

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

Академия Государственной противопожарной службы

С. В. ПУЗАЧ, А. В. СМАГИН
О. С. ЛЕБЕДЧЕНКО, Е. С. АБАКУМОВ

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОГО
ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
И ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ
ФИЛЬТРУЮЩИХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ
ПРИ ЭВАКУАЦИИ НА ПОЖАРАХ

Монография

Под редакцией доктора технических наук, профессора С.В. Пузача

*Утверждено Редакционно-издательским советом
Академии ГПС МЧС России*

Москва 2007

— 30209 —

УДК 614.8
ББК 38.96
П-88

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор
Е.М. Шелков (Институт высоких температур РАН)
доктор технических наук, профессор
И.Р. Бегишев (Академия ГПС МЧС России)

Пузач С.В., Смагин А.В., Лебедченко О.С., Абакумов Е.С.

П-88 Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах. Монография. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.

ISBN 978-5-901091-77-7

Выполнен анализ токсичных газов, образующихся при горении горючей нагрузки помещений и современных строительных материалов. Рассмотрено влияние токсичных продуктов горения на организм человека. Проанализированы нормативные и современные методы расчета необходимого времени эвакуации людей из помещений. Показано определяющее влияние опасных факторов пожара, не учтенных в нормативных документах. Существующая база данных по пожарной нагрузке на основе обзора литературных источников уточнена и расширена по выходу токсичных газов.

Приведены и проанализированы результаты расчета очередности наступления опасных факторов пожара с использованием нормативного метода расчета и расширенной базы данных. Представлены результаты численного расчета динамики изменения концентраций токсичных газов на путях эвакуации при пожаре в зданиях и сооружениях с использованием современных полевого и зонного методов.

Обоснована необходимость применения портативных фильтрующих самоспасателей для обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий при пожарах.

Монография ориентирована на научных и практических работников пожарной охраны, преподавателей и слушателей высших образовательных учреждений пожарно-технического профиля.

УДК 614.8
ББК 38.96

Издано в авторской редакции.

ISBN 978-5-901091-77-7

© Академия Государственной противопожарной
службы МЧС России, 2007

© Издательство "Все для Вас Подмосковье"

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Глава 1. Постановка задач исследования	7
Глава 2. Обзор литературных источников	9
2.1. Характеристики пожарной нагрузки и современных строительных материалов	9
2.2. Влияние токсичных продуктов горения на организм человека при горении современных строительных материалов	31
2.3. Современные средства защиты органов дыхания и зрения. Самоспасатели	46
Глава 3. Методы расчета динамики изменения концентраций токсичных газов на путях эвакуации при пожаре в зданиях и сооружениях ..	52
3.1. Полевая математическая модель расчёта тепломассообмена при пожаре ..	52
3.2. Метод расчёта необходимого времени эвакуации из зальных помещений по ГОСТ 12.1.004–91*	56
3.3. Метод расчёта необходимого времени эвакуации из коридоров зданий по ГОСТ 12.1.004–91*	59
3.4. Зонная модель расчета динамики опасных факторов пожара ..	61
Глава 4. Определение эффективности самоспасателей на основе аналитического решения интегральной модели	71
4.1. Сравнительный анализ опасности токсичных газов при пожаре	71
4.2. Оценка эффективности применения самоспасателей	82
Глава 5. Результаты численного расчета динамики изменения концентраций токсичных газов на путях эвакуации при пожаре в зданиях и сооружениях ...	99
Глава 6. Рекомендации по использованию портативных фильтрующих самоспасателей «Феникс» при эвакуации на пожарах	110
Заключение	112
Литература	115
Приложение 1. Параметры горючей нагрузки для жилых и нежилых помещений гражданских зданий	120
Приложение 2. Эффективность использования самоспасателей в помещениях при различных пожарных нагрузках	124
Приложение 3. Примеры расчета динамики ОФП с использованием зонного и полевого методов расчета	188

ВВЕДЕНИЕ

В связи с переходом многих стран мира к гибкому объектно-ориентированному противопожарному нормированию, математическое моделирование пожаров становится определяющим звеном при решении различных задач пожарной безопасности. Федеральное законодательство, в частности, Федеральный закон «О техническом регулировании» и стандарт пожарной безопасности «ГОСТ 12.1.004-91* Пожарная безопасность. Общие требования» обеспечивают законодательную базу реализации на практике принципа гибкого нормирования.

При анализе пожарной опасности в соответствии с нормативными документами (например, «СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений») могут использоваться расчетные сценарии, основанные на соотношении временных параметров развития и распространения опасных факторов пожара (ОФП) и позволяющие определить риск для людей и конструкций здания и выбрать наиболее эффективные системы противопожарной защиты.

Для решения этой задачи необходимо уметь определять динамику изменения концентраций продуктов горения на путях эвакуации при пожаре на различных объектах.

Сложность разработки вышеуказанного метода расчета заключается в многофакторности и нелинейности задачи. Моделирование тепломассообмена при пожаре представляет собой крайне сложную, в полном виде нерешенную проблему [6-8, 11].

Реальный пожар как неконтролируемое горение является сложным, до конца не изученным, существенно нестационарным и трехмерным теплофизическим процессом, сопровождающимся изменением химического состава и параметров газовой среды помещения. Турбулентный конвективный и лучистый тепломассообмен в очаге горения с химическими реакциями, теплообмен между горячими газами и ограждающими конструкциями помещения и т. д. осложняются тепломассообменом с окружающей средой через проемы и вследствие работы систем механической приточно-вытяжной вентиляции и пожаротушения, что приводит к существенной неоднородности температурных, скоростных и концентрационных полей продуктов горения в объеме помещения (нестационарность и трехмерность задачи).

О сложности решения такой задачи также говорит тот факт, что математическое моделирование турбулентного тепломассообмена в сложных термогазодинамических условиях вместе с другими задачами нелинейной физики входит в список тридцати особо важных и интересных проблем

физики на ближайшие годы, составленный Российской академией наук [93].

Целью расчетов по математическим моделям газодинамики и тепло-массообмена при пожаре является прогнозирование динамики изменения параметров газовой среды помещения (в первую очередь, ОФП), прогрева ограждающих конструкций и теплового или иного воздействия пожара на людей и материальные ценности.

Знание очередности наступления критических значений отдельных ОФП (потеря видимости, температура, излучение, повышенное содержание токсичных газов, пониженное содержание кислорода и концентрация частиц дыма) позволяет спрогнозировать самочувствие людей во время эвакуации, последствия для их здоровья в результате пожара и сформулировать требования к самоспасателям, используемым во время эвакуации.

Очередность наступления критических значений ОФП зависит от большого числа факторов (объемно-планировочные решения здания, свойства горючих веществ и т. д.) и комплексно до настоящего времени не изучалась.

Определение критической продолжительности пожара по отдельным ОФП в первую очередь требует знания свойств горючих материалов, находящихся в помещении.

В монографии выполнен анализ существующей базы данных [11, 23] и литературных источников по выходу токсичных компонентов, потреблению кислорода и дымовыделению в случае горения индивидуальных веществ и комбинированных пожарных нагрузок (ПН).

База данных [11, 23] не учитывает выход акролеина, синильной кислоты и ряда других токсичных газов при горении и расширена в данной работе по вышеуказанным газам.

Очередность наступления критических значений различных ОФП в помещениях исследована для всех приведенных в [11] индивидуальных веществ и комбинированных ПН с использованием всех типов математических моделей расчета термогазодинамики пожара (аналитическое решение интегральной модели, интегральная, зонная и полевая модели) [7, 8, 11]

Практическая значимость исследования, выполненного в монографии, заключается в разработке рекомендаций по обеспечению безопасности для жизни и здоровья людей при эвакуации на пожарах в зданиях.

В монографии в качестве практического приложения приведена оценка эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей для эвакуации при пожаре.

На практике требования к портативным фильтрующим самоспасателям регламентированы нормативным документом НПБ 302-2001 [70] и яв-

ляются достаточно «жесткими». Так, например, начальная массовая концентрация монооксида углерода в воздухе, подаваемом в самоспасатель, составляет $0,0062 \pm 0,0003 \text{ кг/м}^3$, что существенно превышает предельно допустимое значение для безопасной эвакуации людей, равное $1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ [9].

Однако, в большинстве литературных источников [7, 8, 32] экспериментальные и теоретические результаты показывают, что массовые концентрации окиси углерода не достигают предельно допустимых значений за все время эвакуации или достигают после наступления критической величины температуры в помещении.

В монографии проведены исследования, в соответствии с результатами которых, использование портативных фильтрующих самоспасателей, не удовлетворяющих по защите от окиси углерода НПБ 302–2001 [70], может быть эффективным для спасения жизни и здоровья людей на пожарах.

Глава 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Условие безопасной эвакуации людей из зданий выполняется, если расчетное время эвакуации из каждого помещения, этажа и здания в целом меньше соответствующего необходимого времени эвакуации [9]. Особенности определения расчетного времени из зданий приведены в [9, 68, 73].

Необходимое время эвакуации в соответствии с [9] равно 80 % от критической продолжительности пожара. Критической продолжительностью пожара называется промежуток времени от начала пожара до момента времени, когда величина хотя бы одного ОФП достигнет своего предельно допустимого для человека значения в зоне пребывания людей.

В российских стандартах пожарной безопасности (ГОСТ 12.1.004–91* и др.) заложены упрощенные методы расчета, несоответствующие реальной термогазодинамической картине пожара и приводящие в ряде случаев к завышению необходимого времени эвакуации людей в 2–3 раза [8, 76, 77, 81]

Для зальных помещений используются формулы (ГОСТ 12.1.004–91*, ГОСТ Р 12.3.047–98) аналитического решения интегральной модели, когда проемы работают только на «выброс» смеси продуктов горения и воздуха наружу через проемы. В случае коридоров решается численным способом полная система уравнений интегральной модели. Применение этих подходов ограничено высотой помещений, не превышающей 6 м [9].

Поэтому для расчета необходимого времени эвакуации людей нужно использовать современные зонные и полевые математические модели термогазодинамики пожара [8, 11].

К ОФП в соответствии с [9] относятся:

- пламя и искры;
- повышенная температура окружающей среды;
- токсичные продукты горения и термического разложения;
- дым (дальность видимости);
- пониженная концентрация кислорода.

Однако нормативные документы, с помощью которых определяется необходимое время эвакуации людей, в отличие от современных методов расчета не учитывают следующие ОФП:

- излучение;
- наличие мелкодисперсных твердых частиц, вдыхание которых может привести к потере ориентации, сознания и последующему удушью (количественно не учтено в ГОСТ 12.1.004–91*);
- некоторые продукты горения (ПГ), выделяющиеся при горении большинства видов пожарных нагрузок (синильная кислота, акролеин, оксиды азота и серы, бензол и формальдегид) [32–34].

Согласно последним научным данным [32–34], именно воздействие синильной кислоты, соляной кислоты, акролеина и мелкодисперсных частиц при вдыхании вызывает гибель людей (результаты патологоанатомических исследований). Это позволяет сделать вывод о том, что предельные концентрации именно этих веществ в помещении достигаются первыми.

Воздействие ПГ на организм человека при пожаре является одним из ОФП, который может вызвать гибель или существенно ухудшить состояние здоровья человека.

Для снижения опасности воздействия ПГ и выбора методов и средств защиты человека от ПГ необходимо, в первую очередь, знать состав ПГ и время наступления их опасных концентраций в помещении, а также соотношение времени наступления опасных концентраций ПГ и времени наступления предельных значений других ОФП (по температуре, пониженному содержанию кислорода и потере видимости).

Между тем, ни нормативные документы (ГОСТ 12.1.004–91*), ни база данных параметров горючей нагрузки для жилых и нежилых помещений гражданских зданий [11] не рассматривают вышеперечисленные соединения как ОФП, и, соответственно, при расчетах необходимого времени эвакуации они не учитываются. Это может привести к недостаточному или ошибочному выбору средств и методов защиты людей от воздействия ОФП и, как следствие, повышению риска гибели людей.

Для определения очередности наступления критических значений ОФП при эвакуации на пожарах необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ отечественных и зарубежных статистических данных по составу и уровням концентраций ПГ на путях эвакуации при пожарах на типовых объектах различного назначения;
- выполнить анализ литературных источников по воздействию токсичных ПГ (монооксида углерода, соляной кислоты, акролеина и др.) на человека;
- выполнить расчет и анализ динамики изменения концентраций ПГ (в первую очередь монооксида углерода) на путях эвакуации при пожарах на типовых объектах различного назначения по современным полевой и зонной моделям, а также с использованием нормативных методов расчета (ГОСТ 12.1.004–91) в течение времени эвакуации;
- в качестве примера практического приложения разработать рекомендации по использованию портативных фильтрующих самоспасателей (в том числе без дополнительной защиты от монооксида углерода) для спасения жизни и здоровья людей при эвакуации на пожарах.

Глава 2. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

2.1. Характеристики пожарной нагрузки и современных строительных материалов

Вещества и материалы, используемые в строительной индустрии, имеют различную степень пожарной опасности.

Наиболее распространенной отделкой помещений являются древесина и полимеры, а также всевозможные изделия из них (ДВП, ДСП, мебель, бумага, линолеум, провода, кабели, покрытия и т. д.) [33]. В результате пиролиза и горения этих материалов выделяется большое количество токсичных ПГ.

Исследования влияния ОФП на человека и окружающую среду представляют большой интерес с научной и практической точки зрения и активно ведутся во всем мире.

В настоящее время получено большое количество экспериментальных и теоретических данных о динамике ОФП в зданиях и сооружениях. Представленные в литературе результаты показывают существенную зависимость термогазодинамических характеристик пожаров (температуры, концентраций токсичных газов, скоростей газовых потоков и т. д.) от объемно-планировочных и конструктивных решений зданий, состава горючих веществ и материалов, условий горения, работы систем пожаротушения и дымоудаления, оборудования, использованного при измерениях величин параметров, и ряда других факторов. Состав ПГ определяется природой отделочных и строительных материалов, условиями горения, температурой окружающей среды и другими условиями.

В целях изучения характеристик газовой среды при пожаре специалистами НИИ медицины труда и экологии человека – АФ ГУ НЦМЭ ВСНЦ СО РАМН – были проведены исследования пожаров в г. Ангарске по качественному и количественному определению токсичных веществ, выделяющихся при горении. Измерения производились на промышленных и бытовых объектах, предприятиях транспорта. Результаты измерений представлены в виде таблицы 2.1 [31].

Исследования показали, что наиболее опасными (преобладающими в количественном отношении) являются монооксид углерода, хлороводород, акролеин, циановодород, бензол, формальдегид, окислы азота и серы.

