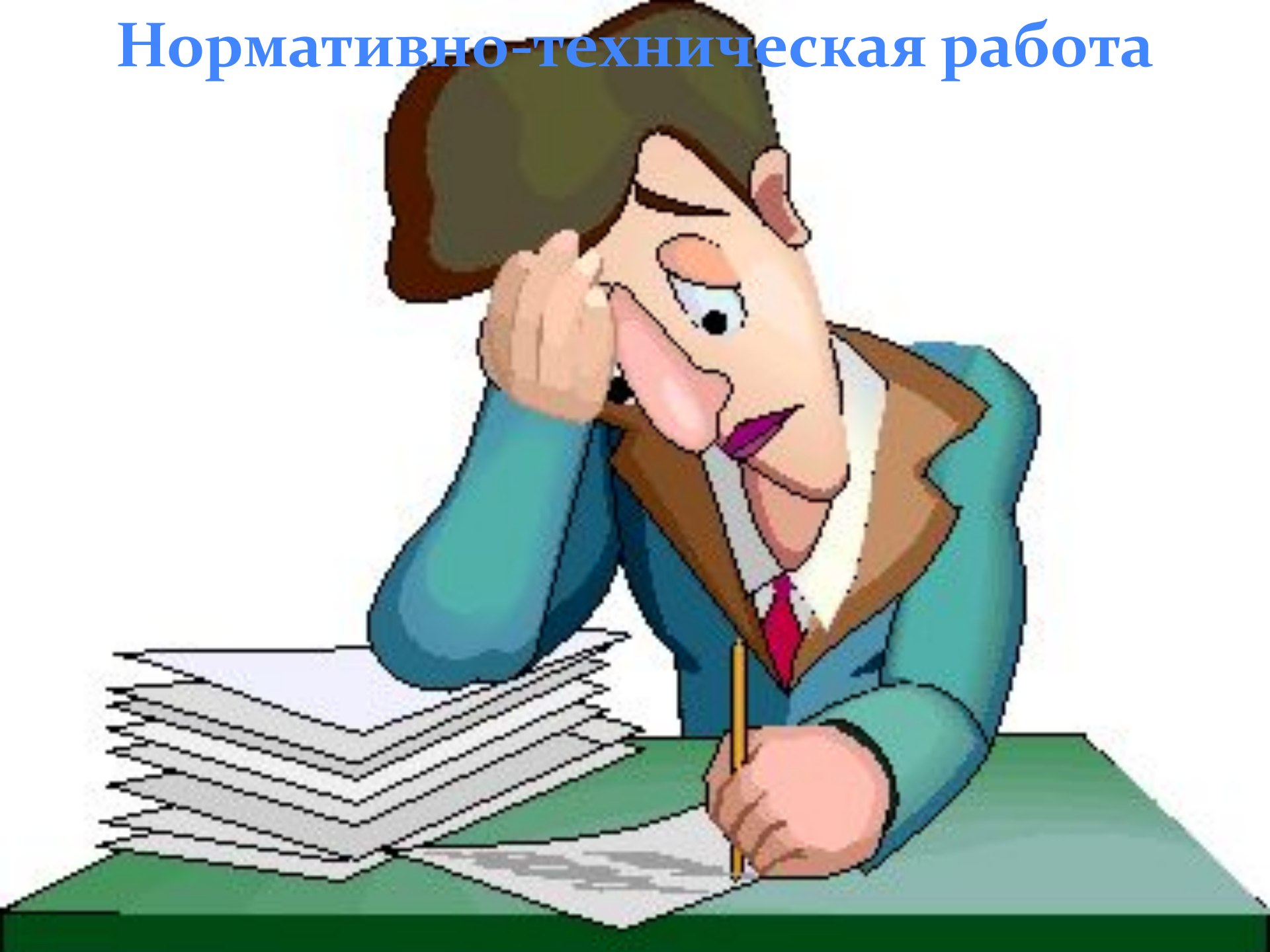
ПРИМЕЧАНИЕ Существует недостаток данных о поведении людей при эвакуации. Следовательно, ограниченность данной базы данных должна быть учтена при проведении инженерных оценок поведения людей.

В частности, база данных нуждается в уточнении за счет обеспечения такой информацией, как записи времени эвакуации, видеозаписи реальных случаев эвакуации (включая эвакуацию при пожаре) и данные мониторинга эвакуаций в большом количестве зданий различного назначения, включая спальные помещения. Это позволит сформировать более точную базу данных для расчетов, применимую для аналитических и математических оценок процесса эвакуации.

a Общее время задержки начала эвакуации = ?tpre(1rst percentile) + ?tpre(99th percentile).

Величины с высокой степенью неопределенности выделены *курсивом*.
b Это время зависит от наличия достаточного штата служащих для организация людей с нарушениями функций организма.
Расшифровка аббревиатур таблицы
Уровень менеджмента М1-М3
М1 – высоко подготовленный к действиям при пожаре персонал в требуемом количестве. Проводится независимый аудит пожарной безопасности.
М2 – высоко подготовленный к действиям при пожаре персонал в количестве меньшем,
чем предполагается необходимым. Независимый аудит пожарной безопасности, как правило, проводится.
М3 – выполнение минимальных требования по пожарной безопасности. Независимый аудит пожарной безопасности не проводится. При таком уровня менеджмента инженерную оценку пожарной безопасности объекта проводить нецелесообразно.
Характеристика здания В1-В3
В1 (пример – небольшой магазин) – прямоугольное здание с несколькими внутренними помещениями. Выходы и пути движения к выходам находятся в пределах прямой видимости и ведут непосредственно наружу. Расстояния до выходов минимальны.
В2 (пример – офисное здание) – многоэтажное здание с несложной планировкой этажей. Внутренняя планировка в т.ч. эвакуационные пути и выходы отвечают требованиям норм.
В3 – (пример – крупный торговый комплекс) многоэтажное многофункциональное здание со сложной планировкой этажей. Предусмотрены помещения большой площади, вызывающие сложности в выборе маршрута эвакуации.
Система оповещения А1-А3
А1 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения всех людей в здании.

А2 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения службы безопасности/администрации и затем (после принятия решения администрацией или по прошествии заданного интервала времени) происходит оповещение всех людей в здании. При включении ручного пожарного извещателя, включается система оповещения для группы помещений, в которых произошел пожар.

А3 – автоматическая пожарная сигнализация активирует систему оповещения о пожаре только для данной зоны оповещения. Включение системы оповещения всех людей в здании осуществляется вручную.

Нормативно-техническая работа