Зарегистрировано в Минюсте РФ 6 августа 2009 г. N 14486

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

ПРИКАЗ
от 30 июня 2009 г. N 382

ОБ УТВЕРЖДЕНИИ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

В соответствии с Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. N 184-ФЗ "О техническом регулировании" <*> и Постановлением Правительства Российской Федерации от 31 марта 2009 г. N 272 "О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска" <**> приказываю:

<*> Собрание законодательства Российской Федерации, 2002, N 52 (часть I), ст. 5140; 2005, N 19, ст. 1752; 2007, N 19, ст. 2293; 2007, N 49, ст. 6070; 2008, N 30 (часть II), ст. 3616.

<**> Собрание законодательства Российской Федерации, 2009, N 14, ст. 1656.

Утвердить прилагаемую методику определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности.

Министр
С.К.ШОЙГУ

Приложение
к Приказу МЧС России
от 30.06.2009 N 382

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ВЕЛИЧИН ПОЖАРНОГО РИСКА В ЗДАНИЯХ, СООРУЖЕНИЯХ И СТРОЕНИЯХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

I. Общие положения

1. Настоящая методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности (далее - Методика) устанавливает порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях (далее - здание) и распространяется на здания классов функциональной пожарной опасности:

Ф1 - здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей, в том числе:

а) исключен. - Приказ МЧС РФ от 12.12.2011 N 749;

б) Ф1.2 - гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов;

в) исключен. - Приказ МЧС РФ от 12.12.2011 N 749;

г) исключен. - Приказ МЧС РФ от 12.12.2011 N 749;

Ф2 - здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений, в том числе:

а) Ф2.1 - театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;

б) Ф2.2 - музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;

в) Ф2.3 - театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей на открытом воздухе;

г) Ф2.4 - музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения на открытом воздухе;

Ф3 - здания организаций по обслуживанию населения, в том числе:

а) Ф3.1 - здания организаций торговли;

б) Ф3.2 - здания организаций общественного питания;

в) Ф3.3 - вокзалы;

г) Ф3.4 - поликлиники и амбулатории;

д) Ф3.5 - помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей;

е) Ф3.6 - физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани;

Ф4 - здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений, в том числе:

а) Ф4.1 - здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования;

б) Ф4.2 - здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов;

в) Ф4.3 - здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов;

г) Ф4.4 - здания пожарных депо;

Ф5 - пожарные отсеки производственного или складского назначения с категорией помещений по взрывопожарной и пожарной опасности В1 - В4, Г, Д, входящие в состав зданий с функциональной

пожарной опасностью Ф1, Ф2, Ф3, Ф4, в том числе Ф5.2 - стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

2. Расчеты по оценке пожарного риска проводятся путем сопоставления расчетных величин пожарного риска с нормативным значением пожарного риска, установленного Федеральным законом от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" <*> (далее - Технический регламент).

<*> Собрание законодательства Российской Федерации, 2008, N 30 (часть I), ст. 3579.

3. Определение расчетных величин пожарного риска осуществляется на основании:

а) анализа пожарной опасности зданий;

б) определения частоты реализации пожароопасных ситуаций;

в) построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития;

г) оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;

д) наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий.

4. Определение расчетных величин пожарного риска заключается в расчете индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в здании. Численным выражением индивидуального пожарного риска является частота воздействия опасных факторов пожара (далее - ОФП) на человека, находящегося в здании. Перечень ОФП установлен статьей 9 Технического регламента. Результаты и выводы, полученные при определении пожарного риска, используются для обоснования параметров и характеристик зданий, сооружений и строений, которые учитываются в настоящей Методике.
(п. 4 в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

5. Частота воздействия ОФП определяется для пожароопасной ситуации, которая характеризуется наибольшей опасностью для жизни и здоровья людей, находящихся в здании.

6. Для целей настоящей Методики используются основные понятия, установленные статьей 2 Технического регламента.

II. Основные расчетные величины индивидуального пожарного риска

7. Индивидуальный пожарный риск отвечает требуемому, если:

$$Q_в <= Q^н_в, \qquad (1)$$

где $Q^н_в$ - нормативное значение индивидуального пожарного риска,

$Q^н_в = 10^{-6}$ год$^{-1}$;

$Q_в$ - расчетная величина индивидуального пожарного риска.

Расчетная величина пожарного риска в здании, сооружении или строении определяется как максимальное значение пожарного риска из рассмотренных сценариев пожара:
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

$$Q_в = \max\{Q_{B,1},...,Q_{B,i},...,Q_{B,N}\},$$

(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

где $Q_{B,i}$ - расчетная величина пожарного риска для i-го сценария пожара,
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

N - количество рассмотренных сценариев пожара.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Сценарий пожара представляет собой вариант развития пожара с учетом принятого места возникновения и характера его развития. Сценарий пожара определяется на основе данных об объемно-планировочных решениях, о размещении горючей нагрузки и людей на объекте. При расчете рассматриваются сценарии пожара, при которых реализуются наихудшие условия для обеспечения безопасности людей. В качестве сценариев с наихудшими условиями пожара следует рассматривать сценарии, характеризуемые наиболее затрудненными условиями эвакуации людей и (или) наиболее высокой динамикой нарастания ОФП, а именно пожары:
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

в помещениях, рассчитанных на единовременное присутствие 50 и более человек;
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

в системах помещений, в которых из-за распространения ОФП возможно быстрое блокирование путей эвакуации (коридоров, эвакуационных выходов и т.д.). При этом очаг пожара выбирается в помещении малого объема вблизи от одного из эвакуационных выходов, либо в помещении с большим количеством горючей нагрузки, характеризующейся высокой скоростью распространения пламени;
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

в помещениях и системах помещений атриумного типа;
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

в системах помещений, в которых из-за недостаточной пропускной способности путей эвакуации возможно возникновение продолжительных скоплений людских потоков.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

В случаях, когда перечисленные типы сценариев не отражают всех особенностей объекта, возможно рассмотрение иных сценариев пожара.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

В помещении, имеющем два и более эвакуационных выхода, очаг пожара следует размещать вблизи выхода, имеющего наибольшую пропускную способность. При этом данный выход считается блокированным с первых секунд пожара и при определении расчетного времени эвакуации не учитывается. В помещении с одним эвакуационным выходом время блокирования выхода определяется расчетом.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Сценарии пожара, не реализуемые при нормальном режиме эксплуатации объекта (теракты, поджоги, хранение горючей нагрузки, не предусмотренной назначением объекта и т.д.), не рассматриваются.
(абзац введен Приказом МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

8. Расчетная величина индивидуального пожарного риска $Q_{В,i}$ для i-го сценария пожара рассчитывается по формуле:

$$Q_{В,i} = Q_{п,i} \cdot \left(1 - К_{ап,i}\right) \cdot Р_{пр,i} \cdot \left(1 - Р_{э,i}\right) \cdot \left(1 - К_{п.з,i}\right), \quad (2)$$

где $Q_{п,i}$ - частота возникновения пожара в здании в течение года определяется на основании статистических данных, приведенных в приложении N 1 к настоящей Методике. При отсутствии статистической информации допускается принимать $Q_п = 4 \cdot 10^{-2}$ для каждого здания;

$К_{ап,i}$ - коэффициент, учитывающий соответствие установок автоматического пожаротушения (далее - АУП) требованиям нормативных документов по пожарной безопасности. Значение параметра $К_{ап,i}$ принимается равным $К_{ап,i}$ = 0,9, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой АУП, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудование здания системой АУП не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $К_{ап,i}$ принимается равной нулю;

$Р_{пр,i}$ - вероятность присутствия людей в здании, определяемая из соотношения $Р_{пр,i} = t_{функц,i} / 24$, где $t_{функц,i}$ - время нахождения людей в здании в часах;

$Р_{э,i}$ - вероятность эвакуации людей;

$К_{п.з,i}$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

(п. 8 в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

9. Вероятность эвакуации $Р_э$ рассчитывают по формуле:

$$Р_э = \begin{cases} 0{,}999 \cdot \dfrac{0{,}8 \cdot t_{бл} - t_р}{t_{нэ}}, \text{если } t_р < 0{,}8 \cdot t_{бл} < t_р + t_{нэ} \text{ и } t_{ск} \le 6 \text{ мин.} \\ 0{,}999, \text{ если } t_р + t_{нэ} \le 0{,}8 \cdot t_{бл} \text{ и } t_{ск} \le 6 \text{ мин.} \\ 0{,}000, \text{ если } t_р \ge 0{,}8 \cdot t_{бл} \text{ или } t_{ск} > 6 \text{ мин.} \end{cases} \quad (3)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

где $t_р$ - расчетное время эвакуации людей, мин.;

$t_{нэ}$ - время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин.;

$t_{бл}$ - время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин.;

$t_{ск}$ - время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение 0,5).

10. Расчетное время эвакуации людей $t_р$ из помещений и зданий определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу одним из следующих способов:

по упрощенной аналитической модели движения людского потока, приведенной в приложении N 2 к настоящей Методике;

по математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания, приведенной в приложении N 3 к настоящей Методике;

по имитационно-стохастической модели движения людских потоков, приведенной в приложении N 4 к настоящей Методике.

Выбор способа определения расчетного времени эвакуации производится с учетом специфических особенностей объемно-планировочных решений здания, а также особенностей контингента (его однородности) людей, находящихся в нем.

При определении расчетного времени эвакуации учитываются данные, приведенные в приложении N 5 к настоящей Методике, в частности принципы составления расчетной схемы эвакуации людей, параметры движения людей различных групп мобильности, а также значения площадей горизонтальных проекций различных контингентов людей.

Абзац исключен. - Приказ МЧС РФ от 12.12.2011 N 749.

11. Время начала эвакуации $t_{нэ}$ определяется в соответствии с пунктом 1

приложения N 5 к настоящей Методике.

12. Время блокирования путей эвакуации $t_{бл}$ вычисляется путем расчета времени достижения ОФП предельно допустимых значений на эвакуационных путях в различные моменты времени. Порядок проведения расчета и математические модели для определения времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара приведен в приложении N 6 к настоящей Методике.

13. Коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, требованиям нормативных документов по пожарной безопасности, $К_{п.з}$ рассчитывается по формуле:

$$K_{п.з} = 1 - \left(1 - K_{обн} \cdot K_{СОУЭ}\right) \cdot \left(1 - K_{обн} \cdot K_{ПДЗ}\right), \quad (4)$$

где $К_{обн}$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы пожарной сигнализации требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$К_{СОУЭ}$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

$К_{ПДЗ}$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы противодымной защиты требованиям нормативных документов по пожарной безопасности.

Порядок оценки параметров $К_{обн}$, $К_{СОУЭ}$ и $К_{ПДЗ}$ приведен в разделе IV настоящей Методики.
(п. 13 в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

III. Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска

Анализ пожарной опасности здания

14. Для проведения анализа пожарной опасности осуществляется сбор данных о здании, который включает:

объемно-планировочные решения;

теплофизические характеристики ограждающих конструкций и размещенного оборудования;

вид, количество и размещение горючих веществ и материалов;

количество и места вероятного размещения людей;

системы пожарной сигнализации и пожаротушения, противодымной защиты, оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей.

15. На основании полученных данных производится анализ пожарной опасности здания, при этом учитывается:

возможная динамика развития пожара;

состав и характеристики системы противопожарной защиты;

возможные последствия воздействия пожара на людей и конструкции здания.

Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций

16. Частота реализации пожароопасных ситуаций определяется частотой возникновения пожара в здании в течение года. Порядок определения частоты возникновения пожара в здании приведен в разделе II настоящей Методики.

Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития

17. Для построения полей опасных факторов пожара проводится экспертный выбор сценария или

сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей.

Формулировка сценария развития пожара включает в себя следующие этапы:

выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;

задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, состояния проемов);

задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

В соответствии с приложением N 6 к настоящей Методике формулируется математическая модель развития пожара и проводится моделирование его динамики развития.

На основании результатов расчетов осуществляется построение полей опасных факторов пожара и определяется значение времени блокирования путей эвакуации ОФП $t_{бл}$.

Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития

18. Оценка последствий воздействия опасных факторов пожара на людей заключается в определении вероятности эвакуации людей из здания при пожаре.