Таблица 2.1

Результаты определения проб воздуха на содержание токсичных веществ при пожарах

Место отбора проб	Концентрации веществ, мг/м ³ (класс опасности ГН 2.2.5-686-98)				
	Оксид углерода ПДК = 20 (IV)	Сумма углеводородов C ₂ - C ₁₀ ПДК = 300 (IV)	Диоксид серы ПДК = 10 (III)	Оксиды азота (в пересчете на N ₂ O) ПДК = 5 (III)	Хлороводород ПДК = 5 (II)
Горение деревянных домов (n = 30)	$\frac{29,1 - 2720}{639,2 \pm 120}$	$\frac{8,1 - 678}{197,5 \pm 29,9}$	$\frac{0,017 - 2011}{615 \pm 8,9}$	$\frac{0,025 - 19,8}{8,2 \pm 0,9}$	$\frac{2,7 - 44,4}{21,9 - 1,9}$
Горение гаражей (n = 30)	$\frac{13,9 - 25500}{24967 \pm 1139}$	$\frac{17,7 - 407}{122,2 \pm 17,4}$	$\frac{18,7 - 46,2}{97,3 \pm 1,2}$	$\frac{2,1 - 25,7}{19,0 \pm 1,1}$	$\frac{5,8 - 103,2}{39,7 \pm 4,4}$
Горение подвалов, кладовок (n = 24)	$\frac{18,9 - 336}{94,9 \pm 16,9}$	$\frac{11,8 - 395,4}{66,7 \pm 20,5}$	$\frac{23,8 - 121,8}{57,5 \pm 5,2}$	$\frac{6,6 - 33,1}{12,4 \pm 1,4}$	-
Горение мусора (n = 30)	$\frac{3,13 - 44,4}{25,3 \pm 2,2}$	$\frac{1,6 - 124,6}{48,1 \pm 6,6}$	$\frac{6,3 - 35,4}{21,1 \pm 1,5}$	$\frac{4,3 - 25,2}{13,9 \pm 1,1}$	$\frac{5,9 - 7,6}{6,8 \pm 0,1}$
Пожар в квартире многоэтажного дома (n = 6)	$\frac{28,1 - 32,5}{30,3 \pm 1,8}$	$\frac{1,5 - 6}{2,8 \pm 1,9}$	-	$\frac{2,1 - 4,6}{3,5 \pm 1,5}$	-
Пожар на складе с видеоаппаратурой (n = 6)	$\frac{198 - 263}{225 \pm 27,5}$	$\frac{39,9 - 56,8}{46 \pm 7,1}$	$\frac{16,6 - 18,4}{17,5 \pm 0,8}$	$\frac{32,6 - 39,6}{36,1 \pm 3,1}$	$\frac{49,5 - 52,5}{51,0 \pm 1,3}$
Нефтехимический объект (горение нефтепродуктов, n = 6)	$\frac{18 - 24,6}{21,3 \pm 2,8}$	$\frac{146,2 - 182,2}{164,1 \pm 14,3}$	н/о	н/о	-
РМЗ - цех лакирования древесины (ДСП, ЛВЖ, n = 6)	$\frac{98,6 - 111}{104,6 \pm 5,2}$	$\frac{60,6 - 63,2}{61,6 \pm 1,1}$	-	$\frac{11,5 - 14,6}{12,3 \pm 1,3}$	н/о
БВК - завод (горение парафиновых бочек, n = 6)	$\frac{5180 - 6135}{5600 \pm 42,2}$	$\frac{1300 - 1421}{1382 \pm 51}$	$\frac{1127 - 1504}{1373 \pm 161}$	-	-
Горение автобуса (n = 6)	$\frac{4137 - 4435}{4268,7 \pm 126}$	$\frac{716,4 - 734,7}{724,5 \pm 7,7}$	-	$\frac{11,6 - 25,3}{18 \pm 5,7}$	$\frac{78,8 - 100}{87,6 \pm 9,4}$

Окончание табл. 2.1

Результаты определения проб воздуха на содержание токсичных веществ при пожарах

Место отбора проб	Концентрации веществ, мг/м ³ (класс опасности ГН 2.2.5-686-98)				
	Формальдегид ПДК = 0,5 (II)	Ацетон (пропан 2-ОН) ПДК = 200 (IV)	Бензол ПДК = 15 (II)	Толуол ПДК = 150 (III)	Хлороформ ПДК = 5 (II)
Горение деревянных домов (n = 30)	$\frac{3,6 - 28,1}{15,6 \pm 1,1}$	-	-	-	$\frac{0,9 - 3,2}{2,5 \pm 0,1}$
Горение гаражей (n = 30)	$\frac{8,2 - 234,4}{69,2 \pm 10,1}$	$\frac{51,48 - 60,4}{55,9 \pm 0,4}$	$\frac{14,9 - 38,4}{25,0 \pm 1,2}$	$\frac{7,5 - 28,9}{16,2 \pm 0,9}$	$\frac{2,5 - 4,4}{4,0 \pm 0,1}$
Горение подвалов, кладовок (n = 24)	$\frac{2 - 53,3}{16,1 \pm 2,7}$	$\frac{19,4 - 28,8}{22,7 \pm 0,5}$	$\frac{2,1 - 3,0}{2,7 \pm 0,1}$	$\frac{2,1 - 3,1}{2,6 \pm 0,1}$	$\frac{0,38 - 0,5}{0,45 \pm 0,01}$
Горение мусора (n = 30)	$\frac{4,3 - 29,8}{14,7 \pm 1,4}$	$\frac{20,1 - 34,5}{27,3 \pm 0,8}$	$\frac{11,8 - 24,8}{17,9 \pm 0,7}$	$\frac{11,60 - 18,4}{17,0 \pm 0,1}$	$\frac{2,8 - 4,5}{4 \pm 0,7}$
Пожар в квартире многоэтажного дома (n = 6)	$\frac{14,6 - 17}{15,7 \pm 1,0}$	-	-	-	-
Пожар на складе с видеоаппаратурой (n = 6)	$\frac{4,6 - 5,3}{5 \pm 0,3}$	-	-	-	$\frac{3,5 - 5,8}{4,9 \pm 1,1}$
Нефтехимический объект (горение нефтепродуктов, n = 6)	-	-	-	-	-
РМЗ - цех лакирования древесины (ДСП, ЛВЖ, n = 6)	$\frac{25,2 - 53,9}{36,2 \pm 12,1}$	-	-	-	н/о
БВК - завод (горение парафиновых бочек, n = 6)	$\frac{93,5 - 193,1}{153,7 \pm 15,2}$	-	-	-	н/о
Горение автобуса (n = 6)	$\frac{138,7 - 280,4}{203,9 \pm 60,0}$	-	-	-	$\frac{3,0 - 6,4}{4,9 \pm 1,4}$

Примечания

значения концентраций приводятся, как $\frac{\text{min} - \text{max}}{\text{среднее}}$,

н/о - не образуется при горении,

-- нет данных

В США существуют различные стандарты по оценке воздействия токсичных газов на пожарных [32]. Для наиболее типичных ситуаций разработаны три руководства по оценке экспозиции вредных примесей

База данных предельно-допустимых концентраций (пороговых значений) загрязнений в воздухе производственного помещения при краткосрочной ПДК (TVL-STEEL) основана на безопасном уровне в течение 15-минутной экспозиции от одной вредной примеси (первый стандарт, Американская Конференция Гигиенистов при Федеральной Промышленности (ACGIH)).

Во втором стандарте величина действующей опасной концентрации для жизни и здоровья (IDHL) применяется при определении необходимости использования средств защиты органов дыхания и зрения и определяется как концентрация, при которой человек в течение 30 минут может покинуть опасное помещение без использования средств защиты без дальнейших последствий для здоровья (Национальный институт охраны труда и здоровья – Администрация по охране труда и здоровья).

Для пожарных подходящим руководством является краткосрочная (10 мин) смертельная концентрация (STLC) [32].

На реальных пожарах в г. Бостоне (США) специалистами Департамента научных исследований окружающей среды и здоровья изучался вред, наносимый пожарным от воздействия токсичных газов, в частности, мониторингу подвергли акролеин, CO, CO₂, O₂, HCl, NO₂, HCN и микрочастицы (твердая и жидкая фаза), которые, по результатам ранее проведенных замеров и исследований, оказывают наиболее вредное воздействие на организм пожарного [32]. Специально для этих исследований было разработано нагрудное устройство отбора проб, которое прикреплялось к боевой одежде пожарного.

В табл. 2.2 представлены предельно-допустимые концентрации загрязнений в воздухе [32].

Результаты результатов исследований [32] показывают (рис. 2.1–2.6):

- «HCN» – уровень концентраций не достигает значительного уровня во всех измерениях (рис. 2.1);

- «акролеин» – в половине случаев концентрации превышали STEL и в 10 % случаев концентрации превышали 3 ppm (рис 2.2), очевидно, что акролеин является одним из опасных веществ на пожаре, вызывающий раздражающий эффект;

- «CO» – присутствует при всех замерах на пожарах (рис. 2.3), уровень превышения составил: STEL (400 ppm) – 16 случаев, IDHL (1500 ppm) – 4 случая;

- «HCl» – может достигать высоких концентраций и оказывать раздражающее действие, но не в количествах, вызывающих острые отравления (рис. 2.4);

- «NO₂» – распределение концентраций за 5 минут не вызывает отравлений, и условий для образования высоких концентраций в жилых зданиях недостаточно (рис. 2.5);

- «микрочастицы» – достигают концентраций, которые оказывают раздражающее действие (рис. 2.6);

- «CO₂» – не наносит существенного вреда пожарным, но присутствует во всех замерах: в трёх случаях из 89 произведённых проб превышено значение STEL (15 000 ppm) и в одном – IDHL (50 000 ppm).

Таблица 2.2

ПДК токсичных веществ

Соединения	STEL (15 мин), ppm	IDHL (30 мин), ppm	STLC (10 мин), ppm
Двуокись азота	5	50	>200
Хлороводород	5	100	>500
Циановодород	15	50	350
Акролеин	0,3	5	30–100
Монооксид углерода	400	1 500	5 000
Двуокись углерода	15 000	50 000	100 000
Бензол	–	2 000	20 000

Примечание

– – нет данных

Обозначения на рис. 2.1–2.6:

- STLC – кратковременная смертельная концентрация;

- IDHL – действующая опасная концентрация для жизни и здоровья человека;

- STEL – краткосрочная предельно-допустимая концентрация.

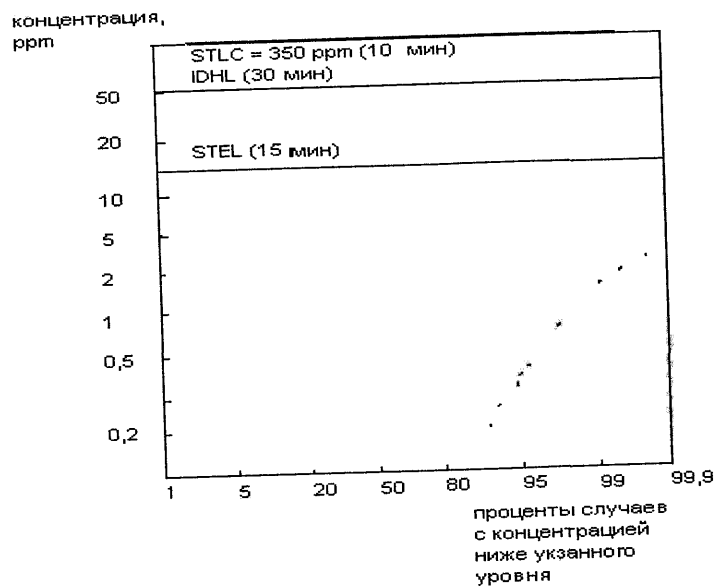


Рис 2.1. Распределение концентраций циановодорода [32]

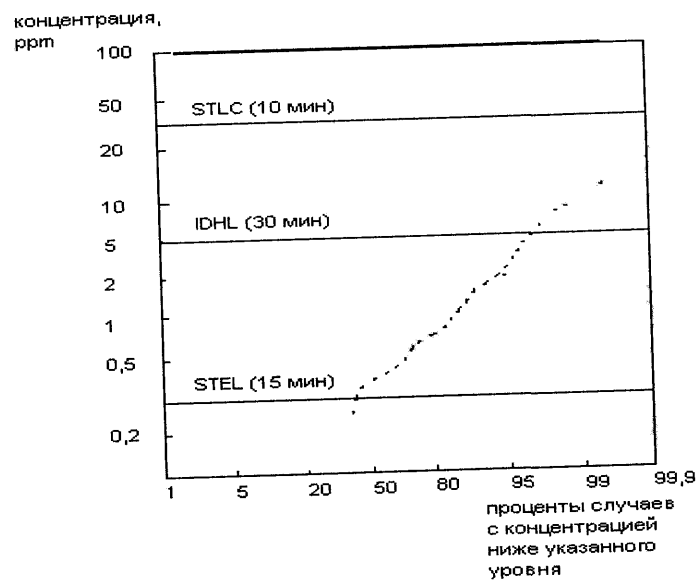


Рис 2.2. Распределение концентраций акролеина [32]

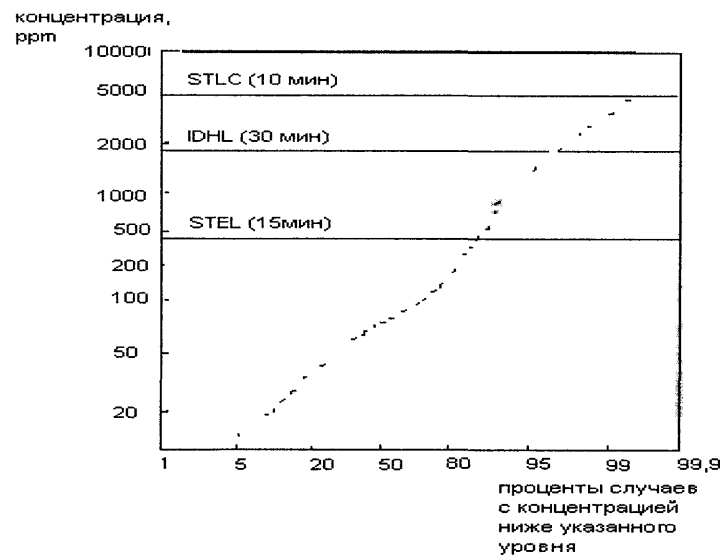


Рис 2.3. Распределение концентраций монооксида углерода [32]

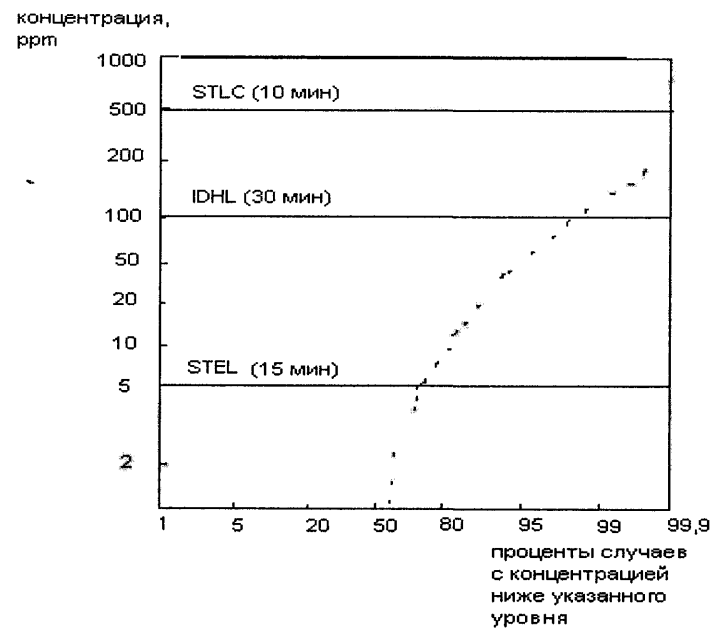


Рис.2.4. Распределение концентраций хлороводорода [32]

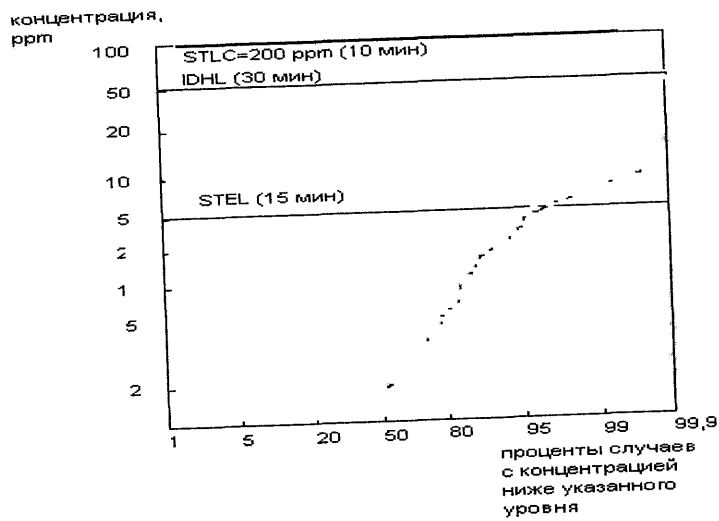


Рис. 2.5. Распределение концентраций двуокиси азота [32]

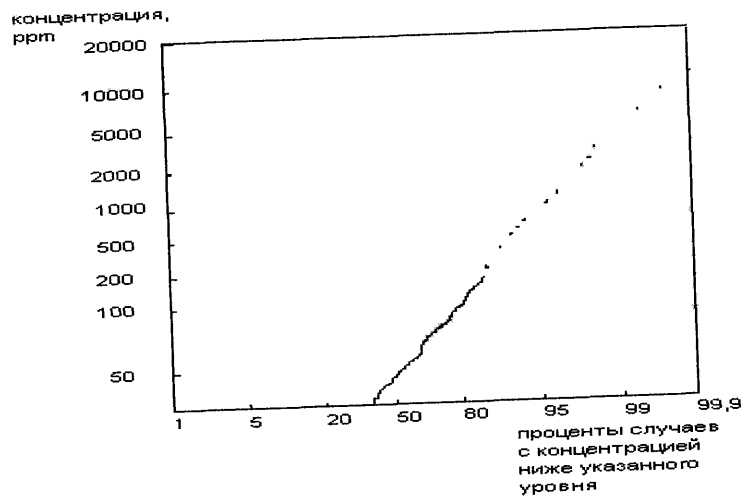


Рис. 2.6. Распределение концентраций микрочастиц [32]

Для анализа пожарной опасности веществ и материалов, применяющихся при строительстве, отделке и в быту, рассмотрим их подробнее.

Большое количество статистических данных и их анализ представлено в [33, 34]. В табл. 2.3 представлены результаты анализа состава ПГ ПН помещений по работе [33] с пересчетом в массовые концентрации.