Вероятность эвакуации людей определяется по формуле (3) на основе сопоставления значений времени эвакуации людей и времени блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара.
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

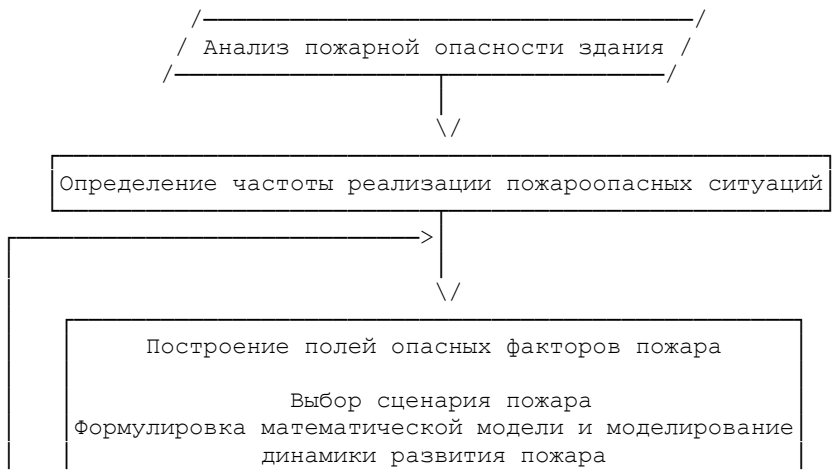
Для определения расчетного времени эвакуации людей $t_р$ в соответствии с приложениями N N 2 - 5 к настоящей Методике определяется модель эвакуации людей из здания, проводится построение расчетной схемы эвакуации и осуществляется моделирование эвакуации людей.

19. В соответствии с разделом II настоящей Методики проводится определение расчетной величины индивидуального пожарного риска $Q_в$ и сопоставление ее с нормативным значением индивидуального пожарного риска $Q_в^н$.

Учет наличия систем обеспечения пожарной безопасности здания

20. Наличие систем обеспечения пожарной безопасности здания учитывается в соответствии с формулой (4) и положениями раздела IV настоящей Методики.

Блок-схема, иллюстрирующая порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска, представлена на рис. 1.



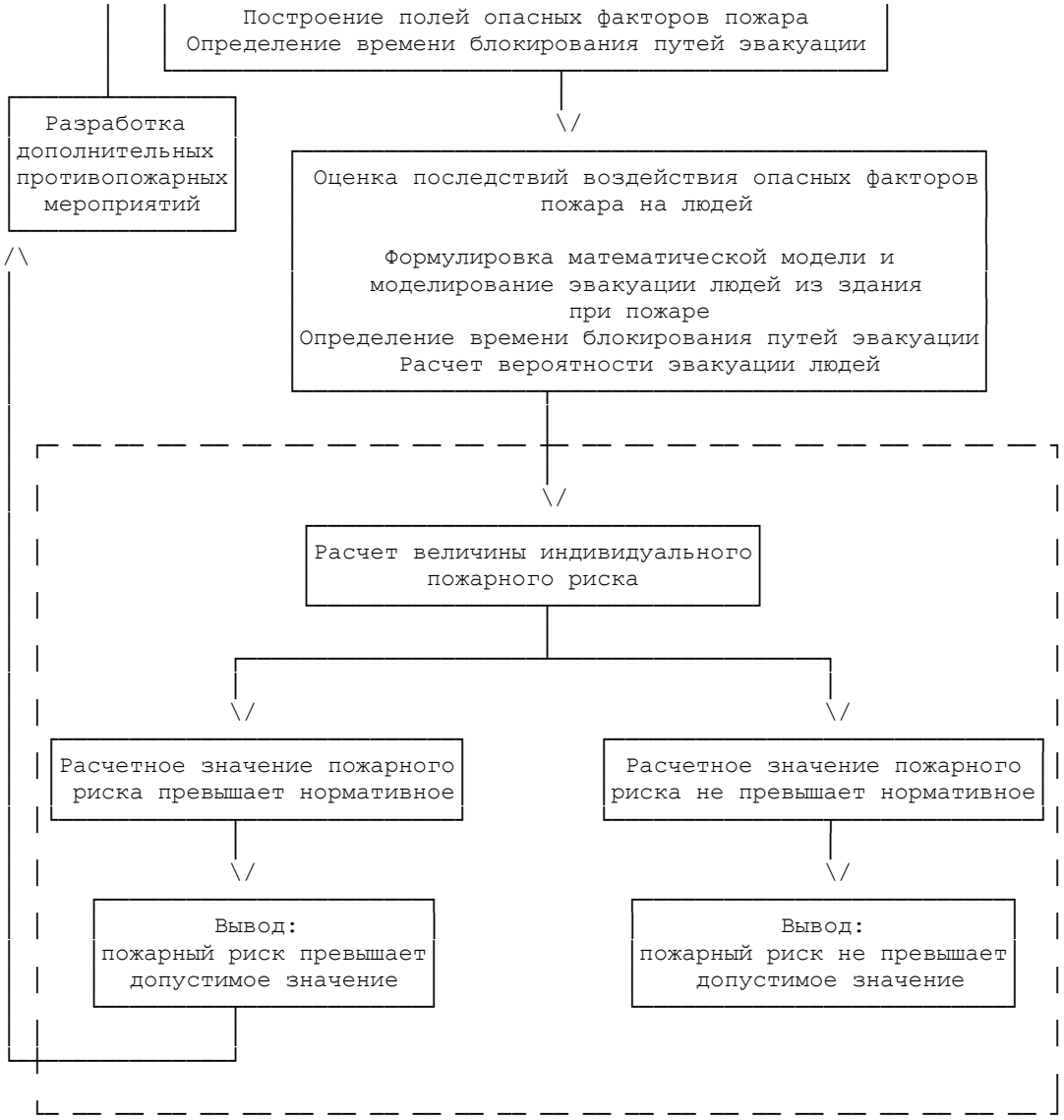


Рис. 1. Порядок проведения расчета индивидуального пожарного риска

IV. Порядок разработки дополнительных противопожарных мероприятий при определении расчетной величины индивидуального пожарного риска

21. В случае, если расчетная величина индивидуального пожарного риска превышает нормативное значение, в здании следует предусмотреть дополнительные противопожарные мероприятия, направленные на снижение величины пожарного риска.

К числу противопожарных мероприятий, направленных на снижение величины пожарного риска, относятся:

применение дополнительных объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;

устройство дополнительных эвакуационных путей и выходов;

устройство систем оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа;

организация поэтапной эвакуации людей из здания;

применение систем противодымной защиты;

устройство систем автоматического пожаротушения;

ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания.

Эффективность дополнительных противопожарных мероприятий должна подтверждаться повторным расчетом величины индивидуального пожарного риска.

(п. 21 в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

22. Эффективность каждого из перечисленных выше противопожарных мероприятий определяется степенью влияния на параметры $t_р$, $t_{бл}$, $t_{нэ}$, а для системы пожарной сигнализации, противодымной защиты и системы оповещения людей при пожаре и управления эвакуацией людей также параметрами $К_{обн}$, $К_{СОУЭ}$ и $К_{ПДЗ}$.

Значение параметра $К_{обн,i}$ принимается равным $К_{обн,i}$ = 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

здание оборудовано системой пожарной сигнализации, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

оборудование здания системой пожарной сигнализации не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

В остальных случаях $К_{обн,i}$ принимается равной нулю.

(п. 22 в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

23. Применение в качестве дополнительного противопожарного мероприятия объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара, достигается обеспечением нормируемых пределов огнестойкости и пониженной пожарной опасности облицовочных строительных материалов, используемых в ограждающих конструкциях помещения, в котором находится вероятный очаг пожара.

Степень влияния данного дополнительного противопожарного мероприятия на динамику распространения пожара и, соответственно, значение параметра $t_{бл}$ определяется путем проведения повторного расчета $t_{бл}$ после внесения соответствующих изменений в схему объемно-планировочных решений здания.

24. При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства дополнительных эвакуационных путей и выходов следует выполнить повторный расчет по оценке параметра $t_р$ с учетом откорректированных объемно-планировочных решений.

25. При применении в качестве дополнительного противопожарного мероприятия устройства системы оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей повышенного типа следует выполнить повторный расчет по оценке параметра $t_р$ с учетом перераспределения потоков эвакуирующихся и изменения схемы эвакуации в зависимости от сценариев возникновения и развития пожара и, соответственно, алгоритма функционирования системы оповещения людей о пожаре и управлением эвакуации людей.

Значение параметра $К_{СОУЭ,i}$ принимается равным $К_{СОУЭ,i}$ = 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

здание оборудовано системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

оборудование здания системой оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

В остальных случаях $К_{СОУЭ,i}$ принимается равной нулю.

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

26. Влияние системы противодымной защиты на уровень обеспеченности безопасной эвакуации людей при пожаре оценивается посредством расчета значения $t_{бл}$ с учетом технических характеристик применяемого вентиляционного оборудования противодымной защиты. Подбор параметров вентиляционного оборудования осуществляется в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности. При этом для выполнения расчетов следует применять зонную (зональную) или полевую модели.

Значение параметра $K_{ПДЗ,i}$ принимается равным $K_{ПДЗ,i}$ = 0,8, если выполняется хотя бы одно из следующих условий:

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

здание оборудовано системой противодымной защиты, соответствующей требованиям нормативных документов по пожарной безопасности;

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

оборудование здания системой противодымной защиты не требуется в соответствии с требованиями нормативных документов по пожарной безопасности.

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

В остальных случаях $K_{ПДЗ,i}$ принимается равной нулю.

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

27. Ограничение количества людей в здании до значений, обеспечивающих безопасность их эвакуации из здания при пожаре, учитывается посредством повторного расчета значения параметра t_p при существующих объемно-планировочных решениях и ограниченном значении количества эвакуирующихся при пожаре.

28. Для получения исходных данных, необходимых для проведения расчетов, предусмотренных настоящей Методикой, следует использовать справочные источники информации и проектную документацию здания.

Приложение N 1
к пункту 8 Методики

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ О ЧАСТОТЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

N п/п	Наименование здания	Частота возникновения пожара в течение года
1.	Общеобразовательные учреждения (школа, школа-интернат, детский дом, лицей, гимназия, колледж)	$1,16 \cdot 10^{-2}$
2.	Учреждения начального профессионального образования (профессиональное техническое училище)	$1,98 \cdot 10^{-2}$
3.	Учреждения среднего профессионального образования	$2,69 \cdot 10^{-2}$

	(среднее специальное учебное заведение)	
4.	Прочие внешкольные и детские учреждения	$1,52 \cdot 10^{-2}$
5.	Детские оздоровительные лагеря, летние детские дачи	$1,26 \cdot 10^{-3}$
6.	Санатории, дома отдыха, профилактории	$2,99 \cdot 10^{-2}$
7.	Амбулатории, поликлиники, диспансеры, медпункты, консультации	$8,88 \cdot 10^{-3}$
8.	Предприятия розничной торговли: универмаги, промтоварные магазины; универсамы, продовольственные магазины; магазины смешанных товаров; аптеки, аптечные ларьки; прочие здания торговли	$2,03 \cdot 10^{-2}$
9.	Предприятия рыночной торговли: крытые, оптовые рынки (из зданий стационарной постройки), торговые павильоны, киоски, ларьки, палатки, контейнеры	$1,13 \cdot 10^{-2}$
10.	Предприятия общественного питания	$3,88 \cdot 10^{-2}$
11.	Гостиницы, мотели	$2,81 \cdot 10^{-2}$
12.	Спортивные сооружения	$1,83 \cdot 10^{-3}$
13.	Клубные и культурно-зрелищные учреждения	$6,90 \cdot 10^{-3}$
14.	Библиотеки	$1,16 \cdot 10^{-3}$
15.	Музеи	$1,38 \cdot 10^{-2}$

Приложение N 2
к пункту 10 Методики

УПРОЩЕННАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКОГО ПОТОКА (ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ И ЗДАНИЙ ПО РАСЧЕТУ ВРЕМЕНИ ДВИЖЕНИЯ ОДНОГО ИЛИ НЕСКОЛЬКИХ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ ЧЕРЕЗ ЭВАКУАЦИОННЫЕ ВЫХОДЫ ОТ НАИБОЛЕЕ

УДАЛЕННЫХ МЕСТ РАЗМЕЩЕНИЯ ЛЮДЕЙ)

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Расчетное время эвакуации людей t_p из помещений и зданий устанавливается по расчету времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей.

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

При определении расчетного времени эвакуации людей длину и ширину каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимают по проекту, а для построенных - по фактическому положению. Длину пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряют по длине марша. Длину пути в дверном проеме принимают равной нулю. Проем, расположенный в стене толщиной более 0,7 м, а также тамбур следует считать самостоятельными участками горизонтального пути, имеющими конечную длину l_i.

Расчетное время эвакуации людей t_p следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t_i по формуле:

$$t_p = t_1 + t_2 + t_3 + ... + t_i, \qquad (П2.1)$$

где t_1 - время движения людского потока на первом (начальном) участке, мин.;

t_1, t_2, t_3, ... t_i - время движения людского потока на каждом из следующих после первого участка пути, мин.

Время движения людского потока по первому участку пути t_i, мин., рассчитывают по формуле:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1}, \qquad (П.2.2)$$

где l_1 - длина первого участка пути, м;

V_1 - скорость движения людского потока по горизонтальному пути на первом участке, м/мин. (определяется по таблице П2.1 в зависимости от плотности D).

Плотность однородного людского потока на первом участке пути D_1 рассчитывают по формуле:

$$D_1 = \frac{N_1 \times f}{l_1 \times дельта_1}, \qquad (П2.3)$$

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

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м2/чел., принимаемая в соответствии с пунктом 6 приложения N 5 к настоящей Методике;

$дельта_1$ - ширина первого участка пути, м.

Скорость V_1 движения людского потока на участках пути, следующих после первого, принимают по таблице П2.1 в зависимости от интенсивности движения людского потока по каждому из этих участков пути, которую вычисляют для всех участков пути, в том числе и для дверных проемов, по формуле:

$$q_i = \frac{q_{i-1} \times дельта_{i-1}}{дельта_i}, \qquad (П2.4)$$

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

q_i, q_{i-1} - интенсивности движения людского потока по рассматриваемому i-му и предшествующему участкам пути, м/мин. (интенсивность движения людского потока на первом участке пути q_1 определяется по таблице П2.1 по значению D_1, установленному по формуле (П2.3)).
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Если значение q_i, определяемое по формуле (П2.4), меньше или равно q_{max}, то время движения по участку пути t_i, мин., равно:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i}, \qquad (П2.5)$$

при этом значения q_{max}, м/мин., следует принимать равными:

16,5 - для горизонтальных путей;
19,6 - для дверных проемов;
16,0 - для лестницы вниз;
11,0 - для лестницы вверх.

Если значение q_i, определенное по формуле (П2.4), больше q_{max}, то ширину $дельта_i$ данного участка пути следует увеличивать на такое значение, при котором соблюдается условие:

$$q_i <= q_{max}. \qquad (П2.6)$$

При невозможности выполнения условия (П2.6) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таблице П2.1 при значении D = 0,9 и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления в соответствии с пунктом 4 приложения N 5 к настоящей Методике.

Таблица П2.1

Интенсивность и скорость движения людского потока на разных участках путей эвакуации в зависимости от плотности

Плотность потока D, м2/м2	Горизонтальный путь		Дверной проем, интенсивность q, м/мин	Лестница вниз		Лестница вверх	
	скорость V, м/мин.	интенсивность q, м/мин		скорость V, м/мин.	интенсивность q, м/мин.	скорость V, м/мин.	интенсивность q, м/мин.
0,01	100	1,0	1,0	100	1,0	60	0,6
0,05	100	5,0	5,0	100	5,0	60	3,0
0,10	80	8,0	8,7	95	9,5	53	5,3
0,20	60	12,0	13,4	68	13,6	40	8,0
0,30	47	14,1	16,5	52	15,6	32	9,6
0,40	40	16,0	18,4	40	16,0	26	10,4
0,50	33	16,5	19,6	31	15,6	22	11,0
0,60	28	16,3	19,05	24,5	14,1	18,5	10,75
0,70	23	16,1	18,5	18	12,6	15	10,5
0,80	19	15,2	17,3	13	10,4	13	10,4
0,90 и более	15	13,5	8,5	8	7,2	11	9,9
Примечание - интенсивность движения в дверном проеме при плотности потока 0,9 и более, равная 8,5 м/мин., установлена для дверного проема шириной 1,6 м и более, а при дверном проеме меньшей ширины интенсивность движения следует определять по формуле q = 2,5 + 3,75 x дельта.							

Рис. П2.1. Слияние людских потоков (не приводится)

При слиянии в начале i-го участка двух и более людских потоков (рис. П2.1) интенсивность движения q_i, м/мин., рассчитывают по формуле:

$$q_i = \frac{\text{SUM } q_{i-1} \times \text{дельта}_{i-1}}{\text{дельта}_i}, \qquad (П2.7)$$

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

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

дельта$_i$ - ширина рассматриваемого участка пути, м.

Если значение q_i, определенное по формуле (П2.7), больше q_{max}, то ширину δ_i данного участка пути следует увеличивать на такое значение, чтобы соблюдалось условие (П2.6). При невозможности выполнения условия (П2.6) интенсивность и скорость движения людского потока по участку i определяют по таблице П2.1 при значении D = 0,9 и более. При этом следует учитывать время задержки движения людей из-за образовавшегося их скопления в соответствии с приложением N 5 к настоящей Методике.
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Приложение N 3
к пункту 10 Методики

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИНДИВИДУАЛЬНО-ПОТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ИЗ ЗДАНИЯ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Расчетное время эвакуации людей из здания устанавливается по времени выхода из него последнего человека.

Перед началом моделирования процесса эвакуации задается схема эвакуационных путей в здании. Все эвакуационные пути подразделяются на эвакуационные участки длиной a и шириной b. Длина и ширина каждого участка пути эвакуации для проектируемых зданий принимаются по проекту, а для построенных - по фактическому положению. Длина пути по лестничным маршам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проеме принимается равной нулю. Эвакуационные участки могут быть горизонтальные и наклонные (лестница вниз, лестница вверх и пандус).

За габариты человека в плане принимается эллипс с размерами осей 0,5 м (ширина человека в плечах) и 0,25 м (толщина человека). Задаются координаты каждого человека x_i - расстояние от центра эллипса до конца эвакуационного участка, на котором он находится (рис. П3.1).
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Координаты каждого человека x_i в начальный момент времени задаются в соответствии со схемой расстановки людей в помещениях (рабочие места, места для зрителей, спальные места и т.п.). В случае отсутствия таких данных, например для магазинов, выставочных залов и другое, допускается размещать людей равномерно по всей площади помещения с учетом расстановки технологического оборудования.

Координата каждого человека в момент времени t определяется по формуле:

$$x_i(t) = x_i(t - \text{Дельта } t) - V_i(t) \times \text{Дельта } t, \text{ м}, \qquad (\text{П3.1})$$

где $x_i(t - \text{Дельта } t)$ - координата i-го человека в предыдущий момент времени, м;

$V_i(t)$ - скорость i-го человека в момент времени t, м/с;

Дельта t - промежуток времени, с.

Рис. П3.1. Координатная схема размещения людей на путях эвакуации (не приводится)

Скорость i-го человека $V_i(t)$ в момент времени t определяется по таблице П2.1 приложения 2 к Методике в зависимости от локальной плотности потока, в котором он движется, $D_i(t)$ и типа эвакуационного участка.

Локальная плотность $D_i(t)$ вычисляется по группе, состоящей из n человек, по формуле:

$$D_i(t) = (n(t) - 1) \times f / (b \times \text{Дельта } x), \text{ м2/м2}, \qquad (\text{П3.2})$$

где n - количество людей в группе, человек;

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м2;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

b - ширина эвакуационного участка, м;

Дельта x - разность координат последнего и первого человека в группе, м.

Если в момент времени t координата человека $x_i(t)$, определенная по формуле (П3.1), станет отрицательной - это означает, что человек достиг границы текущего эвакуационного участка и должен перейти на следующий эвакуационный участок.

В этом случае координата этого человека на следующем эвакуационном участке определяется:

$$x_i(t) = [x_i(t - dt) - V_i(t) \times dt] + a_j - l_j, \text{ м}, \qquad (П3.3)$$

где $x_i(t - dt)$ - координата i-го человека в предыдущий момент времени на (j-1) эвакуационном участке, м;

$V_i(t)$ - скорость i-го человека на (j-1)-ом эвакуационном участке в момент времени t, м/с;

a_j - длина j-го эвакуационного участка, м;

l_j - координата места слияния j-го и (j-1)-го эвакуационных участков - расстояние от начала j-го эвакуационного участка до места слияния его с (j-1)-ым эвакуационным участком, м.

Количество людей, переходящих с одного эвакуационного участка на другой в единицу времени, определяется пропускной способностью выхода с участка $Q_j(t)$:

$$Q_j(t) = q_j(t) \times c_j \times dt / (f \times 60), \text{ чел.}, \qquad (П3.4)$$

где $q_j(t)$ - интенсивность движения на выходе с j-го эвакуационного участка в момент времени t, м/мин.;

c_j - ширина выхода с j-го эвакуационного участка, м;

dt - промежуток времени, с;

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м2.

Интенсивность движения на выходе с j-го эвакуационного участка $q_j(t)$ в момент времени t определяется в зависимости от плотности людского потока на этом участке $Dv_j(t)$.

Плотность людского потока на j-ом эвакуационном участке $Dv_j(t)$ в момент времени t определяется по формуле:

$$Dv_j(t) = (N_j \times f \times dt) / (a_j \times b_j), \text{ м2/м2}, \qquad (П3.5)$$

где N_j - число людей на j-ом эвакуационном участке, чел.;

f - средняя площадь горизонтальной проекции человека, м2;

a_j - длина j-го эвакуационного участка, м;

b_j - ширина j-го эвакуационного участка, м;

dt - промежуток времени, с.

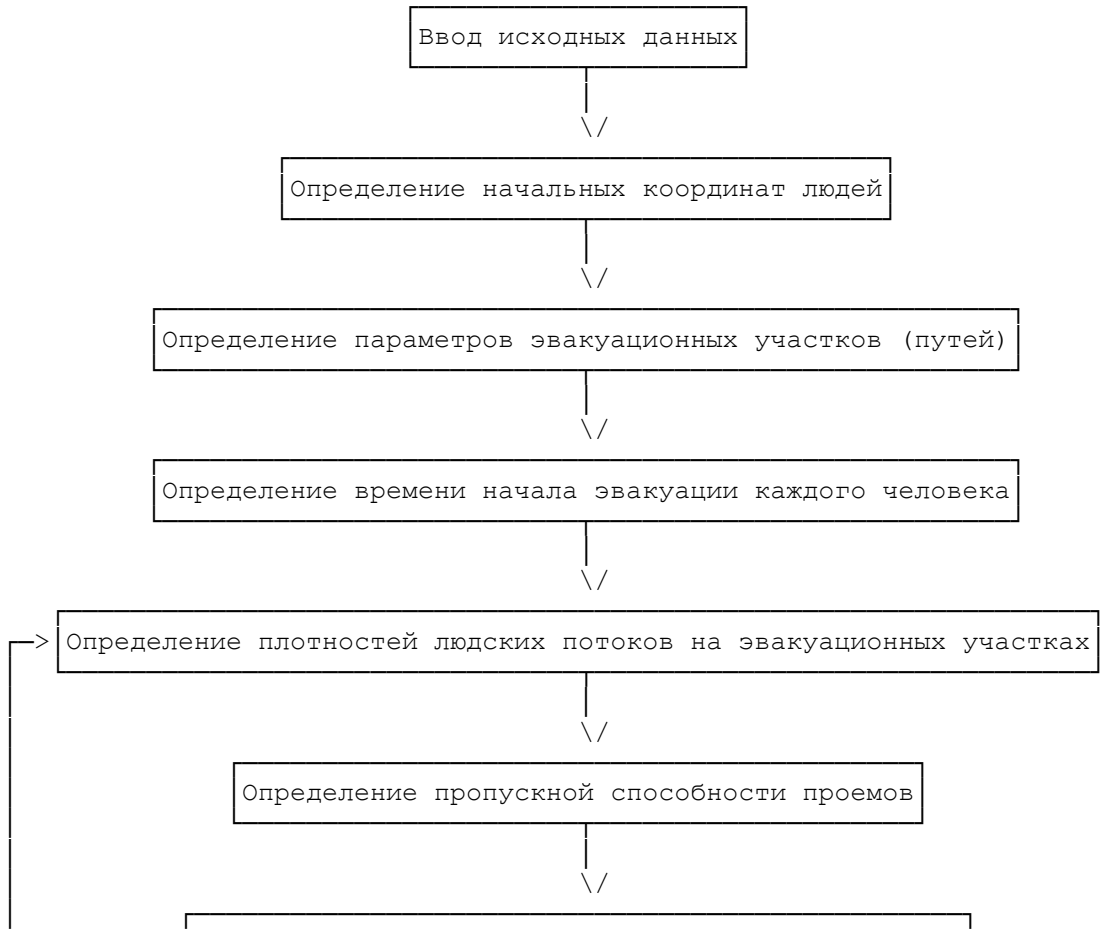
В момент времени t определяется количество людей m с отрицательными координатами $x_i(t)$, определенными по формуле (П3.1). Если значение m <=