30209

Таблица 2.3

Состав продуктов горения ПН помещений

№ п/п	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг										
		Дву-окись углерода, L_{CO_2}	Оксид углерода, L_{CO}	Дым, L_d	Синильная кислота, L_{HCN}	Соляная кислота, L_{HCl}	Оксиды азота, L_{NOx}	Угледорода, L_{UV}	Амины, L_{AM}	Альдегиды, L_{AL}	Акролеин, L_{ACP}	Изопреноны, L_{IPN}
1	Древесина	1-1,75	10^{-4} -0,25	$9 \cdot 10^{-3}$ - $3,4 \cdot 10^{-2}$	-	-	10^{-3} - $3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-2}$	-	-	$4 \cdot 10^{-3}$ - $4,86 \cdot 10^{-3}$	-
2	Древесина с отслаивающимися слоями	-	$1,32 \cdot 10^{-4}$	$1,12 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	-	-	
3	Древесина обработанная аммонийными солями	-	-	-	$3 \cdot 10^{-3}$ - $2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$ - $1,2 \cdot 10^{-3}$	-	-	-	-	-	
4	Растительные материалы	-	-	0,15-0,3	-	-	-	-	-	-	-	
5	Пшеница, ячмень, кукуруза, овес, подсолнечный жмых	0,5-0,7	0,2-0,26	0,13-0,16	-	-	-	-	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$ - $6,4 \cdot 10^{-3}$	-	
6	Молотое зерно	-	-	0,16-0,26	-	-	-	-	-	-	-	
7	Линолеум, изоляция проводов	-	-	-	$3,2 \cdot 10^{-4}$ - $3,96 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	-	-	-	

№ п/п	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг										
		Дву-окись углерода, L_{CO_2}	Оксид углерода, L_{CO}	Дым, L_d	Синильная кислота, L_{HCN}	Соляная кислота, L_{HCl}	Оксиды азота, L_{NOx}	Угледорожда, L_{UV}	Амины, L_{AM}	Альдегиды, L_{AL}	Акролеин, L_{AKP}	Изоцианаты, L_{ICZ}
8	Винилпласт	-	-	0,044	-	-	-	-	-	-	-	-
9	Уголь	-	-	0,07-0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
10	Нефть	-	-	2·10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-	-
11	ППУ	-	9,8·10 ⁻² -0,1	0,1	0,01-0,03	-	1,2·10 ⁻³ -6·10 ⁻³	-	-	-	-	-
12	ПВХ	-	-	0,07-0,15	-	0,60	-	-	-	-	-	-
13	Акрилонитрил	-	-	-	4,2·10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	-
14	Диурон (порошкообразный хлорированный уретан)	1,14	0,068	-	-	0,08-0,16	0,025	6·10 ⁻⁴	8·10 ⁻⁴	2,3·10 ⁻⁵	4,5·10 ⁻⁶	
15	Диметоват (жидкий инсектицид)	4,1	0,13-0,21	0,094	7·10 ⁻³	-	2,8·10 ⁻³	-	-	-	1,9·10 ⁻⁴	
16	Шерсть	-	-	-	6,77·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	
17	Полиакрилонитрил	-	-	-	2·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	
18	Нейлон	-	-	-	1,63·10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	
19	Жесткий ПУ	-	-	-	1,48·10 ⁻³ -1,15·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	
20	Эластичный ПУ	-	-	-	5·10 ⁻⁴ -3,29·10 ⁻³	-	-	-	-	-	-	

№ п/п	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг										
		Дву-окись углерода, L_{CO_2}	Оксид углерода, L_{CO}	Дым, L_d	Синильная кислота, L_{HCN}	Соляная кислота, L_{HCl}	Оксиды азота, L_{NOx}	Угледорожда, L_{UV}	Амины, L_{AM}	Альдегиды, L_{AL}	Акролеин, L_{AKP}	Изоцианаты, L_{ICZ}
21	Толулендицианат (31% NCO)	-	-	-	1,15·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-
22	Систур (теплоизоляционные панели)	-	-	3,88·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
23	Систур с наполнителем (теплоизоляционные панели)	-	-	3,08·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
24	Викорт-1 (теплоизоляционные панели)	-	-	3,4·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
25	ЗМ (теплоизоляционные панели)	-	-	3,99·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-
26	Линолеум ПВХ (покрытия для пола)	-	-	1,71·10 ⁻²	-	-	-	-	-	-	-	-

№ п/п	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг										Изопрононаты, $L_{\text{ИЗО}}$	
		Дву-окись углерода, L_{CO_2}	Оксид углерода, L_{CO}	Дым, $L_{\text{Д}}$	Синильная кислота, $L_{\text{НСН}}$	Соляная кислота, $L_{\text{НС}}$	Оксиды азота, L_{NOx}	Угледороды, $L_{\text{УВ}}$	Амины, $L_{\text{АМ}}$	Альдегиды, $L_{\text{АЛ}}$	Акролеин, $L_{\text{АКР}}$		
27	ДВП-СТ-500 (покрытые для пола)	-	-	$2,61 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	ДВП-Т-400 (покрытые для пола)	-	-	$1,07 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	Паркет из бука (покрытые для пола)	-	-	$1,02 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	ДСП-СТ (покрытые для пола)	-	-	$2,25 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	Электрокабель АВВГ 3x4 (зеленый)	-	-	$7,5 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	АВВГ x2,6 (черный)	-	-	$9,01 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	Электрокабель КВВГ 10x2,5 (черный)	-	-	$12,03 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

№ п/п	Наименование горючего материала	Удельное выделение, кг/кг										Изопрононаты, $L_{\text{ИЗО}}$	
		Дву-окись углерода, L_{CO_2}	Оксид углерода, L_{CO}	Дым, $L_{\text{Д}}$	Синильная кислота, $L_{\text{НСН}}$	Соляная кислота, $L_{\text{НС}}$	Оксиды азота, L_{NOx}	Угледороды, $L_{\text{УВ}}$	Амины, $L_{\text{АМ}}$	Альдегиды, $L_{\text{АЛ}}$	Акролеин, $L_{\text{АКР}}$		
34	Электрокабель ТПП (черный)	-	-	$8,4 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	Электрокабель АВВГ 3x4+1x2,5 (серый)	-	-	$11,9 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	Электрокабель АВВГ 3x4 (черный)	-	-	$8,72 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	Электрокабель НПП 380	-	-	$22,1 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	Электрокабель АКВВГ 10x4 (черный)	-	-	$8,34 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	Электрокабель НПП 378	-	-	$10,15 \cdot 10^2$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	Бумага	-	-	-	$1,86 \cdot 10^3$	-	-	-	-	-	-	-	$3,5 \cdot 10^3$

Примечания * - сосна с грунтовой ФЛОЗК, шпаклевкой ПФ 002 и эмалью ПФ-115, - - нет данных, в скобках даны полуэмпирические данные, полученные при пересчете с использованием объема продуктов горения из табл 21 [72]

Значительную долю ПН (около 50 %) в жилых помещениях составляет древесина и изделия из нее [33]. В продуктах пиролиза и горения древесины идентифицировано более 220 соединений, но не все они определены количественно [33]. Больше всего в газовой среде содержится оксидов углерода, также среди токсичных газов обнаружены акролеин, ацетон, формальдегид, крезол, ксиленол и другие. Материалы на основе древесины, древесностружечные плиты (ДСП) и древесноволокнистые плиты (ДВП) при разложении оказываются более токсичны, чем древесина, так как в их состав входит до 10 % (вес.) различных связующих материалов [33]. В продуктах горения ДВП и ДСП найдены метилформиат, ксилон, стирол, бензол, фенол и другие соединения [33].

Токсическое действие продуктов разложения и горения древесины в основном обусловлено высоким содержанием в их составе окиси углерода [33].

В табл. 2.4 [33] приведены данные по составу продуктов пиролиза и горения древесины.

Таблица 2.4

Состав продуктов пиролиза и горения древесины

Соединение	Концентрация, % об.
Диоксид углерода	11,3–56,5
Моноксид углерода	0,3–3,2
Формальдегид	0,001
Акролеин	0,0005–0,132
Уксусная кислота	0,007–0,26
Ацетон	0,017–0,03
Ацетальдегид	0,0044–0,11
Метан	0,026–9,23
Метанол	0,009–0,14
Этилен	0,21

Древесина токсична при нагреве [33]. Начиная с порядка 110 °С начинается ее терморазложение, сопровождающееся выделением газообразных продуктов CO, CO₂ и других, которые оказывают токсическое действие на организм человека. Кроме того, при тлении и горении выделяется значительное количество дисперсной среды (дым), состоящей из твердых и жидких мелкодисперсных частиц продуктов неполного сгорания

древесины. Из-за этого снижается дальность видимости в помещении, а дыхание человека становится затрудненным

Уровень пожарной опасности зданий и сооружений повышает использование полимерных материалов в отделке зданий и изделий, изготовленных из них [33]. Полимерные материалы применяются для покрытия полов, отделки стен и перегородок, для теплозвукоизоляции и гидроизоляции. Полимеры используются при производстве санитарно-технических изделий, ковров, матрацев, мягкой мебели, бытовых приборов и тканей. Полиэтилен, полистирол, полиуретан, поливинилхлорид, полипропилен, полиакрилонитрил, полиформальдегид и полиамид идут на изготовление строительных и отделочных материалов [33].

Добавки, входящие в состав полимеров, приводят к увеличению токсичности продуктов горения, так как антипирены и дымоподавляющие добавки катализируют определенные реакции в газовой и конденсированной фазе и способствуют образованию токсичных циклических соединений [33].

Воспламенение и горение синтетических материалов в жилых помещениях вызывает образование монооксида и диоксида углерода, цианистого и хлористого водорода, оксидов азота и серы, сажи. В значительно меньших количествах выделяются кислородсодержащие, азотсодержащие и галогенированные алифатические и ароматические соединения.

Исследования в области изучения выхода токсичных газов при горении материалов были проведены Л. К. Исаевой [33, 34] и представлены в табл. 2.5–2.8.

Из данных табл. 2.5–2.8 очевидно, что у разных по химическому составу материалов образуются, как правило, схожие кислородсодержащие соединения: CO, CO₂, CH₃CHO, CH₃OH, (CH₃)₂CO, а также бензол и его производные: C₆H₆, C₆H₅CH₃.

Количество CO₂ в ПГ почти у всех материалов примерно одинаково и находится на уровне летальных доз – LC₅₀ (0,2 кг/м³). Содержание CO и других токсикантов превышает максимальные разовые ПДК_{мр} в 1000 и более раз [33].

Анализ данных [33] показывает, что концентрация большинства токсичных органических соединений в ПГ равна 10²–10³ мг/м³ и близка к летальным дозам. Поэтому гибель людей на пожаре, не успевших покинуть помещение на протяжении 15–30 минут, может наступить не только от отравления CO.

Таким образом, на пожарах практически всегда создается токсичная среда.

В табл. 2.9 [33] представлена оценка токсичности материалов по произведению концентрации и времени.

Таблица 2.5

Токсичность продуктов горения полимерных материалов

Наименование материала (изделия из него)	Выделение продуктов горения кг/м ³				Показатель токсичности, кг/м ³
	СО	СО ₂	HCN	Окислы азота	
Целлюлоза	0,06	1,152	—	—	0,045
Линолеум ПВХ	0,0693	0,777	—	—	0,061
Древесностружечная плита	0,108	0,857	—	—	0,049
Стеклопластик ПН-1	0,0579	1,270	0,06	—	0,063
Пенополиуретан ПУ-318	0,121	0,944	0,00519	0,0122	0,026
Пенополистирол	—	—	—	—	0,0397
Пенопласт ФРП	0,539	0,656	0,00156	0,00099	0,0066
Декоративный бумажнослойный пластик	—	—	—	—	0,0112

Примечания:

+ — газ выделяется, но нет данных по концентрациям;
 — — газ не выделяется.

В табл. 2.10 [34] приведены данные по содержанию некоторых токсичных ПГ в воздухе помещений при пожарах. Данные этой таблицы также подтверждают, что на пожаре выделяется большое количество токсичных газов.

Существенное выделение кроме монооксида углерода других токсичных газов отмечено в [35]. Огневые испытания [35] в отсеке овощехранилища размером 24×36×6 м показали, что через 7 минут от начала опыта в центре над потолком образовались максимальные концентрации циановодорода (0,035 % (об.)) и NO_x (0,017 % (об.)) (при температуре 750 °С и концентрациях СО = 0,2 % (об.), СО₂ = 2% (об.)). Отбор газовых проб осуществлялся из пяти точек, расположенных по центральной оси отсека над потолком на высоте 0,6 м, и двух точек в отсеке: одна у верхней кромки ворот, вторая — над ней, ниже потолка на 0,35 м. Максимальный выход СО и СО₂ зафиксирован на 15-й минуте опыта и составил 2,7 % (об.) и 14 % (об.) соответственно [35].

Таблица 2.6

Основной состав токсичных ПГ некоторых материалов, составляющих горючую нагрузку жилых помещений

Токсикант	Концентрация продуктов горения, кг/м ³ (кг/кг горючего материала)				
	Древесина	Древесина с лакокрасочным покрытием	ДСП	Фанера ФФ	Картон «Г»
Диоксид углерода	0,22	0,16	0,018	0,12	0,129
Оксид углерода	0,026	0,0045	0,0053–0,33	0,0269	0,0054
Диоксид азота	+	+	+	+	0,00027
Хлористый водород	+	+	+	+	+
Цианистый водород	—	—	+	+	0,00006
Метанол	0,0021	+	0,0017	0,13·10 ⁻⁸	+
Формальдегид	0,015	+	0,00068	+	0,00015
Акролеин	0,001 (4·10 ⁻³ – 4,86·10 ⁻³)	+	0,00006	0,000091	0,0002
Ацетальдегид	0,000084	0,0015	0,0024	0,66·10 ⁻⁷	0,00096
Уксусная кислота	0,00015	0,00024	0,0004	0,0004	+
Ацетон	0,00044	0,00018	0,001	+	0,00022
Бензол	+	0,0015	0,0008	+	+
Толуол	+	0,0008	0,0007	+	+
Кумол	+	0,00009	+	+	+
Стирол	—	—	0,0004	—	—
Фенол	+	0,0017	0,0002	+	0,0031
Толуилендиизоцианат	—	—	—	—	—
Винилхлорид	—	—	—	—	—
Фосген	—	—	—	—	—
Диоксины (по 2,3,7,8-ТХДД)	+	+	+	+	+
Бенз(а)пирен (БаП)	+	+	+	+	+
Нафталин	—	—	—	—	—
Пиридин	—	—	—	—	—
Анилин	—	—	—	—	—

Примечания:

+ — газ выделяется, но нет данных по концентрациям;
 — — газ не выделяется.

Таблица 2 7

Основной состав токсичных ПГ некоторых материалов, составляющих горючую нагрузку жилых помещений

Токсикант	Концентрация продуктов горения, кг/м ³ (кг/кг горючего материала)				
	Бумага	Шерсть, ткань	Шелк, ткань	Нейлон	ПВХ
Диоксид углерода	1,4	0,14	0,08	0,05	0,02
Оксид углерода	0,005–0,43	0,0047	0,0029	0,019	0,023
Диоксид азота	0,000002	–	+	0,00007	–
Хлористый водород	+	–	–	–	0,07
Цианистый водород	0,000004 (1,86·10 ⁻⁵)	0,078	+	0,0036	+
Метанол	0,001	–	0,0013	0,0002	–
Формальдегид	0,000022	–	–	+	–
Акролеин	0,00076 (3,5·10 ⁻³)	–	–	–	–
Ацетальдегид	0,0066	0,001	0,0074	0,0042	–
Уксусная кислота	0,0005	+	0,0005	–	–
Ацетон	0,0005	0,0002	0,0012	0,0005	0,0004
Бензол	0,0006	0,0033	0,0008	0,0024	0,0089
Толуол	0,0006	0,0024	0,0004	0,0013	0,0022
Кумол	0,00002	0,0004	0,0002	0,0009	–
Стирол	0,0001	0,0009	0,0001	0,0003	0,00028
Фенол	0,0002–0,002	0,0009	0,0003	0,0004	–
Толуилендиизоцианат	–	–	–	–	–
Винилхлорид	–	–	–	–	0,13
Фосген	–	–	–	–	0,13
Диоксины (по 2,3,7,8-ТХДД)	+	–	–	–	0,0000009
Бенз(а)пирен (БаП)	+	–	–	–	0,9 10 ⁻⁹
Нафталин	0,00004	0,0003	0,00002	0,00001	–
Пиридин	–	0,0008	0,2 10 ⁻³	0,0003	–
Анилин	–	–	–	0,0003	–

Примечания:

+ – газ выделяется, но нет данных по концентрациям;

– – газ не выделяется

Таблица 2 8

Концентрации токсичных веществ в жилых помещениях до и во время пожаров

Токсикант	Концентрация, кг/м ³			
	При пожарах			До пожара (по литературе)
	Расчетная (по лабораторным экспериментам), учитывающая количество материалов в ПН	Фактическая (по литературе)	Фактическая измеренная в г. Калинин-граде	
CO ₂	0,16	0,15–0,72	0,9	(0,6–1) 10 ²
CO	0,022	0,023–0,135	0,026	
HCl	0,014	0,000142	–	–
NO ₂	0,000132	(0,215–0,575)·10 ⁻³	0,0013	5 10 ⁻⁸
HCN	0,000526	0,0008	–	–
CH ₃ OH	0,000732	–	–	–
CH ₃ COOH	0,00029	–	–	–
Сажа	0,0096	–	(0,52–3,7)·10 ⁻³	2 10 ⁻⁸ –7·10 ⁻⁷
(CH ₃) ₂ CO	0,00097	–	0,0061	–
HCHO	0,000109	(0,335–0,77) 10 ⁻³	–	5·10 ⁻⁸ –2
CH ₂ CHCHO	0,000258	0,001167	0,004	–
C ₆ H ₅ OH	0,000148	–	0,00086	–
C ₁₀ H ₈	–	0,0017	–	–
CH ₃ CHO	0,00304	–	0,016	–
C ₆ H ₆	0,0033	0,0017	0,0066	–
C ₆ H ₅ CH=CH ₂	0,00106	–	–	–
ПАУ	0,0056	(3–4)·10 ⁻³	–	–
CH ₃ CN	0,00004	–	–	–
C ₆ H ₄ (NCO) ₂	0,16·10 ⁻⁴	–	–	–
CH ₂ CHCl	0,26 10 ⁻⁴	–	–	–
C ₂₀ H ₁₂ (БаП)	9 10 ⁻⁸	7·10 ⁻⁸	–	–
Cd	13,5·10 ⁻⁹	–	–	–
Hg	8	–	–	–
Sb	13,5 10 ⁻⁹	–	–	–
SO ₂	–	(0,27–1,08)·10 ⁻³	–	2·10 ⁻⁸ –1