$Q_j(t)$, то все m человек переходят на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (П3.3). Если значение $m > Q_j(t)$, то количество человек, равное значению $Q_j(t)$, переходит на следующий эвакуационный участок и их координаты определяются в соответствии с формулой (П3.3), а количество человек, равное значению $(m - Q_j(t))$, не переходит на следующий эвакуационный участок (остаются на данном эвакуационном участке) и их координатам присваиваются значения $x_i(t) = k \times 0{,}25 + 0{,}25$,

где k - номер ряда, в котором будут находиться люди (максимально возможное количество человек в одном ряду сбоку друг от друга для каждого эвакуационного участка определяется перед началом расчетов). Таким образом, возникает скопление людей перед выходом с эвакуационного участка.

На рис. П3.2 изображена блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания.

На основании заданных начальных условий (начальных координат людей, параметров эвакуационных участков) определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов с эвакуационных участков. Далее, в момент времени t = t + dt, определяется наличие ОФП на путях эвакуации. В зависимости от этого выбирается направление движения каждого человека и вычисляется новая координата каждого человека. После этого снова определяются плотности людских потоков на путях эвакуации и пропускные способности выходов. Затем вновь дается приращение по времени dt и определяются новые координаты людей с учетом наличия ОФП на путях эвакуации в этот момент времени. После этого процесс повторяется. Расчеты проводятся до тех пор, пока все люди не будут эвакуированы из здания.



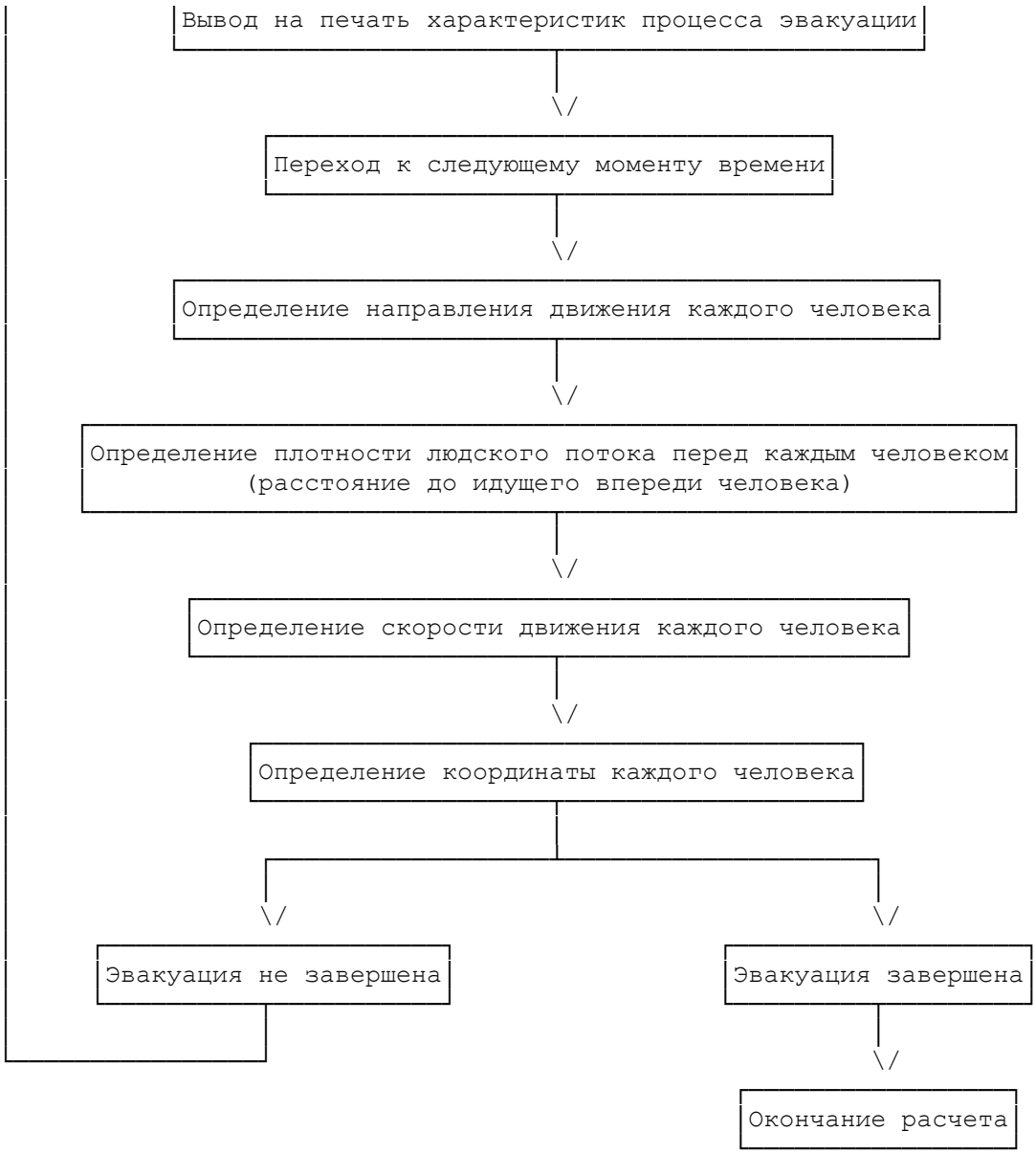


Рис. П3.2. Блок-схема определения расчетного времени эвакуации людей из здания

Приложение N 4
к пункту 10 Методики

ИМИТАЦИОННО-СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ЛЮДСКИХ ПОТОКОВ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

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_0 на каждом элементарном участке Дельта l_i, занимаемом потоком, плотность потока D_i^{t0} определяется по формуле:

$$D_i^{t0} = N_i^{t0} / b_i \times \text{Дельта } l_i, \text{ чел./м2} \qquad (П4.1)$$

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_0. За интервал времени Дельта t часть людей переходит с этих элементарных участков на последующие и происходит изменение состояния людского потока, его движение.

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)

$$V_{D,k} = V_{0,k} \times (1 - a_k \times \ln D_i / D_{0,k}) \times m \quad \text{при } D_i > D_{0,k},$$

$$V_{D,k} = V_{0,k} \quad \text{при } D_i <= D_{0,k}; \qquad (П4.2)$$

среднее квадратичное отклонение

$$\text{сигма}(V_{D,k}) = \text{сигма}(V_{0,k}) \times (1 - a_k \times \ln D_i / D_{0,k}), \qquad (П4.3)$$

где $V_{0,k}$ и сигма($V_{0,k}$) - математическое ожидание скорости свободного движения людей в потоке (при $D_i <= D_{0,k}$) и ее среднее квадратичное отклонение, м/мин.;

$D_{0,k}$ - 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 (Дельта l) участка пути шириной b_i, чел./м2;

m - коэффициент влияния проема.

Значения перечисленных параметров следует принимать по таблице П4.1.

Таблица П4.1

Вид пути, k	$V_{0,k}$, м/мин.	сигма($V_{0,k}$), м/мин.	$D_{0,k}$ чел./м2	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 - 0,05D, при D >= 5
Лестница вниз	80	5	0,89	0,400	1
Лестница вверх	50	5	0,67	0,305	1

<*> При D = 9 чел./м2 значения $q_i = V_i \cdot D_{0,k}$ определяются по формуле $q_i = 10 \cdot (2,5 + 3,75 \cdot b_i)$, м/мин.
(сноска в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

При любом возможном значении V_{0}^{t0} люди в количестве N_{i}^{t0}, находящиеся в момент t_0 на i-ом элементарном участке, двигаются по нему и начинают переходить на последующий участок (i+1) (рис. П4.1). На участок i в свою очередь переходит часть людей с предыдущего (i-1) элементарного участка и из источника j.

По прошествии времени Дельта t к моменту $t_I = t_0$ + Дельта t только часть людей $N_{i,i+1}^{t0}$ с участка i успеет перейти на участок (i+1). К этому моменту времени из N_{i}^{t0} людей, бывших на участке i в момент t_0, останется $(N_{i}^{t0} - N_{i,i+1}^{t0})$ людей. Их число пополняется за счет людей, успевших за

i $i,i+1$

этот интервал времени перейти на него с предыдущего участка - $N^{t0}_{i-1,i}$ и из источника $N^{t0}_{j,i}$. Тогда плотность потока на участке i в момент t_1 будет равна:

$$D^{t1}_{i} = (N^{t0}_{i} - N^{t0}_{i,i+1} + N^{t0}_{i-1,I} + N^{t0}_{j,I}) / b_i \times \text{Дельта } l. \qquad (П4.4)$$

Скорость движения людей, оказавшихся на участке i в момент t_1, определяется по формуле:

$$V^{t1}_{i} = V_{0,k} (1 - a_k \times \ln D^{t}_{i} / D_{0,k}). \qquad (П4.5)$$

Рис. П4.1. Изменения состояния потока в последовательные моменты времени (не приводится)

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 Дельта t с участка i на последующий участок i+1, составляет:

$$N^{t1}_{i,i+1} = D^{to}_{i} \cdot b_i V_{пер} \cdot \Delta t \qquad (П4.6)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Скорость перехода $V_{пер}$ через границы смежных элементарных участков следует принимать, руководствуясь следующими формулами:

$$\left[\begin{array}{l} V^{t0}_{i}, \text{ если } D^{t0}_{i+1} <= D_{i,k} \text{ при } \max V_{i,k} \times D_{i,k} = q_{max} \end{array} \right.$$

$$V_{пер} = \begin{cases} V^{t0}_{i+1}, \text{ если } D^{t0}_{i+1} > D \text{ при } \max V_{D_{i,k}} \times D = q_{max}. \end{cases} \quad (П4.7)$$

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 $Дельта\ N^{tn}_{i-1}$ и $Дельта\ N^{tn}_{j,i}$ 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 формулой:

$$Дельта\ N^{tn,tn+1}_{i-1} / Дельта\ N^{tn,tn+1}_{j} = D^{tn,tn+1}_{i-1} \times V^{tn,tn+1}_{i-1} \times b_{i-1} / D^{tn,tn+1}_{j} \times V^{tn,tn+1}_{j} \times b_{j}. \quad (П4.8)$$

Формулы (П4.4) - (П4.8) полностью описывают состояние людского потока на элементарных участках и их переходы в последовательные моменты времени. Совокупность значений расчетного времени эвакуации, полученных при различных значениях $V_{0,k}$, формирует эмпирическое распределение вероятностей значений $SUM\ t_p$. По этому распределению следует рассчитывать значение времени завершения эвакуации, соответствующее вероятности $P(t_{р.эв}) = 0,999$.

Приложение N 5
к пунктам 10, 11 Методики

ДАННЫЕ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОГО ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

1. Значение времени начала эвакуации $t_{НЭ}$ (с) для помещения очага пожара следует определять по формуле:
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

$$t_{НЭ} = 5 + 0,01 \cdot F,$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

где F - площадь помещения, м2.
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Для остальных помещений значение времени начала эвакуации $t_{НЭ}$ следует определять по таблице П5.1.
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Таблица П5.1

N п/п	Класс функциональной пожарной опасности зданий и характеристика контингента людей	Значение времени начала эвакуации людей $t_{нэ}$, мин.		
		здания, оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей		здания, не оборудованные системой оповещения и управления эвакуацией людей
		I - II типа	III - V типа	
1	Исключен. - Приказ МЧС РФ от 12.12.2011 N 749			
2	Гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов (Ф1.2). Жильцы могут находиться в состоянии сна и не достаточно знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	2,0	6,0
3	Здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений; здания	3,0	1,0	6,0

	организаций по обслуживанию населения (Ф2, Ф3). Посетители находятся в бодрствующем состоянии, но могут быть не знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов			
4	Здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений (Ф4). Посетители находятся в бодрствующем состоянии и хорошо знакомы со структурой эвакуационных путей и выходов	3,0	1,5	6,0

2. Принципы составления расчетной схемы эвакуации.

Расчетная схема эвакуации представляет собой отдельно выполненную, или возможно нанесенную на план здания схему, на которой отражены:

количество людей на начальных участках - источниках (проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т.п.);

направление их движения (маршруты);

геометрические параметры участков пути (длина, ширина) и виды участков пути.

Расчетная схема эвакуации должна учитывать ситуацию, при которой хотя бы один человек находится в наиболее удаленной от выхода из здания, сооружения или строения точке.

Пути движения людей и выходы высотой менее 1,9 м и шириной менее 0,7 м при составлении расчетной схемы эвакуации не учитываются, за исключением случаев, установленных в нормативных документах по пожарной безопасности.

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Рассмотрев количество людей на начальных участках пути, следует определить направление их движения. Установлены следующие наблюдаемые правила выбора людьми направления (маршрута) движения при эвакуации:

а) движение по тому пути, которым люди попали в здание;

б) исключение путей движения, проходящих рядом с зоной горения, хотя люди могут эвакуироваться через задымленные коридоры;

в) влияние персонала. В общественных зданиях, как правило, посетители при пожаре следуют указаниям персонала, даже если эти указания не соответствуют оптимальным;

г) при эвакуации с первого этажа - движение к открытому выходу наружу из здания;

д) сложная логистическая зависимость, описывающая выбор выхода с этажа зрительного зала (рис. П5.5);

е) при прочих равных условиях - движение к ближайшему выходу.

Кроме того, имеющиеся данные показывают, что фактором выбора направления может быть место парковки личного автомобиля, место встречи членов семьи и т.п. Определение ширины пути вызывает затруднение только при выходе людей на участок "неограниченной" ширины, например в вестибюль. В таком случае ширина потока (b) зависит от количества людей (N) и длины (l) участка: b = 4 м при N < 100 чел. и l <= 6 м; b = 6 м - в остальных случаях.

Согласно данным натурных наблюдений установлено, что повороты пути не влияют на параметры движения людского потока.

Определение длины (вдоль оси пути) отличается для горизонтальных и наклонных путей. К наклонным путям относятся лестницы и пандусы. Свободная ширина b наклонного пути, например лестничного марша, принимается в свету: от перил до стены. Длина наклонного пути L (рис. П5.1) принимается по истинному его значению. Этажные и междуэтажные площадки в целях упрощения и облегчения вычислений, учитывая их небольшие размеры и меньшую сложность движения по ним в сравнении с лестничными маршами, допускается отнести к наклонным путям. Тогда средняя длина наклонного пути в пределах одного этажа, с учетом движения по площадкам, составит:

$$\text{для двухмаршевых лестниц } L = \frac{L'}{},$$

cos альфа

где L' - горизонтальная проекция длины наклонного пути, м;

альфа - угол наклона к горизонту;

не допуская серьезной погрешности, длину пути по двухмаршевой лестнице можно принимать равной его утроенной высоте H, т.е. L = 3 - H;

$$\text{для трехмаршевых лестниц } L = \frac{2 \times L'}{\cos \text{альфа}} + \frac{L''}{\cos \text{альфа}} + L'' + 4 \times b.$$

Рис. П5.1. Расчетная длина пути по лестнице:
а - двухмаршевая лестница; б - трехмаршевая лестница
(не приводится)

Пандусы, если их наклон незначителен (меньше 1:8), можно относить к горизонтальным путям, при более значительных наклонах - к лестницам. Длина наклонного пути также определяется по его оси.

Пути движения в пределах здания обычно пересекаются дверными проемами, декоративными порталами, имеют сужения за счет различных архитектурных или технологических элементов, выступающих из плоскости ограждений. Такие местные сужения независимо от их характера в дальнейшем называются проемами шириной b. Длина пути L в проеме может не учитываться, если она не превышает 0,7 м, т.е. длины одного шага, в противном случае движение в проеме следует рассматривать как движение на самостоятельном расчетном участке горизонтального пути.

Лестничные клетки являются центрами тяготения людских потоков (для первого этажа - выходы наружу), на входе в которые заканчивается второй этап эвакуации. Поэтому расчетные схемы целесообразно составлять для каждой части этажа, по которой люди эвакуируются через предусмотренную для них лестничную клетку (выход наружу). На рис. П5.2 приведен пример составления расчетной схемы эвакуации людей по части этажа до входа в лестничную клетку.

Рис. П5.2. Пример составления расчетной схемы эвакуации
людей по части этажа до входа в лестничную клетку:
N - количество людей; b - ширина; l - длина;
b_0 - ширина проема (не приводится)

В зрительных залах с постоянными местами для посетителей распределение людей по направлениям движения к эвакуационным выходам показано на рис. П5.3 и П5.4.

Рис. П5.3. Маршрутизация движения людских потоков
при эвакуации из зрительных залов с боковыми (продольными)
проходами (не приводится)

Рис. П5.4. Маршрутизация движения людских потоков
при эвакуации из зрительных залов с поперечным проходом
(не приводится)

Если в дальнейшим люди выходят в фойе или вестибюль, т.е. через помещения, не ограничивающие, как коридор, ширины людского потока, то распределение людских потоков между возможными эвакуационными выходами, когда они не блокированы, происходит согласно закономерностям, приведенным на рис. П5.5, а, б.

Рис. П5.5, а. Число зрителей
и выбор выхода при эвакуации в две лестничные
клетки либо в две открытые лестницы или в два выхода
из здания: N - общее количество эвакуирующихся;
N_1 - число эвакуирующихся через ближний выход;

Документ предоставлен КонсультантПлюс
Дата сохранения: 04.10.2012

N_1 - число эвакуирующихся через дальний выход; l_2 - длина пути до ближнего выхода; l_1 - длина пути до дальнего выхода (не приводится)

Рис. П5.5, б. Число зрителей, эвакуирующихся по открытой лестнице: N - общее количество эвакуирующихся; N_1 - число эвакуирующихся по открытой лестнице; l_1 - длина пути до открытой лестницы; l_2 - длина пути до выхода на лестничную клетку (не приводится)

3. При однородном составе людского потока групп мобильности М2, М3 и М4 значения величин D, V и q следует принимать в соответствии с данными таблицы П5.2.

Таблица П5.2

Расчетные значения параметров для групп мобильности М2 - М4

Группа мобиль-ности	Вид пути										
	D, м2/м2	горизонтальный		лестница вниз		лестница вверх		пандус вниз		пандус вверх	
		V, м/мин.	q, м2/м х мин.	V, м/мин.	q, м2/м х мин.	V, м/мин.	q м2/м х мин.	V, м/мин.	q, м2/м х мин.	V, м/мин.	q, м2/ х мин.
М2	0,01	30,00	0,30	30,00	0,30	20,00	0,20	45,00	0,45	25,00	0,25
	0,05	30,00	1,50	30,00	1,50	20,00	1,00	45,00	2,25	25,00	1,25
	0,1	30,00	3,00	30,00	3,00	20,00	2,00	45,00	4,50	25,00	2,50
	0,2	26,05	5,21	26,22	5,24	16,78	3,36	41,91	8,38	21,98	4,40
	0,3	21,97	6,59	22,01	6,60	13,96	4,19	33,92	10,18	18,09	5,43
	0,4	19,08	7,63	19,03	7,61	11,96	4,78	28,25	11,30	15,32	6,13
	0,5	16,84	8,42	16,71	8,36	10,41	5,20	23,85	11,93	13,18	6,59
	0,6	15,01	9,01	14,82	8,89	9,14	5,48	20,26	12,16	11,43	6,86
	0,7	13,46	9,42	13,22	9,25	8,07	5,65	17,22	12,05	9,95	6,97
	0,8	12,12	9,69	11,83	9,47	7,14	5,71	14,59	11,67	8,67	6,94
	0,9	10,93	9,84	10,61	9,55	6,32	5,68	12,27	11,04	7,54	6,79
М3	0,01	70,00	0,70	20,00	0,20	25,00	0,25	105,00	1,05	55,00	0,55
	0,05	70,00	3,50	20,00	1,00	25,00	1,25	105,00	5,25	55,00	2,75
	0,1	70,00	7,00	20,00	2,00	25,00	2,50	105,00	10,50	55,00	5,50
	0,1	53,50	10,70	20,00	4,00	20,57	4,11	83,41	16,68	45,54	9,11
	0,3	43,57	13,07	16,67	5,00	17,05	5,12	65,70	19,71	35,59	10,68
	0,4	36,52	14,61	14,06	5,62	14,56	5,82	53,13	21,25	28,54	11,41
	0,5	31,05	15,53	12,04	6,02	12,62	6,31	43,39	21,69	23,06	11,53
	0,6	26,59	15,95	10,38	6,23	11,04	6,62	35,42	21,25	18,59	11,15
	0,7	22,81	15,97	8,98	6,29	9,70	6,79	28,69	20,08	14,81	10,37
	0,8	19,54	15,63	7,77	6,21	8,54	6,83	22,86	18,28	11,53	9,23
	0,9	16,65	14,99	6,70	6,03	7,52	6,77	17,71	15,94	8,64	7,78
М4	0,01	60,00	0,60	-	-	-	-	115,00	1,15	40,00	0,40
	0,05	60,00	3,00	-	-	-	-	115,00	5,75	40,00	2,00
	0,1	60,00	6,00	-	-	-	-	115,00	11,50	40,00	4,00
	0,2	50,57	10,11	-	-	-	-	99,65	19,93	35,17	7,03

	0,3	40,84	12,25	-	-	-	-	79,88	23,97	28,36	8,51
	0,4	33,93	13,57	-	-	-	-	65,86	26,34	23,52	9,41
	0,5	28,58	14,29	-	-	-	-	54,98	27,49	19,77	9,89
	0,6	24,20	14,52	-	-	-	-	46,09	27,65	16,71	10,03
	0,7	20,50	14,35	-	-	-	-	38,57	27,00	14,12	9,88
	0,8	17,30	13,84	-	-	-	-	32,06	25,65	11,88	9,50
	0,9	14,47	13,02	-	-	-	-	26,32	23,68	9,90	8,91

Примечание:

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;

М3 - инвалиды, использующие при движении дополнительные опоры (костыли, палки);

М4 - инвалиды, передвигающиеся на креслах-колясках, приводимых в движение вручную.

4. Площадь горизонтальной проекции человека f, м2/чел., принимается в зависимости от состава людей в потоке в соответствии с приведенными ниже данными.

Рис. П5.6. Площадь горизонтальной проекции человека:
а) расчетная; б) действительная (не приводится)

Размеры людей изменяются в зависимости от физических данных, возраста и одежды. В таблицах П5.3, П5.4, П5.5 и на рисунке П5.7 приводятся усредненные размеры людей разного возраста, в различной одежде и с различным грузом. При этом приведены значения площади горизонтальной проекции инвалидов с нарушением опорно-двигательного аппарата.

Таблица П5.3

Площади горизонтальной проекции взрослых людей

Тип одежды	Ширина a, м	Толщина c, м	Площадь горизонтальной проекции, м2/чел.
летняя	0,46	0,28	0,100
весенне-осенняя	0,48	0,30	0,113
зимняя	0,50	0,32	0,125

Таблица П5.4

Площади горизонтальной проекции детей и подростков

Тип одежды	Возрастные группы		
	младшая до 9 лет	средняя 10 - 13 лет	старшая 14 - 16 лет
домашняя одежда	0,04	0,06	0,08
домашняя одежда со школьной сумкой	0,07	0,10	0,14
уличная одежда	0,09	0,13	0,16

Рис. П5.7. Площадь горизонтальной проекции людей
с различным грузом (не приводится)

Таблица П5.5

Площадь горизонтальной проекции людей с ограниченной мобильностью, м2/чел.