Оценка токсичности материалов по произведению концентрации и времени экспозиции

Таблица 2.9

Материал	Токсичность материалов по произведению концентрации и времени, мг/(л·мин)
Тефлон	32-85
Шерсть	117
ПВХ	127-312,5
Полиформальдегид	151
Полиимочевиноформальдегид	155,5
Бумажные обои	260,5
Полиизоцианурат	275-305
Пенополистирол	290
Ковер из нейлона с пенопластовой прокладкой	298
ППУ	360-645
Латексные краски	402
ДВП	414
Целлюлозные волокна	464
Минеральные плиты на бумажной основе	486
Потолочные отделочные плиты на основе древесины	486
Огнезащитный пенополиуретан	509
Хлопковая ткань	561
Жесткий ППУ	661
Высокоэластичный ППУ	641
Картон из макулатуры	883
Древесина различных пород	1059-2647
Полиэфир	1274
Хлопок	1302
Гипсовые панели для стен	1521

Содержание некоторых токсичных ПГ в воздухе помещений при пожарах

Таблица 2.10

Токсикант	Концентрация, кг/м ³		
	Средняя на пожаре (Ф _ф)	ПДКссi	LC ₅₀
CO ₂	0,16	0,000916	0,2
CO	0,022	0,000001	0,003
CH ₃ OH	0,0007	0,5·10 ⁻⁶	0,005
CH ₃ COOH	0,0003	0,06·10 ⁻⁶	-
(CH ₃) ₂ CO	0,001	0,35·10 ⁻⁶	0,0024
HCHO	0,0001	0,003·10 ⁻⁶	0,0001-0,0002
CH ₂ CHCHO	0,0003	0,3·10 ⁻⁶	0,000005-0,0001
HCN	0,0005	0,01·10 ⁻⁶	0,00015-0,0002
NO	0,0003	0,04·10 ⁻⁶	0,00024
C ₂ H ₅ (OH)	0,0001	0,000005	-
C ₁₀ H ₈	0,0017	0,003·10 ⁻⁶	-
CH ₃ CHO	0,003	0,01·10 ⁻⁶	-
C ₆ H ₆	0,0033	0,1·10 ⁻⁶	0,0008
C ₆ H ₅ -CH ₃	0,0011	0,6·10 ⁻⁶	0,00056
C ₆ H ₅ CHCH ₂	0,001	0,002·10 ⁻⁶	0,00042
ПАУ (по пирену)	0,0056	0,03·10 ⁻⁶	-
HCl	0,014	0,2·10 ⁻⁶	0,0015
CH ₃ CN	0,00004	0,03·10 ⁻⁶	0,015
ГДИ C ₆ H ₄ (NCO) ₂	0,000016	0,02·10 ⁻⁶	-
CH ₂ CHCl	0,000026	0,005·10 ⁻⁶	-
C ₂₀ H ₁₂	0,9·10 ⁻⁷	1·10 ⁻¹²	-
ТХДД	0,9·10 ⁻⁸	1 нг/м ³	-
ТХДФ	0,5·10 ⁻⁹	0,5 нг/м ³	-
Cd	0,135·10 ⁻⁷	0,001·10 ⁻⁶	0,0005*
SO ₂	0,001	0,5·10 ⁻⁶	0,006
Hg	0,008	0,003·10 ⁻⁶	-
Сажа	0,0096	0,05·10 ⁻⁶	-

Примечания:

LC₅₀ - концентрация, вызывающая гибель 50 % подопытных животных при ингаляционном воздействии;

- - нет данных.

Исследования выхода токсичных ПГ при пожаре проводились в США. Результаты выполненных учёными (Голд, Тритман, Лоури) исследований в подразделениях пожарной охраны г. Бостона и Далласа представлены в табл. 2.11 [32].

Таблица 2.11
Уровни приведённых концентраций побочных продуктов сгорания в местах пожаров

Материал	Исследования [32]		
	Голд, кг/м ³	Тритман, кг/м ³	Лоури, кг/м ³
Оксид углерода	0,0003–0,1	0,0015–0,5	0–0,0015
Хлористый водород	0,0018–0,015	0,0001–0,02	0–0,004
Циановодород	$0,02 \cdot 10^{-4}$ –0,0005	$0,1 \cdot 10^{-4}$ –0,0005	0–0,004
Ацетальдегид	–	–	0,0001–0,0015
Двуокись азота	$0,02 \cdot 10^{-4}$ – $0,89 \cdot 10^{-4}$	$0,2 \cdot 10^{-4}$ –0,001	–
Двуокись углерода	–	0,1–6	–
Бензол	–	$0,2 \cdot 10^{-4}$ –0,015	0,05
Твёрдые частицы	0,0004–0,075	0,002–2	–

Примечание:
– – нет данных.

Пожарная нагрузка зданий и сооружений, как правило, является неоднородной: в помещениях находятся вещи различного назначения (мебель, бытовая техника, документы, ткани и т. д.), изготовленные из различных материалов (дерево, металл, пластмассы, синтетика, ткани и т.д.). Поэтому при пожаре происходит выделение значительного спектра токсичных газов, которые оказывают одновременно вредное воздействие на организм человека.

В приложении 1 [11] данной монографии представлены характеристики комбинированной ПН и значения выхода основных ПГ при горении различных веществ и материалов, которые являются основой при проведении расчётов динамики ОФП [6–12]. В других литературных источниках найти значения выхода токсичных газов при горении материалов помещения в таком сочетании невозможно. Основным недостатком можно назвать отсутствие данных по другим, не менее токсичным газам. Таким образом, в дальнейших исследованиях и расчётах будем использовать в основном данные приложения 1, расширенные результатами работ [33, 34].

Анализ данных, приведенных в табл. 2.1–2.11 и приложении 1, указывает на то, что при сгорании ПН выделяется более десятка токсичных газов, параметры опасности которых по токсичности в несколько раз превос-

ходят предельно-допустимые концентрации (ПДК). Следовательно, при одновременном сгорании веществ и материалов, составляющих ПН даже небольшого помещения, спектр выделяющихся при горении токсичных газов будет исчисляться сотнями наименований, а их значения токсичности в сотни раз превысят ПДК.

Кроме того, очевидны отличия контрольных параметров по токсичности при сгорании одинаковых материалов в различных литературных источниках. Это объясняется тем, что экспериментальным путём невозможно получить близкие значения: сценарий развития пожара зависит от объёмно-планировочных решений здания (геометрия помещений, количество и расположение проёмов и т. д.), вида и массы сгорающего материала, а также условий их термического разложения и горения.

Следовательно, обоснованный выбор базы данных играет существенную роль при расчете динамики ОФП, соответствующей реальной термодинамической картине пожара.

2.2. Влияние токсичных продуктов горения на организм человека при горении современных строительных материалов

Под токсичностью обычно понимается степень вредного воздействия химического вещества на живой организм. Количественно ее определяют часто как меру несовместимости вещества с жизнью организма [36].

При горении веществ и материалов, составляющих основную ПН современных зданий и сооружений, могут выделяться десятки химических соединений. Химический состав продуктов горения ПН представлен в 2.1, где прослеживается, что в количественном отношении, как правило, преобладают оксид углерода, циановодород, хлороводород, оксиды азота, акролеин, а в ряде случаев и другие летучие вещества. Так, в продуктах термического разложения поливинилхлорида обнаружено 75 компонентов, древесины – более 200 [33]. Токсичный эффект таких сложных смесей определяется содержанием токсичных компонентов, а также характером их комбинированного действия на живой организм.

При оценке опасности вредного воздействия токсичных газов на организм человека необходимо учитывать, какие компоненты газовой смеси наиболее опасны, т. е. соединения, преобладающие в количественном отношении и характеризующиеся к тому же высокой биологической активностью [36].

Рассмотрим подробно некоторые токсичные газы, а также их влияние на организм человека.

Моноксид углерода (угарный газ, CO) – один из сильнейших токси-кантов, бесцветный, не имеющий запаха газ плотностью 1,25 по воздуху,

слаборастворим в воде, лучше в органических растворителях, легко диффундирует через пористые материалы

Образование монооксида углерода при горении и термическом разложении оказывает на людей, находящихся в помещении, пагубное действие, вызывая у них кислородную недостаточность, которая, в свою очередь негативно влияет на работу нервной и сердечно-сосудистой систем поступаая с воздухом в легкие, СО проникает в кровь, где соединяется с гемоглобином, образуя карбоксигемоглобин (НbСО) В результате этого процесса происходит отравление организма, которое сопровождается тошнотой, рвотой, головокружением, ослаблением зрения, потерей сознания [36] Физические нагрузки ускоряют отравление организма

Первые симптомы отравления (головная боль, расширение сосудов кожи) отмечается при содержании в крови 10–20 % карбоксигемоглобина Увеличение содержания карбоксигемоглобина до 40 % сопровождается ослаблением зрения, головокружением, тошнотой, рвотой, а в некоторых случаях – потерей сознания Смертельный уровень карбоксигемоглобина обычно превышает 50 %

Физическая нагрузка способствует более раннему отравлению Летальные концентрации СО, при которой смерть человека наступает в течение от 1 до 3 минут, находятся в пределах 0,2–1 % (0,0023–0,0115 кг/м³) [36]

Влияние концентрации монооксида углерода и длительности воздействия на тяжесть интоксикации приведено в табл 2 12 [37]

Многочисленные экспериментальные данные и результаты судебно-медицинской экспертизы свидетельствуют о ведущей роли СО в токсическом действии продуктов горения материалов

Следует отметить, что количественный выход монооксида углерода определяется не только природой материалов (композиционным составом, плотностью, термостойкостью и другими свойствами), но и условиями горения Выделению СО способствует медленное горение и недостаток кислорода в зоне горения

В табл 2 13 представлена зависимость содержания карбоксигемоглобина в крови при различных действующих концентрациях СО и экспозициях заражения [38]

Таблица 2 12

Концентрации и симптомы при отравлении людей СО [37]

Концентрация, кг/м ³	Длительность воздействия	Содержание СОНb, %	Симптомы отравления
1	2	3	4
0,000006	25 мин	–	Снижение цветовой и световой чувствительности глаз
(11–12) 10 ⁶	5 ч	3,8	Нарушение точности оценки временных интервалов
0,000013	7–8 мин	1,6	Изменение биохимических и физиологических показателей
0,000031	3 ч	–	Снижение точности зрительного восприятия пространства и ночного зрения
0,000033	6–8 ч	3,5–4	Уменьшение содержания О ₂ в крови
(50–60) 10 ⁶	2 ч	–	Снижение слуха Изменения ЭЭГ
	5 ч	–	Ухудшение выполнения психологических тестов
0,000055	1–3 ч	2,1–3,8	–
	5 ч	–	Увеличение латентности периода при восприятии сигналов
	6 ч	5	Уменьшение содержания О ₂ в крови
0,000057	8 ч	5–9	Увеличение порога зрительного восприятия
	–	2,5–3	Приступы стенокардии при физической нагрузке у больных ишемической болезнью сердца
0,00006	5 ч	4,7	–
	6 ч	–	Изменение ЭЭГ и частоты сердечных сокращений
(80–110) 10 ⁶	3,5–5 ч	7–10	Снижение скорости зрительного восприятия, ухудшение выполнения психологических и психомоторных тестов, координации мелких точных движений и аналитического мышления

Продолжение табл 2.12

1	2	3	4
0,00022	1-3 ч	6-10	Легкая боль в области лба
	3 ч	14	Нарушение работоспособности
0,00023	6 ч	16-20	Боль в области лба, ощущения давления на лоб, быстро исчезающие на свежем воздухе; расширение кожных кровеносных сосудов, снижение физической работоспособности
(230-340) 10 ⁻⁶	5-6 ч	23-30	Головная боль. Ощущение пульсации в висках Головокружение
	4 ч	22-24	
	5 ч	26-27	
0,00034	30 мин	11,9	Головная боль у отдельных лиц
0,00044	1 ч	12	-
	2 ч	20	Явные признаки отравления
0,00044	4 ч	30	Тошнота, головная боль, сердцебиение
(440-460) 10 ⁻⁶	1 ч	15-19	Боли в области лба и затылка, сердцебиение
	2 ч	21-28	
	2,5-3 ч	-	
(460-690)·10 ⁻⁶	4-5 ч	36-40	Сильная головная боль, слабость, головокружение, туман перед глазами, тошнота и рвота, коллапс
0,00055	1 ч	14	Головная боль, сердцебиение
(600-700)·10 ⁻⁶	15 мин	-	Снижение умственной и физической работоспособности
0,00066	1 ч	16	Первые симптомы отравления. Возможно выполнение лишь легкой физической работы
	2 ч	27	Тошнота, появление явных симптомов отравления
	4 ч	40	Тошнота, рвота, возможна потеря сознания

Продолжение табл 2 12

1	2	3	4
(800-1000)·10 ⁻⁶	5 мин	-	Головная боль, первые признаки интоксикации, снижение работоспособности
	20-30 мин	-	Головная боль, общая мышечная слабость, тошнота, потери трудоспособности не было
(800-1150)·10 ⁻⁶	3-4 ч	47-53	Сильная головная боль, слабость, головокружение, туман перед глазами, тошнота, рвота, учащение пульса, коллапс
0,00088	45 мин	-	Головная боль, головокружение, тошнота
	1 ч	22	Появление симптомов интоксикации
	2 ч	35	Тошнота, рвота, полная потеря трудоспособности, возможна потеря сознания, коллапс
	4 ч	50	Судороги, кома, возможна смерть
0,0011	2 ч	40	Выраженная картина отравления
0,00126	1,5-3 ч	55-60	Учащение дыхания и пульса; кома, прерываемая судорогами; чейнстоковского дыхание
0,0013	1 ч	28	Тошнота, сердцебиение, головная боль
	2 ч	45	Тяжелое отравление
0,00135	33 мин-1,5 ч	-	Сердцебиение. Легкое пошатывание, одышка при легкой мышечной работе, расстройства зрения и слуха
	2 ч	-	Пульсирующая головная боль, спутанность в мыслях

1	2	3	4
1760 10 ⁶	20 мин	—	Головная боль, головокружение, тошнота
	2 ч	—	Потеря сознания, коллапс
(1800–2300) 10 ⁶	1–1,5 ч	61–64	То же Ослабление дыхания и сердечной деятельности Может наступить смерть
0,002	12–35 мин	50	Кома, судороги
0,003	1 ч	—	Смерть
(2300–3400) 10 ⁶	30–45 мин	64–68	Потеря сознания, коллапс Может наступить смерть
0,00352	5–10 мин	—	Головная боль, головокружение
	30 мин	—	Рвота, потеря сознания
(3400–5700) 10 ⁶	20–30 мин	68–73	Слабый пульс, замедление и остановка дыхания Смерть
0,005	17 мин	—	Потеря сознания, судороги
0,0057	5–10 мин	—	Смерть
(5700–11 500) 10 ⁶	2–5 мин	73–76	Потеря сознания, рвота, смерть
0,01408	1–3 мин	—	

Примечание
— нет данных

При горении материалов выделяется также в достаточно больших количествах диоксид углерода – конечный продукт окисления Диоксид углерода (углекислый газ, CO₂) – бесцветный газ кисловатого вкуса и запаха, приблизительно в полтора раза тяжелее воздуха

Этот газ вызывает учащение дыхания и усиление легочной вентиляции, что способствует большему поступлению в организм человека других токсичных веществ, содержащихся в продуктах горения, оказывает центральное и местное сосудорасширяющее действие, вызывает сдвиг pH крови (ацидоз) и повышение содержания в ней адреналина

Диоксид углерода относится к классу малотоксичных веществ При содержании в воздухе CO₂ в количестве 3 % дыхание учащается в три раза Повышение концентрации до 5 % усиливает одышку, но все же позволяет произвести эвакуацию людей [39] Летальные концентрации CO₂ для человека составляют при кратковременных экспозициях 10–20 % [39]

Содержание карбоксигемоглобина в крови при различных действующих концентрациях CO и экспозициях заражения [38]

Действующая концентрация, кг/м ³	Содержание HbCO, %, при экспозиции заражения, мин								
	5	10	15	20	30	60	120	180	300
0,0002				3,6	4,8	7,0	8,9	12,0	15,8
0,0007		6,8	9,5	11,9	15,7	22,4	31,9	38,6	47,5
0,001		9,7	13,4	16,2	20,0	28,1	40,0	49,7	54,0
0,0012	6,8	11,4	16,0	17,8	22,8	31,8	46,1	57,0	
0,0015	8,2	14,5	19,5	22,8	27,7	38,8	52,8	60,2	
0,0017	10,2	17,3	22,7	25,8	31,4	44,7	61,7		
0,002	14,7	22,3	27,4	31,9	38,9	55,5	63,5		
0,0023	19,0	27,4	33,5	38,3	47,5	65,3			
0,0025	20,6	30,5	37,1	42,4	53,0	66,5			
0,003	24,6	34,9	42,4	49,3	61,0	68,5			
0,0035	27,3	37,1	46,2	54,0	67,0	70,0			
0,004	29,4	40,9	51,0	58,9	71,5				
0,0045	32,1	45,2	56,2	64,9	73,0				

Циановодород (цианистый водород, синильная кислота, HCN) – чрезвычайно токсичное соединение, бесцветный газ с характерным запахом горького миндаля, плотность 0,688 г/см³ Хорошо растворим в воде и этиловом спирте

Проникает в организм человека через органы дыхания и незащищенные кожные покровы [40] Вызывает нарушение тканевого дыхания вследствие подавления деятельности железосодержащих ферментов, ответственных за использование кислорода в окислительных процессах При воздействии циановодорода на организм человека быстро наступает паралич нервных центров из-за чувствительности клеток центральной нервной системы к кислородному голоданию Если летальная концентрация CO для людей при 30-минутном воздействии составляет 0,4 %, то для HCN она равна 0,0135 % [40]

Циановодород выделяется при термическом разложении и пламенном горении азотсодержащих материалов (шерсть, полиакрилонитрил, пенополиуретан, бумажно-слоистые пластики, полиамиды, и др.)

Хлороводород (хлористый водород, HCl) – при обычных условиях бесцветный газ с резким запахом, плотность по воздуху 1,218, хорошо растворяется в воде При поглощении влаги образует туман, представляющий собой мельчайшие капельки соляной кислоты

Хлороводород обладает сильным раздражающим действием, которое появляется задолго до образования опасных концентраций Воздействие

хлороводорода сопровождается спазмами дыхательных путей, воспалительным отеком и нарушением, вследствие этого, функции внешнего дыхания. Способность человека в условиях пожара к ориентации при наличии хлороводорода снижается, так как, соприкасаясь со слизистой оболочкой глаз, он превращается в соляную кислоту, что вызывает обильное выделение слез и резкую боль в глазах. Большие концентрации HCl вызывают появление химических ожогов слизистых оболочек, кожных покровов и отек легких.

Хлороводород образуется при горении хлорсодержащих полимеров (поливинилхлорид и др.) [36].

Фтороводород (фтористый водород, HF) – бесцветный газ с резким запахом, плотностью $0,98 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, перемешивается с водой в любых соотношениях, образуя фтористоводородную кислоту.

Этот газ проникает в организм через дыхательные пути, может всасываться через неповрежденные кожные покровы, оказывает сильное раздражающее действие на кожу, особенно потную. Вызывает образование язв на слизистых оболочках глаз и верхних дыхательных путей, носовые кровотечения. Раздражающее действие начинает проявляться уже при концентрации $8 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ [41]. При более высокой концентрации наблюдается спазм гортани и бронхов, симптомы поражения центральной нервной системы, печени и сердечно-сосудистой недостаточности. Смерть при остром воздействии наступает в результате отека легких и кровоизлияний. Возможна гибель в более поздние сроки, вследствие вторичных заболеваний.

Фтороводород выделяется при горении и термическом разложении фторсодержащих полимерных материалов. Дым, образующийся в результате сгорания HF , содержатся другие высокотоксичные соединения фтора: карбонилфторид (фторфосген COF_2), перфторизобутилен (октафторизобутилен, $(\text{CF}_3)_2\text{C}=\text{CF}_2$) и др. [42, 43, 44].

Оксиды азота (нитрогазы, N_xO_y). При анализе состава продуктов горения из этой группы соединений обычно выделяется диоксид азота.

Диоксид азота (NO_2) – газ бурого цвета с удушливым запахом. При взаимодействии с водой или влагой образуются смеси азотной и азотистой кислот.

Этот газ относится к числу высокотоксичных соединений с выраженным раздражающим действием на нижние дыхательные пути. При проникновении оксида азота в кровь образуются нитриты и нитраты. Последние переводят оксигемоглобин в метгемоглобин, тем самым усугубляют кислородную недостаточность организма, обусловленную поражением дыхательных путей [36]. Порог раздражающего действия NO_2 при воздействии в течение 4 минут составляет $150 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$, в течение 15 минут –

$90 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ [45]. В более высоких концентрациях диоксид азота вызывает тяжелые отравления, вплоть до смертельных.

Существенно выделение оксидов азота происходит при горении азотсодержащих материалов (нитроцеллюлоза, пенополиуретан, полиамид и др.) Исследования газовой среды реальных пожаров позволили обнаружить присутствие диоксида азота в концентрациях, не представляющих опасности для жизни. Предполагают, что при пожарах в жилых домах отсутствуют условия, необходимые для интенсивного образования оксидов азота [39].

Аммиак (NH_3) – бесцветный газ с удушливым резким запахом, хорошо растворим в воде и органических растворителях, реакционноспособен.

NH_3 оказывает сильное раздражающее и прижигающее действие на слизистые оболочки. Вызывает обильное слезотечение и боль в глазах, удушье, сильные приступы кашля, головокружение, рвоту, возможны отеки голосовых связок и легких. Концентрация $350 \cdot 10^{-6} - 700 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ опасна для жизни.

В условиях пожара аммиак может выделяться в составе продуктов горения шерсти, шелка, полиакрилонитрила, полиамида и полиуретана [36].

Толулендиизоцианаты имеют резкий неприятный запах. При концентрации в воздухе $3,5 \cdot 10^{-6} - 7 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ при кратковременной экспозиции вызывают раздражение глаз, носа, рта. При более высоких концентрациях развивается отравление с кашлем, спазмами бронхов, трахеитом, бронхитом [36].

Фосген (карбонилхлорид, хлорокись углерода, COCl_2) – бесцветный газ с запахом прелых фруктов и сена, в 3,5 раза тяжелее воздуха. Относится к числу чрезвычайно токсичных соединений. В небольших концентрациях вызывает раздражение слизистых оболочек верхних дыхательных путей и глаз, слезоточивость, кашель, тошноту.

Образование фосгена возможно при термическом разложении ПВХ и других хлорсодержащих полимерных материалов.

Акролеин (акриловый альдегид) – бесцветная легколетучая жидкость. Обладает сильным раздражающим действием. Вызывает жжение в глазах, слезотечение, кашель, головокружение, приливы крови к голове, боли в животе, тошноту, рвоту, замедление пульса. Возможна потеря сознания и отек легких. Установлено, что концентрация акролеина $13 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ переносима не более 1 мин, $2 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ – в течение 2–3 мин вызывает раздражение слизистой оболочки глаз и носа, через 5 мин раздражение становится нестерпимым [37]. Летальные концентрации при воздействии в течение 10 минут составляют $75 \cdot 10^{-6} - 350 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^3$ [39, 46].

Источниками выделения паров акролеина являются полиэтилен, полипропилен, древесина, полиметилметакрилат, бумага, нефтепродукты [33].

Установлено, что при определенных условиях горения некоторых материалов (беспламенное при температуре 650 °С) акролеин может представлять большую опасность, чем монооксид углерода [47].

Исследования проб газовой среды, взятых в условиях реальных пожаров, позволили обнаружить в большинстве из них присутствие паров акролеина, причем его концентрации были достаточно велики, чтобы вызвать раздражающее и общетоксическое воздействие, а в некоторых случаях – привести к летальному исходу [39, 48–50].

Формальдегид и ацетальдегид (НСНО, СН₃СНО) – обладают сильно выраженным раздражающим действием, вызывают воспалительные и некротические изменения слизистых оболочек дыхательных путей и глаз. Резорбтивное действие проявляется в возбуждении или угнетении функции центральной нервной системы, а в тяжелых случаях – в нарушении функции легких, печени, почек.

Ароматические углеводороды (бензол, толуол, этилбензол, стирол) – органические соединения, состоящие из углерода и водорода и содержащие бензольные ядра. Большинство из них в обычных условиях являются жидкостями с характерным запахом. В низких концентрациях вызывают раздражение слизистых оболочек, а в высоких – наркотический эффект [37].

Ароматические углеводороды образуются при горении ПВХ, полистиролов и других полимерных материалов.

Сернистый ангидрид (диоксид серы, сернистый газ, SO₂) – бесцветный газ с характерным резким запахом, тяжелее воздуха. Сильное раздражающее вещество. Вызывает кашель, носовые кровотечения, спазм бронхов, нарушает обменные процессы, способствует образованию метгемоглобина в крови. Концентрации 250·10⁻⁶–500·10⁻⁶ кг/м³ считаются опасными, а 1500·10⁻⁶–2000·10⁻⁶ кг/м³ – смертельными при воздействии в течение нескольких минут [42].

Сернистый ангидрид выделяется при горении шерсти, войлока, полисульфонов, резины и других полимерных материалов, в составе которых присутствует сера [51].

Сероводород (H₂S) – бесцветный газ, тяжелее воздуха, с характерным запахом тухлых яиц. Образуется при горении серосодержащих материалов. Оказывает как местное, так и общетоксическое действие. В опасных концентрациях вызывает нарушения нервной системы и окислительных процессов в тканях. Признаки тяжелого отравления отмечаются при содержании сероводорода в воздухе 700·10⁻⁶ кг/м³ и продолжительности экспозиции 15–30 минут [32]. Вдыхание сероводорода в концентрациях 1,0·10⁻³ кг/м³ и выше обуславливает быстрое развитие отравления, появление судорог, потерю сознания и смерть в течение нескольких минут.

Уксусная кислота (СН₃СООН) выделяется в виде паров при горении древесины, ПВХ и других полимерных материалов. Обладает раздражающим действием. Концентрации паров уксусной кислоты 2000·10⁻⁶–3000·10⁻⁶ кг/м³ переносимы в течение не более 3 минут [42].

В табл. 2.14 представлены вышеперечисленные токсичные газы, выделяющиеся при пожаре, материалы, из которых они образуются при горении, а также влияние их на организм человека.

Таблица 2.14

Влияние токсичных газов на организм человека при пожаре

Токсичный продукт	Материал, из которого выделяется токсичный продукт	ПДКсс, кг/м ³	Реакция организма человека
1	2	3	4
Монооксид углерода	Органические материалы искусственного и природного происхождения	1·10 ⁻⁶	В крови образуется карбоксигемоглобин, головокружение, рвота, поражение нервной и сердечно-сосудистых систем, потеря сознания, смерть
Цианистый водород	Азотсодержащие вещества: шерсть, шелк, пенополиуретан, полиакрилонитрил	0,01·10 ⁻⁶	Препятствует внутриклеточному переносу кислорода, паралич нервных центров, смерть
Диоксид азота	Древесина, шерсть, фетр, кожа, лен, полистирол, ПВХ, полисульфон, резиновые изделия	0,04·10 ⁻⁶	Раздражающее действие на нижние дыхательные пути, усугубление кислородной недостаточности организма, тяжелые отравления, вплоть до смертельных
Сероводород	Серосодержащие материалы	0,05·10 ⁻⁶	Паралич органов дыхания, нарушения со стороны нервной системы и окислительных процессов в тканях, появление судорог, потеря сознания и смерть
Толуолдиизоцианат	Эластичные полиуретаны	нет данных	Сильное раздражающее действие, нарушает биологическую структуру тканей, поражает глаза, приводит к отеку легких
Ацетонитрил	ППУ	0,01·10 ⁻⁶	Механизм действия не установлен
Бензонитрил	ППУ	нет данных	Менее токсичен, чем цианистый водород

1	2	3	4
Ацетон	Полиизобутилен, ПВХ, полиметилметакрилат, полиамид, поликарбонат, твердые полиуретановые пластики	$0,35 \cdot 10^6$	Слезотечение, кашель, раздражающее и наркотическое действие
Алифатические углеводороды	Природные и синтетические материалы	нет данных	Наркотическое действие
Хлористый водород	Поливинилхлорид, ПВХ, древесина, ДСП, фанера, бумага, ППУ	$0,2 \cdot 10^6$	Спазмы дыхательных путей, воспалительные отеки, нарушение функции внешнего дыхания, обильное выделение слез, резкая боль в глазах, химические ожоги слизистых оболочек, кожных покровов, отек легких
Фтористый водород	Фторсодержащие полимерные материалы	$0,05 \cdot 10^6$	Сильное раздражающее действие на кожу, образование язв на слизистых оболочках глаз и верхних дыхательных путей, носовые кровотечения, спазм гортани и бронхов, поражение центральной нервной системы и печени, сердечно-сосудистая недостаточность, смерть в результате отека легких и кровоизлияний, возможна гибель в более поздние сроки
Аммиак	Шерсть, шелк, полиакрилонитрил, полиамид, полиуретан	$0,04 \cdot 10^6$	Сенсорные раздражения, вызывает рефлекторные реакции верхних дыхательных путей
Алифатические альдегиды	Искусственные и естественные материалы	нет данных	Некроз слизистых и дыхательных путей при вдыхании
Акролеин	Древесина, полипропилен, бумага, нефтепродукты	$0,03 \cdot 10^6$	Замедление пульса, рвота, отек легких, смерть
Формальдегид	Древесина, ДСП, фанера, бумага, нейлон	$0,03 \cdot 10^6$	Раздражающее действие
Ароматические углеводороды бензол, толуол, стирол	ПВХ, полистирол	нет данных	Наркотическое действие

Кроме указанных веществ в составе продуктов горения материалов обнаружены и многие другие газообразные компоненты, опасность которых в условиях пожаров до конца не выяснена

Комбинированное воздействие токсичных газов на живой организм при горении материалов исследовано в [52–67]

Выше отмечалось, что при сгорании ПН помещения выделяется 50–220 химических элементов, полноценно определить качественные и количественные характеристики которых не представляется возможным в связи с несовершенством измерительных приборов и сложностью задач исследования [36]

Одновременное поступление продуктов горения материалов, состоящих из множества химических элементов, может иметь неоднозначные эффекты, к которым относят [36]

- аддитивность действия токсичных газов – подразумевает суммирование эффектов каждого из токсичного газов, наиболее распространенный эффект,

- синергизм – конечный результат больше арифметической суммы отдельных эффектов,

- антагонизм – снижение эффекта совместного действия газов по сравнению с предполагаемой суммой

Исследования совместного действия токсичных газов при различных условиях проводятся на модельных смесях, на которых изучается механизм действия этих газов на живой организм. Наиболее распространенные комбинации модельных смесей, образующихся при горении ПН

- $\text{CO} + \text{O}_2$ недостаток кислорода при концентрации кислорода в газовой среде, равной 10 %, токсическое действие существенно усиливается,

- $\text{CO} + \text{CO}_2$ – такая смесь образуется при горении всех материалов, токсичность CO в присутствии CO_2 снижается, и тем больше, чем выше концентрация CO_2 в диапазоне 2–8 % [55],

- $\text{CO} + \text{HCl}$ при больших значениях концентраций обоих компонентов, влекущих летальный исход, хлороводород отягощает интоксикацию CO ,

- $\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{HCl}$ токсичность CO увеличивается [55],

- $\text{CO} + \text{HCN}$ токсичное действие смеси увеличивается путем суммирования эффектов [55],

- $\text{CO} + \text{HCN} + \text{CO}_2$ + недостаток кислорода при увеличении концентрации CO_2 токсичное действие смеси увеличивается, недостаток кислорода существенного влияния не оказывает,

- $\text{CO} + \text{CO}_2 + \text{NH}_3$ компоненты смеси оказывают независимое воздействие, при добавлении к смеси CO_2 токсичное воздействие увеличивается [55],

- CO + CO₂ + HCl + сажа: при смертельных концентрациях компонентов смеси CO оказывает доминирующее действие, полное взаимодействие этой аэрозольной смеси полностью не изучено.

Таким образом, характер комбинированного действия газов зависит от значений и соотношений их концентраций, что необходимо учитывать при анализе данных совместного воздействия токсичных газов. В условиях пожара монооксид углерода является одним из ведущих по токсичному воздействию компонентов формирующейся газообразной среды.

В табл. 2.15 [36] представлены экспериментальные данные по изменению времени обездвиживания белых мышей при комбинированном действии газов.

Таблица 2.15

Изменение временного показателя токсичности при комбинированном действии газов

Состав смеси	Номер смеси	Изменение временного показателя токсичности
CO + недостаток O ₂ (15 %)	1	Без изменения по сравнению с чистым CO
CO + недостаток O ₂ (10 %)	2	Уменьшается
CO + CO ₂ (от 2 до 8 %)	3	Увеличивается по мере увеличения концентрации CO ₂
CO + CO ₂ + недостаток O ₂ (15 %)	4	Без изменения по сравнению со смесью 3
CO + CO ₂ + недостаток O ₂ (10 %)	5	Уменьшается по сравнению со смесью 3
CO + HCl	6	Увеличивается по сравнению с чистыми газами
CO + CO ₂ + HCl	7	Уменьшается по сравнению со смесью 6
CO + HCN	8	По типу суммирования эффектов или независимого действия
CO + HCN + CO ₂ + недостаток O ₂	9	Уменьшается под влиянием CO ₂
CO + NH ₃	10	Без изменения по сравнению с CO и NH ₃
CO + CO ₂ + NH ₃	11	Уменьшается по сравнению со смесью 10

Поступление токсичных ПГ в организм человека при пожаре, как правило, происходит при повышенной температуре и пониженной концентрации кислорода, которые оказывают существенное влияние на период ин-

токсикации, сопровождающейся кислородной недостаточностью органов и тканей человека, «гипоксия» [36].