Здоровые люди, слабослышащие, с ограничением умственной деятельности	Слепые	С поражением опорно-двигательного аппарата					
		передвигающиеся без дополнительных опор	передвигающиеся с одной дополнительной опорой	передвигающиеся с двумя дополнительными опорами	передвигающиеся на креслах-колясках	транспортируемые на носилках	транспортируемые на каталках
1	2	3	4	5	6	7	8
рисунок	рисунок	рисунок	рисунок	рисунок	рисунок	рисунок	рисунок

(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)	(не приводится)
схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)	схема (не приводится)
$a = 0,28$	$a_1 = 0,72$	$a_2 = 0,40$	$a_3 = 0,50$	$a_4 = 0,50$	$a_5 = 0,80$	$b_1 = 0,50$	$b_2 = 0,75$
$c = 0,46$	$c_1 = 0,82$	$c_2 = 0,75$	$c_3 = 0,65$	$c_4 = 0,90$	$c_5 = 1,20$	$e_1 = 2,10$	$e_2 = 2,10$
$f = 0,10$	$f = 0,40$	$f = 0,25$	$f = 0,20$	$f = 0,30$	$f = 0,96$	$f = 1,05$	$f = 1,58$

4. Время задержки t_3 движения на участке i из-за образовавшегося скопления людей на границе с последующим участком (i+1) определяется по формуле:

$$t = N \times f \times \left(\frac{1}{q_{\text{при } D=0,9} \times b_{i+1}} - \frac{1}{q_i \times b_i}\right), \qquad (П5.1)$$

где N - количество людей, чел.;

f - площадь горизонтальной проекции, м;

$q_{\text{при } D=0,9}$ - интенсивность движения через участок i+1 при плотности 0,9 и более, м/мин.;

b_{i+1} - ширина участка, м, при вхождении на который образовалось скопление людей;

q_{i+1} - интенсивность движения на участке i, м/мин.;

b_i - ширина предшествующего участка i, м.

Время существования скопления $t_{ск}$ на участке i определяется по формуле:

$$t_{ск} = \frac{N \times f}{q_{\text{при } D=0,9} \times b_{i+1}}. \qquad (П5.2)$$

Расчетное время эвакуации по участку i, в конце которого на границе с участком (i+1) образовалось скопление людей, равно времени существования скопления $t_{ск}$. Расчетное время эвакуации по участку i допускается определять по формуле:

$$t_i = \frac{l_i}{V_i} + t_з. \qquad (П5.3)$$

Приложение N 6
к пункту 12 Методики

ПОРЯДОК
ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТА И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ БЛОКИРОВАНИЯ ПУТЕЙ ЭВАКУАЦИИ ОПАСНЫМИ ФАКТОРАМИ ПОЖАРА

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

I. Порядок проведения расчета

Производится экспертный выбор сценария или сценариев пожара, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей.

Формулировка сценария развития пожара включает в себя следующие этапы:

выбор места нахождения первоначального очага пожара и закономерностей его развития;

задание расчетной области (выбор рассматриваемой при расчете системы помещений, определение учитываемых при расчете элементов внутренней структуры помещений, задание состояния проемов);

задание параметров окружающей среды и начальных значений параметров внутри помещений.

Выбор места нахождения очага пожара производится экспертным путем. При этом учитывается количество горючей нагрузки, ее свойства и расположение, вероятность возникновения пожара, возможная динамика его развития, расположение эвакуационных путей и выходов.

Наиболее часто при расчетах рассматриваются три основных вида развития пожара: круговое распространение пожара по твердой горючей нагрузке, линейное распространение пожара по твердой горючей нагрузке, неустановившееся горение горючей жидкости.

Скорость выгорания для этих случаев определяется формулами:

```
      ⎡                 2    2
      ⎢пси   x пи x v  x t  - для кругового распространения пожара
      ⎢   уд
      ⎢
      ⎢пси   x 2 x v x t x b - для линейного распространения пожара  (П6.1)
      ⎢   уд
пси = <
      ⎢                  __
      ⎢                 /t
      ⎢пси   x F x    /---  - для неустановившегося горения ГЖ,
      ⎢   уд         / t
      ⎢             \/   ст
      ⎣
```

```
    где пси   - удельная скорость выгорания (для жидкостей установившаяся),
           уд
кг/(с х м2);
    v - скорость распространения пламени, м/с;
    b - ширина полосы горючей нагрузки, м;
    t   - время стабилизации горения горючей жидкости, с;
     ст
    F - площадь очага пожара, м2.
```

С учетом раздела II данного приложения выбирается метод моделирования, формулируется математическая модель, соответствующая данному сценарию, и производится моделирование динамики развития пожара. На основании полученных результатов рассчитывается время достижения каждым из опасных факторов пожара предельно допустимого значения на путях эвакуации.

Критическое время по каждому из опасных факторов пожара определяется как время достижения этим фактором предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м от пола.

Предельно допустимые значения по каждому из опасных факторов пожара составляют:
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

по повышенной температуре - 70 °С;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)
по тепловому потоку - 1400 Вт/м2;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)
по потере видимости - 20 м (для случая, когда оба горизонтальных линейных размера помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние по потере видимости следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)
по пониженному содержанию кислорода - 0,226 кг/м3;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)
по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (CO2 - 0,11 кг/м3; $CO - 1{,}16 \cdot 10^{-3}$ кг/м3; $HCL - 23 \cdot 10^{-6}$ кг/м3).
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Необходимо отметить, что при использовании полевой модели определение критического времени имеет существенные особенности, связанные с тем, что критическое значение в различных точках помещения достигается не одновременно. Для помещений с соизмеримыми горизонтальными размерами критическое время определяется как максимальное из критических времен для эвакуационных выходов из данного помещения (время блокирования последнего выхода).

Определяется время блокирования $t_{бл}$:

$$t_{бл} = \min \left\langle t_{п.в.\,кр},\ t_{Т\,кр},\ t_{т.г.\,кр},\ t_{O_2\,кр},\ t_{т.п.\,кр} \right\rangle. \qquad (П6.2)$$

II. Классификация и область применения методов математического моделирования пожара

Для описания термогазодинамических параметров пожара применяются три основных группы детерминистических моделей: интегральные, зонные (зональные) и полевые.

Выбор конкретной модели расчета времени блокирования путей эвакуации следует осуществлять исходя из следующих предпосылок:

интегральный метод:

для зданий, содержащих развитую систему помещений малого объема простой геометрической конфигурации;

для помещений, где характерный размер очага пожара соизмерим с характерными размерами помещения и размеры помещения соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз);

для предварительных расчетов с целью выявления наиболее опасного сценария пожара;

зонный (зональный) метод:

для помещений и систем помещений простой геометрической конфигурации, линейные размеры которых соизмеримы между собой (линейные размеры помещения отличаются не более чем в 5 раз), когда размер очага пожара существенно меньше размеров помещения;

для рабочих зон, расположенных на разных уровнях в пределах одного помещения (наклонный зрительный зал кинотеатра, антресоли и т.д.);

полевой метод:

для помещений сложной геометрической конфигурации, а также помещений с большим количеством внутренних преград (атриумы с системой галерей и примыкающих коридоров, многофункциональные центры со сложной системой вертикальных и горизонтальных связей и т.д.);

для помещений, в которых один из геометрических размеров гораздо больше (меньше) остальных (тоннели, закрытые автостоянки большой площади и т.д.);

для иных случаев, когда применимость или информативность зонных и интегральных моделей

вызывает сомнение (уникальные сооружения, распространение пожара по фасаду здания, необходимость учета работы систем противопожарной защиты, способных качественно изменить картину пожара, и т.д.).

При использовании интегральной и зонной моделей для помещения, один из линейных размеров которого более чем в пять раз превышает хотя бы один из двух других линейных размеров, необходимо это помещение делить на участки, размеры которых соизмеримы между собой, и рассматривать участки как отдельные помещения, сообщающиеся проемами, площадь которых равна площади сечения на границе участков. Использование аналогичной процедуры в случае, когда два линейных размера превышают третий более чем в 5 раз, не допускается.

III. Интегральная математическая модель расчета газообмена в здании, при пожаре

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Для расчета распространения продуктов горения по зданию составляются и решаются уравнения аэрации, тепло- и массообмена как для каждого помещения в отдельности, так и для всего здания в целом.

Уравнения движения, связывающие значения перепадов давлений на проемах с расходами газов через проемы, имеют вид:

$$G_{ji} = sign\left(\Delta P_{ji}\right) \cdot \xi \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho \cdot \left|\Delta P_{ji}\right|}, \quad (П6.3)$$

где G_{ji} - расход газов через проем между двумя (j-м и i-м) смежными помещениями, кг/с;

ξ - коэффициент расхода проема ($\xi = 0,8$ для закрытых проемов и $\xi = 0,64$ для открытых);

F - площадь сечения проема, м2;

ρ - плотность газов, проходящих через проем, кг/м3;

ΔP_{ji} - средний перепад полных давлений между j-м и i-м помещением, Па.

Направление (знак) расхода определяется знаком разности давлений ΔP_{ji}.

В зависимости от этого плотность ρ принимает различные значения.

Знак расхода газов (входящий в помещение расход считается положительным, выходящий - отрицательным) и значение ρ зависят от знака перепада давлений:

$$\mathrm{sign}(\Delta P), \rho = \begin{cases} -1, \rho = \rho_j, \text{ при } \Delta P < 0 \\ +1, \rho = \rho_i, \text{ при } \Delta P > 0 \end{cases}, \quad (П6.4)$$

Для прогнозирования параметров продуктов горения (температуры, концентраций токсичных компонентов продуктов горения) в помещениях многоэтажного здания на этажах, расположенных выше этажа, на котором может возникнуть пожар, рассматриваются процессы распространения продуктов горения в вертикальных каналах (лестничные клетки, шахты лифтов, вентканалы и т.п.).

Вертикальную шахту по высоте разделяют на зоны, которые представляют узлы в гидравлической схеме здания. Зона по высоте может охватывать несколько этажей здания. В этом случае расход газа между зонами можно выразить формулой вида:

$$G = \sqrt{\frac{\Delta p}{S}}, \quad (П6.5)$$

где $S = \frac{1}{2 \cdot g \cdot \rho \cdot k \cdot F^2}$ - характеристика гидравлического сопротивления на границе зон;
F - площадь поперечного сечения шахты;
k - коэффициент (допускается принимать равным 0,05 с2/м);
g = 9,81 м/с2 - ускорение свободного падения;
Δp - перепад давлений между узлами.

Здание представляют в виде гидравлической схемы, узлы которой моделируют помещения, а связи - пути движения продуктов горения и воздуха. Каждое помещение здания описывается системой уравнений, состоящей из уравнения баланса массы, уравнения сохранения энергии и уравнения основного газового закона (Менделеева-Клайперона).

Уравнение баланса массы выражается формулой:

$$d\left(\rho_j \cdot V_j\right)/dt = \psi + \sum_k G_k - \sum_i G_i \quad \text{, (П6.6)}$$

где V_j - объем помещения, м3;
t - время, с;
$\sum_k G_k$ - сумма расходов, входящих в помещение, кг/с;
$\sum_i G_i$ - сумма расходов, выходящих из помещения, кг/с;
ψ - скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с.

Уравнение сохранения энергии выражается формулой:

$$d\left(C_v \cdot \rho_j \cdot V_j \cdot T_j\right)/dt = C_p \cdot \sum_k \left(T_k \cdot G_k\right) - C_p \cdot T_j \cdot \sum_i G_i + Q_\Gamma - Q_w \quad \text{, (П6.7)}$$

где C_v, C_p - удельная изохорная и изобарная теплоемкости, кДж/(кг·К);
T_i, T_j - температуры газов в i-м и j-м помещениях, К;
Q_Γ - количество тепла, выделяемого в помещении при горении, кВт;
Q_w - тепловой поток, поглощаемый конструкциями и излучаемый через проемы, кВт.