Кислородная недостаточность сопровождается увеличением объема дыхания, снижением внимания и нарушением мышечной деятельности при концентрации кислорода 16–17 %. При концентрациях 12–15 % наблюдается одышка, учащение пульса, ухудшение умственной деятельности, головокружение и быстрая утомляемость; коллапс и потеря сознания наступают при 8 %, при 6 % - смерть в течение 7 мин [36].

Повышенная температура в помещении, как уже отмечалось выше, оказывает значительное влияние на развитие интоксикации организма и способствует ускоренному развитию признаков отравления. Данный процесс обусловлен нарушением процессов терморегуляции организма, сопровождающимся учащением дыхания и сердечных сокращений, что ускоряет процесс абсорбции газо- и парообразных веществ через дыхательные пути и большему поступлению их в кровь.

Опыты [36], проведенные с целью определения комбинированного воздействия на организм животных ПГ, повышенной температуры и пониженной концентрации кислорода показали, что при температуре среды 32–35 °С и концентрации кислорода ниже 16 % токсическое действие продуктов горения заметно усиливается. При дальнейшем повышении температуры среды до 45 °С и понижением концентрации кислорода до 11 % зависимость воздействия токсичных газов носит линейный характер, а время выживания подопытных животных снижается в 2,5–3 раза.

Вышеприведенные данные показывают сложность и опасность токсикологической обстановки на пожаре, необходимость и важность грамотного и полноценного анализа выделяющихся токсичных газов. Комбинированное воздействие токсичных газов, как правило, усложняет обстановку на пожаре образованием новых более сложных химических соединений, вредное воздействие которых изучено на недостаточном уровне.

Опыты с модельными смесями показали неоднозначность влияния на людей комбинированного воздействия токсичных газов, зависящего от уровня концентраций, состава химических компонентов, температуры среды и других факторов.

Нормативные методы прогнозирования ОФП не учитывают процесса комбинированного действия токсичных газов, предполагая, что каждый из газов оказывает вредное воздействие на человека независимо от других. Такой подход не отражает реальной газодинамической обстановки на пожаре, но, как отмечалось выше, это допущение обусловлено недостаточным уровнем современных научных знаний. Решение перечисленных выше проблем является одной из основных задач для специалистов пожарной безопасности.

2.3. Современные средства защиты органов дыхания и зрения. Самоспасатели

В последнее время количество чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с пожарами, продолжает расти, отмечено увеличение количества пожаров в административных зданиях, учебных заведениях, зданиях общественного назначения и жилого сектора, сопровождающееся массовой гибелью людей.

Тяжелые последствия от ЧС, включая пожары, вызваны, главным образом, слабой подготовкой населения к действиям при угрозе и возникновении ЧС, низкой культурой безопасности жизнедеятельности и недостаточной обеспеченностью необходимыми средствами индивидуальной защиты. Одной из основных причин гибели людей при пожарах (более 80 % случаев) является острое отравление газообразными продуктами горения различных строительных материалов и конструкций. Быстрое отравление организма возможно в результате загрязнения окружающей атмосферы вредными веществами в поражающих организм концентрациях или количествах, создающих угрозу для жизни и здоровья.

При спасении людей во время пожаров нашли широкое применение средства индивидуальной защиты (самоспасатели) фильтрующего типа, т. к. они наиболее удобны, малобюджетны и просты в применении. Это обусловлено и тем, что эвакуация людей осуществляется в начальной стадии пожара, когда содержание кислорода в воздухе достаточно для дыхания. Российские и зарубежные средства пожарной безопасности фильтрующего типа, существующие на отечественном рынке, гарантируют защиту от токсичных продуктов горения в течение 15 минут. Этого времени иногда бывает недостаточно для безопасной эвакуации людей из зоны пожара и задымления, в связи с тем, что на начало эвакуации в некоторых случаях могут повлиять ниже перечисленные условия [68]:

- состояние человека: устойчивые (ограничение органов чувств, физические ограничения) и временные (сон/боддрствование, усталость, стресс, состояние опьянения) факторы;
- система оповещения людей о пожаре;
- действия обслуживающего персонала;
- динамика ОФП;
- социальные и родственные связи;
- противопожарный тренинг и обучение;
- тип здания;
- пол и возраст человека;
- темперамент и др.

Самоспасатели подразделяются в зависимости от способа подачи воздуха для дыхания человека или способа очистки непригодной для дыхания среды на.

- 1) изолирующие [69]:
 - а) кислородные (с химически связанным кислородом);
 - б) со сжатым воздухом;
- 2) фильтрующие [70].

Самоспасатели с химически связанным кислородом – средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека, в которых выдыхаемый человеком воздух после очистки от двуокси углерода и добавления кислорода повторно используется для дыхания. Предназначенный для дыхания кислород повторно содержится в химически связанном состоянии в виде твердого кислородсодержащего продукта [69]

Самоспасатель резервуарный со сжатым воздухом – средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека, в котором весь запас воздуха хранится в баллоне в сжатом состоянии. Вдох осуществляется из баллона, а выдох – в атмосферу [69].

Самоспасатель фильтрующий – средство индивидуальной защиты органов дыхания, глаз и головы человека от дыма и токсичных газов, образующихся при пожаре.

Самоспасатели, продающиеся на территории России, должны соответствовать требованиям НПБ-302-2001 [70].

Требования к фильтрующим самоспасателям по защите от токсичных газов в соответствии с НПБ-302-2001 приведены в табл. 2.16.

Таблица 2 16

Требования к фильтрующим самоспасателям по защите от токсичных газов [70]

Токсичный газ	Влажность воздуха, %	Температура воздушного потока, °С	Начальная концентрация токсичного газа в воздухе, подаваемого в ФСЭ, кг/м ³	Частота пульсаций в минуту	Проскоковая концентрация за ФСЭ, кг/м ³
CO	90±5	20±5	0,0062±0,0003	20–25	0,0002
HCN	50±3	20±5	0,002±0,0002	–	0,00001
HCl	50	23±5	0,003±0,0003	–	0,000075
Акролеин	70±5	23±5	0,00125±0,0001	–	0,000001

Примечание ФСЭ – фильтрующе-сорбирующий элемент.

Из табл. 2.16 очевидно, что требования, предъявляемые к самоспасателям, достаточно высоки. Учитывая, что концентрации токсичных газов на пожаре редко достигают таких больших значений, либо достигают спустя значительный промежуток времени, которого, как правило, бывает достаточно для успешной эвакуации людей, можно сделать вывод о том,

что фильтрующий самоспасатель является достаточно надёжным средством защиты от продуктов горения

Оценивая целесообразность использования самоспасателя во время пожара, необходимо принимать во внимание следующие условия [71]:

- вероятность (Ψ_1) присутствия человека в помещении, где находится самоспасатель; данный параметр характерен, когда самоспасатель предназначен для конкретного человека и может находиться непосредственно у него, а также располагаться в помещении (на рабочем месте, в палате больницы и т. д.);

- вероятность (Ψ_2) применения самоспасателя; параметр, обусловленный тем, что человек, находящийся в помещении, где лежит самоспасатель, может не воспользоваться им по забывчивости, вследствие паники и ряда других причин;

- вероятность (Ψ_3) правильного надевания самоспасателя; учитывает, что самоспасатель может быть надет, но неправильно приведён в действие;

- вероятность (ϕ_1) сохранения исправности самоспасателя за время нахождения его в состоянии ожидания применения;

- вероятность (ϕ_2) безотказной работы самоспасателя за время защитного действия.

На основании вышеизложенного получено выражение для определения вероятности защиты человека от опасных факторов пожара в случае самостоятельной эвакуации [71]:

$$\Psi = \Psi_1 \cdot \Psi_2 \cdot \Psi_3 \cdot \phi_1 \cdot \phi_2. \quad (2.1)$$

Параметры Ψ_1 , Ψ_2 , Ψ_3 в общем виде зависят от [71]:

- наличия в тексте, транслируемом при оповещении людей о пожаре, указания на необходимость применения самоспасателей;

- психологического состояния, возраста и здоровья человека;

- уровня практической подготовленности человека к применению самоспасателя, т. е. количества проведённых тренировок по применению самоспасателей после подачи сигналов или трансляции текстов системой оповещения и управления эвакуацией;

- количества воспринятой обучающей информации [71];

- конструктивных особенностей самоспасателей, определяющих число и сложность манипуляций, которые должен осуществить человек при приведении самоспасателей в действие.

Как правило, самоспасатель состоит из огнестойкого капюшона со смотровым окном, полумаски с клапаном выдоха, в манжете которой закреплена фильтрующе-поглощающая коробка. Капюшон имеет регулируемое оголовье с затягивающимися ремнями и (или) пряжками, имеет один универсальный размер для взрослых и детей. Герметичное прилега-

ние капюшона к лицу обеспечивается наличием подмасочника с удобной формой obtюратора и регулируемым оголовьем.

Конструкция самоспасателя позволяет использовать его людям в очках, имеющим объёмную причёску, длинные волосы и бороду. При этом сохраняется необходимая подвижность головы, шеи, рук. Обзорность через смотровое окно составляет более 70 % и обеспечивает полную ориентацию в пространстве. Яркие цвета капюшона помогут быстро обнаружить человека в дыму.

Благодаря высоким защитным свойствам самоспасатель может быть использован как аварийное средство спасения не только при пожарах, но и возможных техногенных авариях и природных катастрофах, сопровождающихся загрязнением атмосферы вредными веществами. Кроме указанных выше основных газов (монооксида углерода, акролеина, цианистого водорода, хлористого водорода), выделяющихся при пожарах, фильтрующе-поглощающая коробка обеспечивает эффективную защиту органов дыхания около 30 минут и от других химически опасных веществ различной природы (диоксида серы, оксидов азота, хлора, аммиака, фосгена, гидрида серы, фтористого водорода, бензола, толуола, фторорганических соединений и др.) в условиях превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ в атмосфере в десятки раз.

Эффективность использования той или иной модели самоспасателя будет зависеть от динамики ОФП на путях эвакуации, предназначения этого изделия, его защитных характеристик, удобства использования, надёжности и цены.

В качестве примера портативных фильтрующих самоспасателей рассмотрим самоспасатели «Феникс» (продукция ООО «Эпицентр маркет»), характеристики которых представлены в табл. 2.17. Данные изделия, не отвечая всем требованиям [70], тем не менее, как будет показано далее, являются надёжным средством эвакуации людей из зоны пожара.

Из анализа технических характеристик самоспасателей выявлен ряд недостатков.

В требованиях [70] изложено, что время защитного действия самоспасателя от воздействия, например, СО, должно быть не менее 15 минут при постоянных значениях концентрации СО и температуры в помещении. Известно, что уровень защиты самоспасателя по СО в 5 раз превышает значение аварийного предела воздействия [11], в то время как далеко не на всех пожарах монооксид достигает таких высоких концентраций.

При пожаре величины ОФП изменяются в течение всей продолжительности пожара, особенно в начальной стадии, а также отличаются в различных точках пространства горящего помещения, т. е.

$$\tau_3 = f(x, y, z, t), \quad (2.2)$$

где t_3 – время защитного действия самоспасателя; x, y, z – координаты вдоль длины, ширины и высоты помещений; t – время от начала пожара.

Таблица 2 17

Защитные свойства самоспасателя «Феникс»

Токсикант	Требования ГОСТ Р 22.9.09–2005, кг/м ³	Защитные свойства для моделей, кг/м ³			
		№ 1 ($t_3 = 20$ мин) ($m = 180$ г)	№ 2 ($t_3 = 60$ мин) ($m = 230$ г)	№ 3 ($t_3 = 20$ мин) ($m = 185$ г)	№ 4 ($t_3 = 30$ мин) ($m = 230$ г)
Циклогексан	0,001	0,003	0,0025	0,001	0,0035
Акролеин	0,00001	0,00012	0,00011	0,00006	0,00012
Хлор	0,00003– 0,00009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
Циановодород	0,00001	0,00005	0,0003	0,0003	0,0004
Сероводород	0,0001–0,0007	0,0007	0,001	0,0007	0,0014
Диоксид серы	0,0001–0,0007	0,0003	0,001	0,0003	0,00135
Аммиак	0,0003–0,0014	0,0005	0,0004	0,0005	0,0006
Монооксид угле- рода	0,0007–0,003	0,00116	0,00116	0,006	0,00116

Примечания: t_3 – время защитного действия самоспасателя, m – масса самоспасателя

Следовательно, в случае, когда часть людей не успевает эвакуироваться до наступления первого ОФП, оценить необходимость и эффективность использования самоспасателей будет сложно, так как не известна зависимость изменения времени защитного действия самоспасателя (t_3) при изменении температуры и концентрации токсичных газов в помещении.

Зная процесс поведения ФСЭ при пожаре (зависимости защитных свойств от времени, изменения концентрации и температуры), а также принимая во внимание физиологические процессы (ритм дыхания) в нормальной и стрессовой ситуации, можно определить:

- расстояние, которое может преодолеть человек (инвалид, ребёнок, пожилой человек и т. д.) при эвакуации через задымленную зону;
- расчётное время защитного действия для конкретного сценария пожара (от него время защитного действия может возрастать или убывать);
- «реальную» эффективность использования самоспасателя для различных случаев и рекомендации по использованию:

- а) в зависимости от функционального назначения помещения (торговый комплекс, больничная палата, детское дошкольное учреждение, дом ветеранов и т. д.);
- б) в зависимости от вида ПН помещения.

К недостаткам также относятся:

- отсутствие в техническом описании самоспасателя информации о поведении фильтрующего элемента при комбинированном воздействии токсичных газов, а также при повышении температуры в помещении;
- самоспасатель обеспечивает защиту от ограниченного перечня токсичных газов (по сравнению со спектром токсичных газов, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки).

Выводы

1. Время защитного действия самоспасателя будет снижаться при росте температуры и комбинированном воздействии токсичных газов.
2. Для внедрения на объекте и эффективного использования самоспасателей при пожаре необходимо проводить прогнозирование динамики ОФП для каждого объекта.
3. Для использования самоспасателей необходимо иметь точную информацию, какие именно токсичные газы в данном помещении будут выделяться при горении. При отсутствии таких данных не исключены случаи, когда при пожаре в помещении будут выделяться токсичные газы, от которых самоспасатель защиту не обеспечивает.
4. Целесообразно производить разработку рекомендаций по применению самоспасателей для конкретного объекта. Отсутствие таких рекомендаций в некоторых случаях может повлечь за собой:
 - а) закупку на объект самоспасателей, где их применение при пожаре не целесообразно;
 - б) отравление или иной вред здоровью эвакуирующихся людей в связи с тем, что ОФП в начальной стадии пожара значительно превосходят параметры защиты самоспасателя.
5. Степень защиты от токсичных газов самоспасателей различных производителей различна. Следовательно, при внедрении на объекте, в некоторых случаях целесообразно рекомендовать изделия конкретного производителя.
6. Методика исследования эффективности самоспасателей, учитывающая особенности пожара, как сложного физико-химического процесса, а также конструктивные и функциональные особенности самоспасателя, в настоящее время отсутствует. Проведение оценки эффективности самоспасателя возможно с использованием формул интегральной математической модели термогазодинамики пожара в помещении [8, 9, 11], но с недостатками, присущими этой модели, и только для оценочного расчёта. Наиболее достоверную информацию об эффективности самоспасателя на конкретном объекте можно получить только с использованием современных полевых и зонных математических моделей [6–8, 11].

Глава 3. МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ НА ПУТЯХ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

3.1. Полевая математическая модель расчета тепломассообмена при пожаре

Современные методы расчета тепломассообмена широко используются при решении практических задач пожаровзрывобезопасности и должны лечь в основу разработки технических регламентов пожарной безопасности.

Результаты расчетов с использованием современных методов [6–8, 10, 78–91] легли в основу технических условий пожарной безопасности ряда объектов промышленного и культурно-бытового назначения. Это позволило разработать оптимальные варианты противопожарной защиты с учетом обеспечения эффективности и приоритетности мероприятий по обеспечению безопасности людей при пожаре, технико-экономической целесообразности мероприятий, возможности доступа пожарных подразделений к очагу пожара и подачи средств пожаротушения.

Дальнейшее развитие математического моделирования тепломассообмена при пожаре неразрывно связано и в решающей степени определяется прогрессом в области физического (экспериментального) моделирования пожара. Повышение уровня достоверности расчетных методов будет определяться решающим образом качеством и количеством накопленной экспериментальной информации о характеристиках тепломассообмена.

Наиболее современным и перспективным методом расчета динамики ОФП является полевая модель [6–8, 11], которая состоит из нестационарных трехмерных дифференциальных уравнений законов сохранения массы, импульса и энергии для газовой среды помещения (уравнения Рейнольдса), а также для компонентов газовой среды и оптической плотности дыма. Все дифференциальные уравнения приведены к «стандартному» виду [1], удобному для численного решения:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \text{div}(\rho w\Phi) = \text{div}(\Gamma \text{grad } \Phi) + S, \quad (3.1)$$

где Φ – зависимая переменная; Γ – коэффициент диффузии для Φ , S – источник член; ρ – плотность; w – скорость; τ – время. Все величины здесь и далее являются осредненными по времени. Параметры и коэффициенты уравнения (3.1) приведены в табл. 3.1.

Используется k - ϵ модель турбулентности со следующим набором эмпирических констант [2]: $C_1=1,44$; $C_2=1,92$; $\sigma_k=1,0$; $\sigma_\epsilon=1,3$; $C_\mu=0,09$. Эффективная вязкость газа в уравнении (3.1) представлена в виде $\mu_{\text{эф}} = \mu + \mu_t$,

эффективная теплопроводность $\lambda_{\text{эф}} = \lambda + \lambda_t + \lambda_d$, эффективная диффузия $D_{\text{эф}} = D + D_1$

Вязкость газа определяется по формуле Сазерленда [2], турбулентная вязкость μ_t – по формуле Колмогорова [2]. Коэффициент турбулентной теплопроводности определяется из соотношения $\lambda_t = c_p \mu_t / Pr_t$, а коэффициент турбулентной диффузии $D_t = \mu_t / \rho Pr_d$. Принимаем, что турбулентные и диффузионные числа Прандтля $Pr_t = Pr_d = 1$ [2].

При расчете лучистого теплопереноса в газовой среде используем приближение оптически тонкого слоя [3]. Для начальной стадии пожара во время эвакуации это допущение достаточно точно выполняется [8]. При этом в уравнении энергии величина коэффициента лучистой теплопроводности $\lambda_n = 0$, а формула для расчета внутреннего стока тепла имеет вид [3]:

$$Q_n = 4 \pi \gamma \sigma T^4,$$

где T – температура; σ – постоянная Стефана-Больцмана.

Интегральная степень черноты газа γ в уравнении (3.2) равна [4]:

$$\gamma = 1 - e^{-\theta \delta},$$

где δ – толщина слоя газа; θ – коэффициент ослабления излучения газовой средой толщиной δ .

Коэффициент ослабления излучения находится по рассчитанной оптической плотности дыма W [5, 7, 8]:

$$\theta = \lambda^* W, \quad (3.2)$$

где λ^* – коэффициент для пересчета оптического диапазона излучения в инфракрасный.

Массовая скорость газификации равна [5, 7–9, 11]:

- горючее твердое тело

$$\Psi = \Psi_{\text{уд}} F_r, \quad (3.3)$$

- горючая жидкость

$$\tau \leq \tau_{\text{ст}} \quad \Psi = \Psi_{\text{уд}} F_r \sqrt{\tau / \tau_{\text{ст}}}; \quad (3.4)$$

$$\tau > \tau_{\text{ст}} \quad \Psi = \Psi_{\text{уд}} F_r, \quad (3.5)$$

где F_r – площадь поверхности горения, $F_r = \pi r^2$ – в случае твердого вещества при круговом распространении пожара; $r = w_n \tau$ – радиус горения; w_n – линейная скорость распространения пламени по поверхности твердого горючего материала; $\tau_{\text{ст}}$ – время стабилизации горения жидкости, $\Psi_{\text{уд}}$ – удельная массовая скорость газификации ПН

Скорость выделения оптической плотности дыма при горении горючего материала [5, 7, 8, 11]:

$$W = W_{\text{уд}} \Psi \quad (3.6)$$

Область горения задается объемными источниками массы и тепла, равномерно распределенными в объеме области горения.

Граничные условия к уравнению (3.1) принимаются следующими

- на внутренних поверхностях ограждающих конструкций проекции скоростей равны нулю, для уравнения энергии задаются граничные условия 3-го рода; для остальных параметров принимается, что $\partial\Phi / \partial n = 0$,

- на открытом проеме $\partial\Phi / \partial n = 0$ в области истечения газа наружу, в области поступления наружного воздуха внутрь давление, температура и концентрации компонентов соответствуют параметрам атмосферного воздуха, где n - нормаль к поверхности.

Уравнение (3.1) решается методом контрольных объемов [1] по неявной конечно-разностной схеме на шахматной сетке с помощью продольно-поперечной прогонки. При этом используется уравнение для поправки давления в несжимаемой форме. Распределение параметров газовой среды внутри каждого контрольного объема принимается соответствующим схеме с разностями против потока. Точность расчетов контролируется выполнением локального и интегрального законов сохранения массы и энергии в расчетной области.

Расчет прогрева ограждающих конструкций проводится на основе трехмерных дифференциальных уравнений теплопроводности, решенных совместно с системой уравнений (3.1).

Более подробно описание математической модели приведено в [6-8]. Там же представлены результаты сопоставления расчета по предложенной модели с аналитическими решениями, интегральной моделью и экспериментальными данными.

Обозначения в табл. 3.1:

$$k = \frac{1}{2} \overline{(w_x^2 + w_y^2 + w_z^2)}; \quad \varepsilon = v \left(\left(\frac{\partial w_x}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_y}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w_z}{\partial z} \right)^2 \right) - \text{кинетическая}$$

энергия турбулентности и скорость ее диссипации соответственно; w_x', w_y', w_z' - пульсационные составляющие проекций скорости на соответствующие оси; i - энтальпия; $X_{O_2}, X_{CO}, X_{CO_2}$ - массовые концентрации газовой компоненты (кислорода, окиси и двуокиси углерода); η - полнота сгорания; w_x, w_y, w_z - проекции скорости на соответствующие оси.

Параметры и коэффициенты уравнения (3.1)

№	Φ	Γ	S
1	1	0	0
2	w_x	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial x} (\Gamma \text{div} w)$
3	w_y	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial z} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial y} (\Gamma \text{div} w)$
4	w_z	$\mu + \mu_T$	$\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial w_x}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\Gamma \frac{\partial w_y}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\Gamma \frac{\partial w_z}{\partial z} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial z} (\Gamma \text{div} w) - \rho g - \frac{\partial p}{\partial z}$
5	X_{O_2}	$(D_{O_2} + D_{O_2T})\rho$	$-L_{O_2}\psi\eta$
6	X_{CO}	$(D_{CO} + D_{CO_T})\rho$	$L_{CO}\psi\eta$
7	X_{CO_2}	$(D_{CO_2} + D_{CO_2T})\rho$	$L_{CO_2}\psi\eta$
8	k	μ_T/σ_k	$v_T \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) + \frac{g}{Pr_T} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} \right) - \varepsilon$
9	ε	μ_T/σ_ε	$C_1 \frac{\varepsilon}{k} v_T \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} \left(\frac{\partial w_x}{\partial x} + \frac{\partial w_x}{\partial x} \right) + \frac{g}{Pr_T} \frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial z} \right) - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k}$
10	W	0	$W_{yd}\psi$
11	i	$\lambda + \lambda_T + \lambda_n$	$\psi\eta Q_p^n - Q_n$

3.2. Метод расчета необходимого времени эвакуации из зальных помещений по ГОСТ 12.1.004-91*

В российских стандартах безопасности (ГОСТ 12.1.004-91* и др.) заложены упрощенные методы расчета, неадекватные реальной термогазодинамической картине пожара и приводящие в ряде случаев к завышению необходимого времени эвакуации людей в 2-3 раза [8, 76, 81].

Необходимое время эвакуации рассчитывается как произведение критической для человека продолжительности пожара на коэффициент безопасности. Предполагается, что каждый ОФП воздействует на человека независимо от других.

Критическая продолжительность пожара для людей, находящихся на этаже очага пожара, определяется из условия достижения одним из ОФП своего предельно допустимого значения. В качестве критерия опасности для людей, находящихся выше очага пожара, рассматривается условие достижения одним из ОФП предельно допустимого значения в лестничной клетке на уровне этажа пожара.

Расчет критической продолжительности пожара $\tau_{кр}$ производится для наиболее опасного варианта его развития, характеризующегося наибольшим темпом нарастания ОФП в рассматриваемом помещении. Сначала рассчитывают значения критической продолжительности пожара по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений в зоне пребывания людей (рабочей зоне) [9]:

- по повышенной температуре:

$$\tau_{кр}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 + \frac{70 - t_o}{(273 + t_o)Z} \right] \right\}^{1/n}; \quad (3.7)$$

- по потере видимости:

$$\tau_{кр}^{нв} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{V \ln(1,05\alpha E)}{l_{пр} B D_m Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}; \quad (3.8)$$

- по пониженному содержанию кислорода:

$$\tau_{кр}^{O_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{0,044}{\left(\frac{B L_{O_2}}{V} + 0,27 \right) Z} \right]^{-1} \right\}^{1/n}; \quad (3.9)$$

- по каждому из газообразных токсичных продуктов горения*

$$\tau_{кр}^{тг} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{VX}{BLZ} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (3.10)$$

где $B = \frac{353 c_p V}{(1-\phi)\eta Q_n^p}$ - размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания

материала и свободного объема помещения, кг; t_o - 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/сⁿ; Z - безразмерный параметр, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения; Q_n^p - низшая теплота сгорания материала, МДж/кг; c_p - удельная изобарная теплоемкость газа, МДж/(кг·К); ϕ - коэффициент теплопотерь; η - коэффициент полноты горения; V - свободный объем помещения, м³; α - 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/м³ ($X_{CO_2} = 0,11$ 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 (при высоте помещения $H \leq 6$ м):

$$Z = \frac{h_{рз}}{H} \exp \left(1,4 \frac{h_{рз}}{H} \right) \quad (3.11)$$

где $h_{рз}$ - высота рабочей зоны, м; H - высота помещения, м.

Параметры A и n , входящие в уравнения (3.7)-(3.10), вычисляют следующим образом:

- для случая горения жидкости с установившейся скоростью:

$$A = \Psi_o F_{пн}, \quad n = 1, \quad (3.12)$$

где Ψ_o - удельная массовая скорость выгорания жидкости, кг/(м²·с);

- для кругового распространения пожара:

$$A = 1,05 \Psi_o w_n^2, \quad n = 3, \quad (3.13)$$

где w_n - 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):

$$A = \Psi_0 w_n b, \quad n = 2, \quad (3.14)$$

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

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

Исходные данные для проведения расчетов могут быть взяты из справочной литературы

Из полученных в результате расчетов значений критической продолжительности пожара по отдельным ОФП выбирается минимальная величина (критическая продолжительность пожара):

$$\tau_{кр} = \min\{\tau_{кр}^r, \tau_{кр}^{n.в}, \tau_{кр}^{O_2}, \tau_{кр}^{r.f}\}. \quad (3.15)$$

Необходимое время эвакуации людей $\tau_{нб}$ (в мин.) из рассматриваемого помещения рассчитывают по формуле

$$\tau_{нб} = \frac{0,8\tau_{кр}}{60}. \quad (3.16)$$

При расположении людей на различных по высоте площадках необходимое время эвакуации следует определять для каждой площадки.

Свободный объем помещения соответствует разности между геометрическим объемом и объемом оборудования или предметов, находящихся внутри. Если рассчитывать свободный объем невозможно, допускается принимать его равным 80 % геометрического объема.

Выражения (3.7)–(3.10) являются аналитическим решением интегральной модели [8, 11] при следующих основных упрощениях термогазодинамической картины пожара:

- проемы работают только на «выброс» газовой смеси наружу;
- коэффициент теплопотерь принимается постоянным;
- удельный выход токсичных газов при сгорании 1 кг материала постоянен и не зависит от концентрации кислорода и т. д.

3.3. Метод расчета необходимого времени эвакуации из коридоров зданий по ГОСТ 12.1.004–91

Значения температуры, концентраций токсичных компонентов продуктов горения и оптической плотности дыма в коридоре этажа пожара и в лестничной клетке определяются в результате решения системы уравнений теплогазообмена для помещений очага пожара, поэтажного коридора и лестничной клетки.

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

$$G = \text{sign}(\Delta P) \mu B (y_2 - y_1) \sqrt{2\rho \Delta P}, \quad (3.17)$$

где G – расход через проем, кг/с; μ – коэффициент расхода проема ($\mu = 0,8$ для закрытых проемов и $\mu = 0,64$ для открытых); B – ширина проемов, м; y_2, y_1 – нижняя и верхняя границы потока, м; ρ – плотность газов, проходящих через проем, кг/м³; ΔP – средний в пределах y_2, y_1 перепад полных давлений, Па.

Нижняя и верхняя границы потока зависят от положения плоскости равных давлений:

$$y_0 = \frac{P_i - P_j}{g(\rho_j - \rho_i)}, \quad (3.18)$$

где P_i, P_j – статическое давление на уровне пола i -го и j -го помещений, Па; ρ_j, ρ_i – среднееобъемные плотности газа в j -м и i -м помещениях, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с².

Если плотность равных давлений располагается вне границ рассматриваемого проема ($y_0 \leq h_1$ или $y_0 \geq h_2$), то поток в проеме течет в одну сторону и границы потока совпадают с физическими границами проема h_1 и h_2 . Перепад давлений (ΔP), Па, в этом случае вычисляются по формуле:

$$\Delta P = P_i - P_j + g(h_1 + h_2)(\rho_i - \rho_j) / 2. \quad (3.19)$$

Если плоскость равных давлений располагается в границах потока ($h_1 < y_0 < h_2$), то в проеме текут два потока: из i -го помещения в j -е и из j -го в i -е. Нижний поток имеет границы h_1 и y_0 , перепад давления для этого потока определяется по формуле

$$\Delta P = P_i - P_j + g(h_1 + y_0)(\rho_j - \rho_i) / 2. \quad (3.20)$$

Поток в верхней части проема имеет границы y_0 и h_2 , перепад давления (ΔP) для него рассчитывается по формуле

$$\Delta P = P_i - P_j + g(h_2 + y_0)(\rho_j - \rho_i) / 2. \quad (3.21)$$

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

$$\rho, \text{sign}(\Delta P) = \begin{cases} -1, \rho = \rho_j, & \text{при } \Delta P < 0 \\ +1, \rho = \rho_i, & \text{при } \Delta P \geq 0 \end{cases} \quad (3.22)$$

Уравнение баланса массы выражается зависимостью:

$$\frac{d(\rho_j V_j)}{d\tau} = \Psi + \sum_i G_i - \sum_k G_k, \quad (3.23)$$

где V_j – объем помещения, м³; τ – время, с; Ψ – скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/с; $\sum_i G_i$ – сумма расходов, входящих в помещение,

кг/с; $\sum_k G_k$ – сумма расходов, выходящих из помещения, кг/с.

Уравнение энергии для коридора и лестничной клетки:

$$\frac{d(C_v \rho_j V_j T_j)}{d\tau} = C_p \sum_i T_i G_i - C_p T_j \sum_k G_k, \quad (3.24)$$

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.

Уравнение баланса масс отдельных компонентов продуктов горения и кислорода

$$\frac{d(X_{Lj} \rho_j V_j)}{d\tau} = \Psi L_j + \sum_i X_{Li} G_i - X_{Lj} \sum_k G_k, \quad (3.25)$$

где X_{Li}, X_{Lj} – концентрация L -го компонента продуктов горения в j -м и i -м помещениях, г/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

$$V_j \frac{d(\mu_j)}{d\tau} = \Psi D_m + \sum_i \mu_i G_i - \mu_j \sum_k G_k, \quad (3.26)$$

где μ_i, μ_j – оптическая плотность дыма в j -м и i -м помещениях Нп/м; D_m – дымообразующая способность пожарной нагрузки, Нп·м²/кг.

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

$$l_{np} = 2,38 / \mu. \quad (3.27)$$

Система уравнений интегральной модели и условия однозначности задачи подробно приведены в [7, 8, 11, 78, 79, 89].

3.4. Зонная модель расчета динамики опасных факторов пожара

Зонный метод расчета динамики ОФП [8, 11], как и все вышерассмотренные математические модели, основан на фундаментальных законах природы – законах сохранения массы, импульса и энергии.

Газовая среда помещения является открытой термодинамической системой, обменивающейся массой и энергией с окружающей средой через открытые проемы и ограждающие конструкции помещения.

Газовая среда является многофазной, так как состоит из смеси газов (кислород, азот, продукты горения и газификации горючего материала, газообразное огнетушащее вещество) и мелкодисперсных частиц (твердых или жидких) дыма и огнетушащего вещества.

В зонной математической модели газовый объем помещения разбивается на характерные зоны, в которых для описания тепломассообмена используются соответствующие уравнения законов сохранения. Размеры и количество зон выбираются таким образом, чтобы в пределах каждой из них неоднородности температурных и других полей параметров газовой среды были возможно минимальными, или из каких-то других предположений, определяемых задачами исследований и расположением горючего материала.

Наиболее распространенной является трехзонная модель, в которой объем помещения разбит на следующие зоны: конвективная колонка, припотолочный слой и зона холодного воздуха [11].