Для помещения очага пожара величина Q_Γ определяется по формуле:

$$Q_\Gamma = (\eta \cdot Q_н + I)\psi,$$

где η - коэффициент полноты горения;
$Q_н$ - низшая теплота сгорания, кДж/кг;
$I = c_p \cdot T$ - энтальпия газифицированной горючей нагрузки, кДж/кг;
c_p - удельная теплоемкость продуктов пиролиза, кДж/(кг·К);
T - температура продуктов пиролиза, К.

Для остальных помещений $Q_\Gamma = 0$.

Коэффициент полноты горения η определяется по формуле:

$$\eta = \eta_0 \cdot K + \cdot (1 - K) \frac{\sum_k X_{ox,k} \cdot G_k}{\psi \cdot L_{ox}}$$, (П6.8)

где η_0 - коэффициент полноты горения в режиме пожара, регулируемом горючей нагрузкой, определяемый формулой:

$$\eta_0 = 0,63 + 0,2 \cdot X_{ox,0} + 1500 \cdot X_{ox,0}^6$$. (П6.9)

Коэффициент K рассчитывается по формуле:

$$K = \left(\frac{X_{ox,m}}{X_{ox,0}} \right)^B \exp\left(B \cdot \left(1 - \frac{X_{ox,m}}{X_{ox,0}} \right) \right)$$, (П6.10)

где $B = \left(\frac{X_{ox,0}}{X_{ox,0} - 0,01} \right)^2$;

$X_{ox,0}$ - начальная концентрация кислорода в помещении очага пожара, кг/кг;

$X_{ox,m}$ - текущая концентрация кислорода в помещении очага пожара, кг/кг;

L_{ox} - количество кислорода, поглощаемого при сгорании 1 кг горючей нагрузки, кг/кг.

Уравнение Менделеева-Клайперона выражается формулой:

$$P_j = \rho_j \cdot T_j \cdot \frac{R}{M}$$, (П6.11)

где P_j - давление газа в j-м помещении, Па;

T_j - температура газа в j-м помещении, К;

R = 8,31 - универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

M - молярная масса газа, моль.

Параметры газа в помещении определяются из уравнения баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода и уравнения баланса оптической плотности дыма.

Уравнение баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода:

$$d\left(X_{L,j} \cdot \rho_j \cdot V_j\right) / dt = \psi \cdot L_L + \sum_k \left(X_{L,k} \cdot G_k\right) - X_{L,j} \cdot \sum_i G_i$$, (П6.12)

где $X_{L,i}$, $X_{L,j}$ - концентрация L-го компонента продуктов горения в i-м и j-м помещениях, кг/кг;

L_L - количество L-го компонента продуктов горения (кислорода), выделяющегося (поглощающегося) при сгорании одного килограмма пожарной нагрузки, кг/кг.

Уравнение баланса оптической плотности дыма:

$$V_j \cdot d\mu_j / dt = \psi \cdot D_m + \sum_k (\mu_k \cdot G_k) / \rho_k - \mu_j \cdot \sum_i G_i / \rho_j$$, (П6.13)

где μ_i, μ_j - оптическая плотность дыма в i-м и j-м помещениях, $Нп \cdot м^{-1}$;

D_m - дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп·м2/кг.

Оптическая плотность дыма при обычных условиях связана с расстоянием предельной видимости в дыму формулой:

$$l_{пр} = 2,38 / \mu$$. (П6.14)

Для помещений без источника тепла система уравнений (П6.6), (П6.7) и (П6.8) упрощается и представляется в виде:

$$\begin{cases} G_{ij}(\tau) = sign\left(\Delta P_{ij}(\tau)\right) \cdot \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_k \cdot \left|\Delta P_{ij}(\tau)\right|} \\ \sum_{i=1}^{n} \frac{G_{ij}(\tau)}{\rho_k} = 0 \end{cases}$$, (П6.15)

где $\rho_k = \frac{1}{2} \cdot \left[\rho_i + sign\left(\Delta P_{ij}\right) \cdot \rho_i + \rho_j - sign\left(\Delta P_{ij}\right) \cdot \rho_j\right]$.

Первое уравнение связывает перепады давлений на соединяющих помещение проемах с расходом газа через эти проемы. Второе - выражает постоянство объема для данного помещения. Таким образом, для всего здания требуется решать систему, состоящую из $(m_{гс} + m_{вс}) \cdot n_{эт}$ нелинейных уравнений вида (П6.12) и $n_у \cdot n_{эт}$ линейных уравнений вида (П6.13). Здесь $m_{гс}$ и $m_{вс}$ - соответственно число горизонтальных и вертикальных связей на этаже; $n_у$ - число узлов; $n_{эт}$ - число этажей.

Система уравнений, включающая в себя уравнения (П6.6), (П6.7) для помещения очага пожара и (П6.12), (П6.13) для остальных помещений и уравнение (П6.11), описывающая гидравлическую схему здания, решается численно методом итерации в совокупности с методом секущих.

Основные уравнения для определения температуры газа и концентрации продуктов горения в помещениях здания получены из уравнений сохранения энергии и массы.

Температура газа в помещении, где отсутствует очаг пожара, определяется из уравнения теплового баланса, которое можно получить из уравнения сохранения энергии (П6.7). Формула для определения температуры газа в j-м помещении здания в "n"-ый момент времени:

$$T_{nj} = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left(C_{PB}\cdot G_k\cdot T_k\right)+Q_j}{C_{v2}\cdot\left(\sum_{k=1}^{n}G_k-\sum_{i=1}^{m}G_i\right)+C_{p2}\cdot\sum_{i=1}^{m}G_i+\alpha^*_{jn}\cdot F_{jn}+\alpha^*_{j\text{ст}}\cdot F_{j\text{ст}}}+$$

$$+\left[T_{(n-1)j}-\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(C_{PB}\cdot G_k\cdot T_k\right)+Q_j}{C_{v2}\cdot\left(\sum_{k=1}^{n}G_k-\sum_{i=1}^{m}G_i\right)+C_{p2}\cdot\sum_{i=1}^{m}G_i+\alpha^*_{jn}\cdot F_{jn}+\alpha^*_{j\text{ст}}\cdot F_{j\text{ст}}}\right]\cdot$$

$$\cdot\exp\left[-\frac{C_{v2}\cdot\left(\sum_{k=1}^{n}G_k-\sum_{i=1}^{m}G_i\right)+C_{p2}\cdot\sum_{i=1}^{m}G_i+\alpha^*_{jn}\cdot F_{jn}+\alpha^*_{j\text{ст}}\cdot F_{j\text{ст}}}{C_{v2}\cdot\rho_j\cdot V_j}\cdot\Delta\tau\right], \text{ (П6.16)}$$

где Q_j - сумма источников (стоков) тепла в объеме j-го помещения и тепла, уходящего в ограждающие конструкции;

$\alpha^* = \alpha\cdot\left[\frac{T(\tau)-T_w(\tau)}{T(\tau)-T_0}\right]$ - приведенный коэффициент теплоотдачи;

T_0 - начальная температура в помещении;

$F_{j\text{ст}}$ - площадь поверхности ограждающих конструкций в j-м помещении.

Коэффициент теплоотдачи α может быть рассчитан по эмпирической формуле:

$$\alpha = \begin{cases} 4{,}07\cdot\sqrt[3]{T_m - T_w} & \text{при } T_m \le 60\ ^\circ\text{C} \\ 11{,}63\cdot\exp\left[0{,}0023\cdot\left(T_m - T_0\right)\right] & \text{при } T_m > 60\ ^\circ\text{C} \end{cases}. \text{ (П6.17)}$$

Концентрация отдельных компонентов газовых смесей в помещениях здания вычисляется из уравнения баланса массы данного компонента (П6.12). Концентрация L-го компонента продуктов горения в j-м помещении в "n"-ый момент времени определяется уравнением:

$$X_{Lj(n)} = \frac{\sum_{k=1}^{n}\left(X_{Lk}\cdot G_k\right)}{\sum_{k=1}^{n}G_k}+\left(X_{Lj(n-1)}-\frac{\sum_{k=1}^{n}\left(X_{Lk}\cdot G_k\right)}{\sum_{k=1}^{n}G_k}\right)\cdot\exp\left(-\frac{\sum_{k=1}^{n}G_k}{\rho_j\cdot V_j}\cdot\Delta\tau\right). \text{ (П6.18)}$$

Оптическая концентрация дыма в помещениях определяется из балансового уравнения (П6.19). Натуральный показатель ослабления среды в j-ом помещении в "n"-ый момент времени определяется уравнением:

$$\mu_{(n)j} = \frac{\sum_{k=1}^{n}(\mu_k \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^{n} G_k} + \left(\mu_{(n-1)j} - \frac{\sum_{k=1}^{n}(\mu_k \cdot G_k)}{\sum_{k=1}^{n} G_k}\right) \cdot \exp\left(-\frac{\sum_{k=1}^{n} G_k}{\rho_j \cdot V_j} \cdot \Delta\tau\right)$$. (П6.19)

Аналитические соотношения для определения критической продолжительности пожара

Для одиночного помещения высотой не более 6 м, удовлетворяющего условиям применения интегральной модели, при отсутствии систем противопожарной защиты, влияющих на развитие пожара, допускается определять критические времена по каждому из опасных факторов пожара с помощью аналитических соотношений:

по повышенной температуре

$$t_{кр}^{T} = \left\{\frac{B}{A} \cdot \ln\left[1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0) \cdot z}\right]\right\}^{1/n}$$, (П6.20)

по потере видимости

$$t_{кр}^{п.в.} = \left\{\frac{B}{A} \cdot \ln\left[1 - \frac{V \cdot \ln(1{,}05 \cdot \alpha \cdot E}{l_{пр} \cdot B \cdot D_m \cdot z}\right]^{-1}\right\}^{1/n}$$, (П6.21)

по пониженному содержанию кислорода

$$t_{кр}^{O_2} = \left\{\frac{B}{A} \cdot \ln\left[1 - \frac{0{,}044}{\left(\frac{B \cdot L_{O_2}}{V} + 0{,}27\right) \cdot z}\right]^{-1}\right\}^{1/n}$$, (П6.22)

по каждому из газообразных токсичных продуктов горения

$$t_{кр}^{т.г.} = \left\{\frac{B}{A} \cdot \ln\left[1 - \frac{V \cdot X}{B \cdot L \cdot z}\right]^{-1}\right\}^{1/n}$$, (П6.23)

где $B = \frac{353 \cdot c_p \cdot V}{(1-\varphi) \cdot \eta \cdot Q_H}$ - размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения, кг;

t_0 - начальная температура воздуха в помещении, °C;

n - показатель степени, учитывающий изменение массы выгорающего материала во времени;

A - размерный параметр, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала

и площадь пожара, $кг/с^n$;

Z - безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения;

Q_H - низшая теплота сгорания материала, МДж/кг;

C_p - удельная изобарная теплоемкость дымовых газов, МДж/(кг·К) (допускается принимать равной теплоемкости воздуха при 45 °С);

φ - коэффициент теплопотерь (принимается по данным справочной литературы, при отсутствии данных может быть принят равным 0,55);

η - коэффициент полноты горения (определяется по формуле П6.9);

V - свободный объем помещения, м3;

a - коэффициент отражения предметов на путях эвакуации;

E - начальная освещенность, лк;

$l_{пр}$ - предельная дальность видимости в дыму, м;

D_m - дымообразующая способность горящего материала, Нп·м2/кг;

L - удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала, кг/кг;

X - предельно допустимое содержание токсичного газа в помещении, $кг/м^{-3}$ ($X_{CO_2} = 0,11$ кг/м3; $X_{CO} = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кг/м3; $X_{HCL} = 23 \cdot 10^{-6}$ кг/м3);

L_{O_2} - удельный расход кислорода, кг/кг.

Если под знаком логарифма получается отрицательное число, то данный ОФП не представляет опасности.

Параметр z вычисляют по формуле:

$$z = \frac{h}{H} \cdot \exp\left(1,4 \cdot \frac{h}{H}\right) \quad \text{при } H \le 6 \text{ м}$$

, (П6.24)

где h - высота рабочей зоны, м;

H - высота помещения, м.

Определяется высота рабочей зоны:

$$h = h_{пл} + 1,7 - 0,5 \cdot \delta$$

, (П6.25)

где $h_{пл}$ - высота площадки, на которой находятся люди, над полом помещения, м;

δ - разность высот пола, равная нулю при горизонтальном его расположении, м.

Следует иметь в виду, что наибольшей опасности при пожаре подвергаются люди, находящиеся на более высокой отметке. Поэтому, например, при определении необходимого времени эвакуации людей из партера зрительного зала с наклонным полом значение h следует находить, ориентируясь на наиболее высоко расположенные ряды кресел. Параметры A и n вычисляют так:

для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \psi_{уд} \cdot F$$

n = 1,

где $\psi_{уд}$ - удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг/(м2·с);

для случая горения жидкости с неустановившейся скоростью:

$$A = \frac{0{,}67 \cdot \psi_{уд} \cdot F}{\sqrt{t_{ст}}}$$ n = 1,5,

для кругового распространения пожара:

$$A = 1{,}05 \cdot \psi_{уд} \cdot V^2$$ n = 3,

где V - линейная скорость распространения пламени, м/с;

для вертикальной или горизонтальной поверхности горения в виде прямоугольника, одна из сторон которого увеличивается в двух направлениях за счет распространения пламени (например, распространение огня в горизонтальном направлении по занавесу после охвата его пламенем по всей высоте):

$$A = \psi_{уд} \cdot V \cdot b$$ n = 2,

где b - перпендикулярный к направлению движения пламени размер зоны горения, м.

При отсутствии специальных требований значения a и E принимаются равными 0,3 и 50 лк соответственно, а значение $l_{пр} = 20$ м.

IV. Математическая двухзонная модель пожара в здании

При решении задач с использованием двухзонной модели пожар в здании характеризуется усредненными по массе и объему значениями параметров задымленной зоны:

T - температура среды в задымленной зоне, K;

мю - оптическая плотность дыма, Нп/м;

x_i - массовая концентрация i-того токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг/кг;

$x_к$ - массовая концентрация кислорода, кг/кг;

Z - высота нижней границы слоя дыма, м.

В свою очередь перечисленные параметры выражаются через основные интегральные параметры задымленной зоны с помощью следующих формул:

$$Q_з = \text{интеграл}_0^T m_р \times c_р(T) \times dT, \qquad (П6.26)$$

$$x_i = \frac{m_i}{m_р}, \quad x_к = \frac{m_к}{m_р}, \qquad (П6.27)$$

$$мю = \frac{S}{V_д}, \qquad (П6.28)$$

$$ро = \frac{m}{V_д}, \quad Z = H - \frac{V_д}{A}, \qquad (П6.29)$$

где m, m_i - общая масса дыма и соответственно i-го токсичного продукта горения в задымленной зоне, кг;

$m_к$ - масса кислорода в задымленной зоне, кг;

$Q_з$ - энтальпия продуктов горения в задымленной зоне, кДж;

S - оптическое количество дыма, Нп х м2;

ро - плотность дыма при температуре Т, кг/м3;

$V_д$ - объем задымленной зоны, м3;

H, A - высота и площадь помещения, м;

$c_р$ - удельная теплоемкость дыма, кДж/(К х кг).

Динамика основных интегральных параметров задымленной зоны определяется интегрированием системы следующих балансовых уравнений:

общей массы компонентов задымленной зоны с учетом дыма, вносимого в зону конвективной колонкой и дыма, удаляемого через проемы в соседние помещения:

$$\frac{dm}{dt} = G_К - G_П, \qquad (П6.30)$$

где t - текущее время, с;

$G_К$, $G_П$ - массовый расход дыма соответственно через конвективную колонку и открытые проемы в помещении, кг/с;

энтальпия компонентов задымленной зоны с учетом тепла, вносимого в зону конвективной колонкой, теплоотдачи в конструкции и уноса дыма в проемы:

$$\frac{dQ}{dt} = Q_К - Q_П - Q_{кон}, \qquad (П6.31)$$

где $Q_К$, $Q_П$, $Q_{кон}$ - тепловая мощность, соответственно вносимая в задымленную зону конвективной колонкой, удаляемая с дымом через открытые проемы и теряемая в конструкции, кВт;

массы кислорода с учетом потерь на окисление продуктов пиролиза горючих веществ:

$$\frac{dm_{ox}}{dt} = 0,23 \cdot \left(G_К - \eta \cdot \psi \cdot L_{ox}\right) - x_{ox} \cdot G_П, \qquad (П6.32)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

η - полнота сгорания горючего материала, кг/кг;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

ψ - скорость выгорания горючего материала, кг/с;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

L_{ox} - потребление кислорода при сгорании единицы массы горючего материала, кг/кг;
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

оптического количества дыма с учетом дымообразующей способности горящего материала:
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

$$\frac{dS}{dt} = \psi \cdot D_m - G_П \cdot \frac{\mu}{\rho}, \qquad (П6.33)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

где D_m - дымообразующая способность горючего материала, Нп/(м2·кг);
(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

массы i-го токсичного продукта горения:

$$\frac{dm_i}{dt} = пси \times L_i - x_i \times G_П, \qquad (П6.34)$$

где L_i - массовый выход i-го токсичного продукта горения, кг/кг.

Масса компонентов дыма $G_К$, вносимых в задымленную зону конвективной колонкой, оценивается с учетом количества воздуха, вовлекаемого в конвективную колонку по всей ее высоте до нижней границы слоя дыма. В инженерных расчетах расход компонентов дыма через осесимметричную конвективную колонку на высоте нижнего уровня задымленной зоны Z (в зависимости от того, какая область конвективной колонки или факела погружена в задымленную зону) задается полуэмпирической формулой:

$$G_К = \begin{cases} 0{,}011 \times Q \times \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{0{,}566} & \text{для области факела} \\ 0{,}026 \times Q \times \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{0{,}909} & \text{для переходной области} \\ 0{,}124 \times Q \times \left(\frac{Z}{Q^{2/5}}\right)^{1{,}895} & \text{для области колонки,} \end{cases} \qquad (П6.35)$$

где Q - мощность очага пожара, кВт.

Динамика параметров очага пожара определяется развитием площади горения с учетом сложного состава горючих материалов, их расположения, места возникновения очага пожара и полноты сгорания:

$$Q = \eta \cdot \psi_{уд} \cdot Q_н \cdot F(t). \qquad (П6.36)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

Потери тепла в ограждающие конструкции рассчитываются с учетом температуры горячей струи T_c, скорости и излучательной способности струи, омывающей конструкции и прогрева самой i-й конструкции $T_i(y)$ по толщине y. Для этого численно интегрируется нестационарное уравнение Фурье:

$$\frac{dT_i(y)}{d\,тау} = \frac{1}{C(T) \times ро} \times \frac{d\,лямбда(T) \times dT_i(y)}{d^2 \times y}, \qquad (П6.37)$$

с граничными и начальными условиями:

$$(\text{альфа}_к + \text{альфа}_л) \times (T_c - T_w) = -\text{лямбда}_w \times \left.\frac{dT_i(y)}{dy}\right|_{y=0}, \qquad (П6.38)$$

$$(\text{альфа}_к + \text{альфа}_л) \times (T_0 - T_i(\text{дельта})) = -\text{лямбда}(T) \times \left.\frac{dT_i(y)}{dy}\right|_{y=\text{дельта}}, \qquad (П6.39)$$

$$T_i(0,y) = T_0, \quad 0 <= y <= \text{дельта}, \qquad (П6.40)$$

где альфа$_к$, альфа$_л$ - соответственно конвективный и лучистый коэффициент теплоотдачи, Вт/(м2 x К);

дельта - толщина ограждающей конструкции, м;

С(Т) - теплоемкость материала конструкции при температуре Т(у), Дж /(кг2 x °К);

лямбда(Т) - теплопроводность материала конструкции при температуре Т(у), Вт/(м x °К);

T_w, T_0 - температура соответственно обогреваемой части конструкции и среды у необогреваемой поверхности, К;

ро - плотность материала конструкции, кг/м.

Тепловые и массовые потоки через проем в каждый момент времени рассчитываются с учетом текущего перепада давления по высоте проема, состава и температуры газовой среды по обе стороны проема (схема расчета на рис. П6.1). Так, массовый расход дыма из помещения очага пожара в соседнее помещение рассчитывается следующим образом:

$$G_П = B \times \text{кси} \times \text{интеграл}_{Y_{min}}^{Y_{max}} \sqrt{2 \times \text{ро} \times (P(h) - P_2(h))} \times dh, \qquad (П6.41)$$

где В - ширина проема, м;

кси - аэродинамический коэффициент проема;

$P(h) - P_2(h)$ - разница давлений в помещениях на высоте h;

ро - плотность дыма в задымленной зоне соседнего помещения при температуре дыма Т.

Рис. П6.1. Массопотоки через проем (не приводится)

Пределы интегрирования Y_{max} и Y_{min} выбираются в пределах створа проема, слоя дыма помещения очага пожара и там, где избыточное давление Дельта $P = (P(h) - P_2(h)) > 0$, как это указано на рис. П6.1.

Необходимая для оценки перепада давления по створу проема зависимость давления от высоты в i-м помещении (с учетом задымленной зоны этого помещения) оценивается как:

$$P_i(h) = \begin{cases} P_{i0} - \rho_o \cdot g \cdot h & \text{если } h \le Z_i \\ P_{i0} - \rho_o \cdot g \cdot Z_i - \rho_i \cdot g \cdot h & \text{если } h > Z_i \end{cases}, \qquad (П6.42)$$

(в ред. Приказа МЧС РФ от 12.12.2011 N 749)

где P_{i0} - текущее давление в i-м помещении на нулевой отметке (или приведенное к нулевой отметке, если уровень пола помещения выше нулевой отметки);

po_0 - плотность воздуха при начальной температуре T_0;

Z_i - текущая высота незадымленной зоны в i-м помещении.

Рассчитанные параметры тепломассообмена в проеме используются как граничные условия для соседнего помещения.

V. Полевой метод моделирования пожара в здании

Основой для полевых моделей пожаров являются уравнения, выражающие законы сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов в рассматриваемом малом контрольном объеме.

Уравнение сохранения массы:

$$\frac{dpo}{dt} + \frac{d}{dx_j}(po \times u_j) = 0. \qquad (П6.43)$$

Уравнение сохранения импульса:

$$\frac{d}{dt}(po \times u_i) + \frac{d}{dx_j}(po \times u_j \times u_i) = -\frac{dpo}{dx_i} + \frac{dтау_{ij}}{dx_j} + po \times g_i. \qquad (П6.44)$$

Для ньютоновских жидкостей, подчиняющихся закону Стокса, тензор вязких напряжений определяется формулой:

$$тау_{ij} = мю \times \left(\frac{du_i}{dx_j} + \frac{du_j}{dx_i}\right) - \frac{2}{3} \times мю \times \frac{du_k}{dx_k} \times дельта_{ij}. \qquad (П6.45)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{d}{dt}(po \times h) + \frac{d}{dx_j}(po \times u_j \times h) = \frac{dp}{dt} + \frac{d}{dx_j}\left(\frac{лямбда}{c_p} \times \frac{dh}{dx_j}\right) - \frac{dq^R_j}{dx_j}, \qquad (П6.46)$$

где $h = h_0 + \text{интеграл}_{T_0}^{T} c_p \, dT + SUM_k (Y_k \times H_k)$ - статическая энтальпия смеси;

H_k - теплота образования k-го компонента;

$c_p = SUM_{p,k} Y_k \times c_{p,k}$ - теплоемкость смеси при постоянном давлении;

q^R_j - радиационный поток энергии в направлении x_j.

Документ предоставлен КонсультантПлюс
Дата сохранения: 04.10.2012

Уравнение сохранения химического компонента k:

$$\frac{d}{dt}(\rho_0 \times Y_k) + \frac{d}{dx_j}(\rho_0 \times u_j \times Y_k) = \frac{d}{dx_j}\left(\rho_0 \times D \times \frac{dY_k}{dx_j}\right) + S_k . \qquad (П6.47)$$

Для замыкания системы уравнений (П6.43) - (П6.47) используется уравнение состояния идеального газа. Для смеси газов оно имеет вид:

$$p = \rho_0 \times R_0 \times T \times \sum_k \frac{Y_k}{M_k}, \qquad (П6.48)$$

где R_0 - универсальная газовая постоянная;

M_k - молярная масса k-го компонента.