Принципиальная схема тепломассообмена в помещении для трехзонной модели имеет вид, показанный на рис. 3.1. Стрелками обозначены направления течения газовой смеси и тепловые потоки.

Обозначения на рис. 3.1 следующие: Ψ – массовая скорость газификации горючего материала; G_a, G_m – массовые расходы поступающего воздуха и вытекающих наружу газов при естественном газообмене через открытые проемы; W_m – объемный расход системы дымоудаления; Q_{np} – тепловой поток, излучаемый через открытые проемы наружу; Q_c, Q_{w1}, Q_{w2}, Q_f – суммарные (конвекция и излучение) тепловые потоки, поступающие в потолок, стены (ниже и выше нижней границы припотолочного слоя) и пол.

При разработке зонной модели используется ряд допущений и упрощений сложной термогазодинамической картины пожара.

Считаем, что существует резко выделенная граница бесконечно малой толщины между зонами припотолочного слоя и холодного воздуха, при переходе через которую термогазодинамические параметры изменяются скачкообразно.

Предполагаем, что газовая смесь состоит из идеальных газов. При атмосферном давлении свойства реальных газов близки к идеальным.

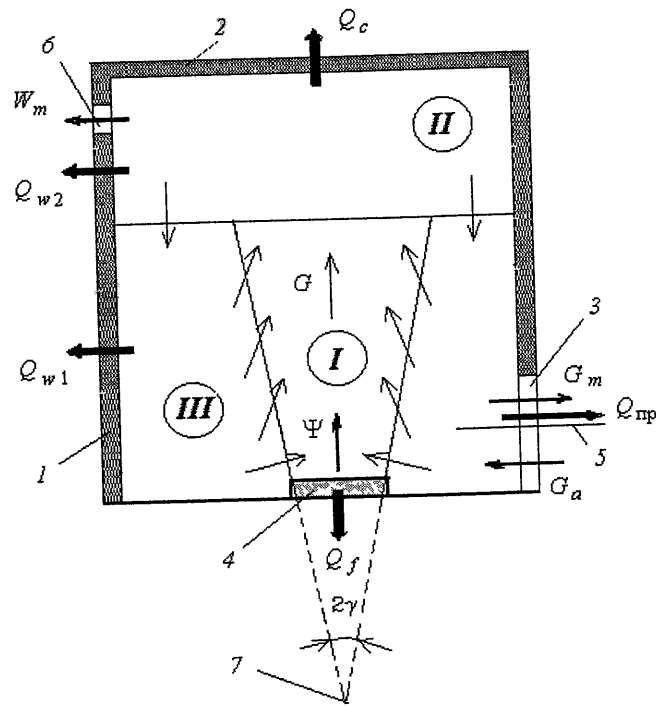


Рис. 3.1. Схема расчета тепломассообмена в помещении:
 1 - стены; 2 - перекрытие; 3 - открытый проем; 4 - горючий материал; 5 - нейтральная плоскость; 6 - система дымоудаления; 7 - фиктивный источник теплоты;
 I - конвективная колонка; II - нагретый задымленный припотолочный слой;
 III - холодный воздух

Принимаем величины теплофизических свойств смеси газов (удельная изобарная теплоемкость, газовая постоянная и показатель адиабаты) равными соответствующим значениям для сухого воздуха, так как различие между термодинамическими свойствами продуктов горения пожарной нагрузки и воздуха в обычно наблюдаемом при пожаре диапазоне температур мало.

Долями тепловой энергии и массы, приходящейся на мелкодисперсные частицы дыма и огнетушащего вещества, по сравнению с соответствующими значениями для газовой фазы, пренебрегаем (не учитываем присутствие дыма при расчете термогазодинамических параметров газовой смеси).

Влияние мелкодисперсных частиц дыма и огнетушащего вещества на оптические и радиационные свойства среды в помещении учитывается с помощью понятия оптической плотности дыма.

Предполагаем, что геометрическое положение пожарной нагрузки в помещении не влияет на параметры тепломассообмена через открытые проемы с окружающей средой и теплоотвода в ограждающие конструкции.

Структура зонной модели приведена на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Структура зонной модели

Модели процессов газификации и горения горючего материала аналогичны случаю интегральной модели.

Условия однозначности задачи (геометрические, физические, начальные и граничные условия) подробно рассмотрены в [7, 8, 11, 82, 83].

В результате расчета по зонной модели находятся зависимости от времени следующих параметров тепломассообмена:

- среднеобъемных значений температуры, давления, массовых концентраций кислорода, азота, огнетушащего газа и продуктов горения, а также оптической плотности дыма и дальности видимости в нагретом задымленном припотолочном слое в помещении;
- нижнюю границу нагретого задымленного припотолочного слоя;
- распределения по высоте колонки массового расхода, осредненных по поперечному сечению колонки величин температуры и эффективной степени черноты газовой смеси;
- массовых расходов истечения газов наружу и притока наружного воздуха внутрь через открытые проемы;
- тепловых потоков, отводящихся в потолок, стены и пол, а также излучаемых через проемы;

- температуры (температурных полей) ограждающих конструкций

В зоне конвективной колонки (рис. 3.1) необходимо определить распределения по высоте колонки следующих осредненных по поперечному сечению колонки параметров.

- массового расхода смеси продуктов горения и газификации горючего материала и воздуха;
- температуры газовой смеси и частиц дыма;
- эффективной степени черноты газовой смеси и частиц дыма.

Считаем, что открытая поверхность горючего материала является плоской и круглой с эквивалентным диаметром, равным

$$d_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{4F_r}{\pi}}, \quad (3.28)$$

где F_r – площадь открытой поверхности горючего материала.

Предполагаем, что форма конвективной колонки, образующейся над открытой поверхностью горючего материала, является конической с углом полуоткрытия γ .

Предполагаем «квазиодномерность» течения внутри колонки, т. е. термогазодинамические параметры газовой смеси являются осредненными по поперечному сечению колонки и в каждый момент времени изменяются только вдоль высоты колонки. При этом площадь поперечного сечения колонки изменяется по высоте.

Рассматривается неограниченная свободная конвекция, т. е. не учитывается влияние ограждающих конструкций помещения. Это допущение справедливо на начальной стадии пожара при условии $d_{\text{экв}} \ll H$ и $d_{\text{экв}} \ll F_f$, где H – высота помещения; F_f – площадь пола.

Можно выделить два основных теоретических подхода к решению поставленной задачи:

- тепловыделение при пожаре происходит в фиктивном источнике теплоты, расположенном в точке пересечения образующих конуса конвективной колонки (рис. 3.3);
- тепловыделение при пожаре происходит выше открытой поверхности горючего материала внутри области колонки, ограниченной высотой пламени (рис. 3.4).

При первом подходе не учитывается реальное расположение источника тепловыделения. В этом случае поверхность горючего материала является условно проницаемой.

Первый традиционный подход подробно приведен в [11].

Второй подход предложен и обоснован доктором технических наук, профессором С. В. Пузачем и адъюнктом Академии ГПС МЧС России Е. С. Абакумовым [82, 83].

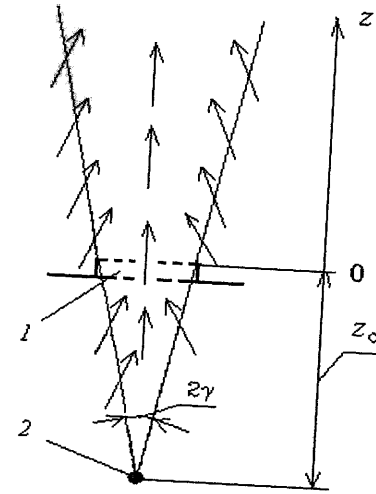


Рис 3.3. Схема расчета тепломассообмена в конвективной колонке при первом подходе: 1 – горючий материал; 2 – фиктивный источник теплоты

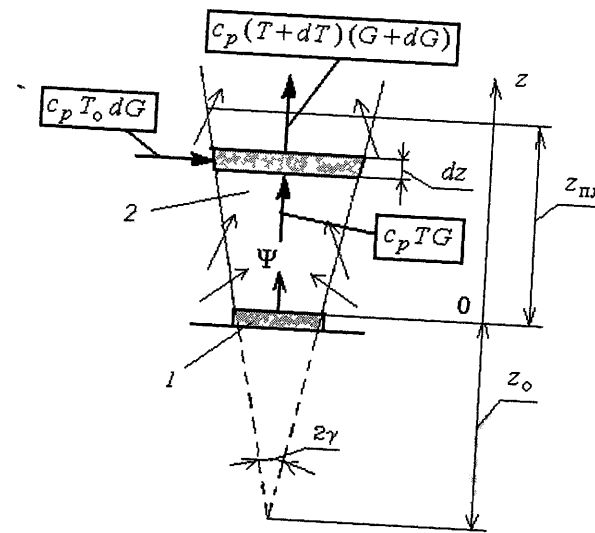


Рис 3.4. Схема расчета тепломассообмена в конвективной колонке при втором подходе: 1 – горючий материал, 2 – область тепловыделения

Для определения температур и массовых расходов в сечениях конвективной колонки можно использовать формулы [11]

$$T = \frac{T_0 + Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{c_p G}, \quad (3.29)$$

$$G = 0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{\text{пож}}}{c_p T_0} - (1-\chi) \right]^{\frac{1}{3}} (z + z_0)^{\frac{5}{3}}, \quad (3.30)$$

где $Q_{\text{пож}} = \eta \Psi Q_n^p = \eta \Psi_{\text{уд}} Q_n^p F_{\text{г}}$; $Q_{\text{пож}}$ – скорость тепловыделения, Вт; Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания, Дж/кг; $\Psi_{\text{уд}}$ – удельная скорость выгорания, кг/(м²·с); g – ускорение свободного падения, м/с²; T_0 и ρ_0 – температура и плотность холодного (окружающего) воздуха, G – расход газов через сечение струи, отстоящее по высоте от поверхности горения на расстоянии z , кг/с; c_p – изобарная теплоемкость газа, Дж/(кг·К); $\chi = \frac{Q_{w1}}{Q_{\text{пож}}}$ – до-

ля, приходящаяся на поступающую в ограждение теплоту от выделившейся в очаге горения; z – координата сечения колонки, отсчитываемая от поверхности горения, м; z_0 – расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения, м.

Формулы (3.29) и (3.30) позволяют определить расход газа, поступающего во II зону из I зоны, и его температуру. Для этого нужно положить координату z в формулах (3.28) и (3.29) равной координате нижней границы припотолочного слоя z_k .

Расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения вычисляется по формуле [11]:

$$z_0 = 1,5 \sqrt{F_{\text{г}}}. \quad (3.31)$$

Высота нижней границы припотолочного слоя с учетом того, что $\frac{Q_{w1} + Q_{w2}}{Q_{\text{пож}}} = \varphi \approx \text{const}$ (для начальной стадии $\varphi \approx 0,55$ [11]), находится из решения обыкновенного дифференциального уравнения [11]:

$$\frac{dz_k}{d\tau} + \gamma (z_k + z_0)^{\frac{5}{3}} + \beta = 0, \quad (3.32)$$

где $\beta = \frac{(1-\varphi)Q_{\text{пож}}}{\rho_0 c_p T_0 F_{\text{пот}}}$; $\gamma = \frac{0,21}{F_{\text{пот}}} \left[\frac{g Q_{\text{пож}} (1-\chi)}{\rho_0 c_p T_0} \right]$; $F_{\text{пот}}$ – площадь потолка.

Начальное условие имеет вид: $z_{k(\tau=0)} = H - \delta$, где H – высота помещения; δ – толщина горючего материала.

Уравнение (3.32) решается численным методом Рунге-Кутты 4-го порядка точности

После того как найдена функция $z_k(\tau)$, находятся зависимости от времени параметров термогазодинамики пожара в рассматриваемых зонах помещения.

При втором подходе (рис. 3.4) сначала находятся зависимости средних по поперечному сечению параметров газовой смеси вдоль высоты конвективной колонки.

Уравнение закона сохранения энергии газовой смеси и дыма, находящейся внутри контрольного объема высотой dz конвективной колонки, в «квазиодномерном» приближении внутри области тепловыделения (пламенной зоны) имеет вид (рис. 3.4):

$$c_p (G + dG)(T + dT) = c_p GT + c_p T_0 dG + \frac{Q_{\text{пож}}(1-\varphi_1)}{z_{\text{пл}}} dz, \quad (3.33)$$

где c_p – удельная изобарная массовая теплоемкость воздуха; G – массовый расход газовой смеси и дыма через поперечное сечение на высоте z ; T – средняя температура газовой смеси и дыма в поперечном сечении на высоте z ; $z_{\text{пл}}$ – расстояние от поверхности горючего материала до высоты окончания пламенной зоны (выше этой зоны вкладом процесса догорания негоревших продуктов газификации горючего материала в суммарную тепловую мощность, выделяющуюся при горении, можно пренебречь).

При выводе уравнения (3.33) принимаем, что мощность тепловыделения распределена равномерно от поверхности горючего материала до высоты окончания пламенной зоны.

Преобразуя уравнение (3.33), получаем:

$$c_p \frac{d(GT)}{dz} - c_p T_0 \frac{dG}{dz} = \frac{Q_{\text{пож}}(1-\varphi_1)}{z_{\text{пл}}} - c_p dGdT. \quad (3.34)$$

Пренебрегаем величиной $c_p dGdT$ второго порядка малости по сравнению с величинами первого порядка малости:

$$\frac{d}{dz} [G(T - T_0)] = B_{\text{кк}}, \quad (3.35)$$

где $B_{\text{кк}} = \frac{Q_{\text{пож}}(1-\varphi_1)}{z_{\text{пл}} c_p}$ – размерный параметр, кг·К/(м·с).

Интегрируем выражение (3.35) по высоте от поверхности горючего материала ($z = 0$) до текущей координаты z :

$$[G(T - T_0)]_z - [G(T - T_0)]_{z=0} = B_{\text{кк}} z. \quad (3.36)$$

На поверхности горючего материала ($z = 0$): $G = \Psi$; $T = T_{\text{пл}}$, где $T_{\text{пл}}$ – температура продуктов газификации горючего вещества.

При $G \gg \Psi$ выражение (3.36) принимает вид:

$$G(T - T_0) = B_{\text{кк}} z. \quad (3.37)$$

Уравнение закона сохранения энергии газовой смеси и дыма для конвективной колонки окончательно устанавливает зависимость между величинами средней температуры и массового расхода в каждом сечении колонки, расположенном между поверхностями горючего материала и окончания пламенной зоны:

$$GT = B_{\text{кк}} z + GT_0. \quad (3.38)$$

Уравнение закона сохранения импульса (уравнение движения) газовой смеси и дыма, находящейся внутри контрольного объема высотой dz конвективной колонки, в «квазиодномерном» приближении имеет вид:

$$\rho w_z \frac{dw_z}{dz} = -\frac{dp}{dz} - \rho g, \quad (3.39)$$

где w_z – средняя составляющая по вертикальной оси z скорости газовой смеси и дыма в поперечном сечении колонки; ρ – средняя плотность в поперечном сечении колонки; g – ускорение свободного падения; p – статическое давление в поперечном сечении колонки.

Изменение статического давления по высоте в невозмущенном воздухе вне конвективной колонки определяется в соответствии с гидростатической формулой:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho_0 g, \quad (3.40)$$

где ρ_0 – плотность воздуха в помещении перед пожаром.

Заменив градиент давления в выражении (3.39) из формулы (3.40) получаем:

$$\rho w_z \frac{dw_z}{dz} = (\rho_0 - \rho)g. \quad (3.41)$$

Величины средней плотности в поперечном сечении колонки и плотности воздуха в помещении перед пожаром находятся из уравнений состояния в форме Клапейрона:

$$\rho = \frac{p}{RT}; \quad (3.42)$$

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R_a T_0}, \quad (3.43)$$

где R – газовая постоянная газовой смеси и дыма; R_a – газовая постоянная воздуха; p_0 – статическое давление в помещении перед пожаром.

Принимаем, что $R = R_a$ и $p = p_0$ (см. допущения к зонной модели).

Среднюю составляющую по вертикальной оси z скорости газовой смеси и дыма в поперечном сечении колонки можно найти из «квазиодномерного» уравнения неразрывности для течения газа внутри канала поперечного сечения:

$$w_z = \frac{G}{\rho F}, \quad (3.44)$$

где F – площадь поперечного сечения конвективной колонки.

В соответствии с рис. 3.4 площадь круглого поперечного сечения равна:

$$F = \pi r^2 = \pi(z + z_0)^2 \text{tg}^2 \gamma. \quad (3.45)$$

Подставляем величины из формул (3.42)–(3.45) в уравнение (3.41) и получаем второе (первое – уравнение (3.38)) дифференциальное уравнение, связывающее величины средней температуры и массового расхода в каждом сечении колонки:

$$\frac{R_0^2 T_0}{p_0^2} \frac{GT}{F} \frac{d}{dz} \left(\frac{GT}{F} \right) = (T - T_0)g. \quad (3.46)$$

Выражая правую часть уравнения (3.46) из выражения (3.38) записываем:

$$A_{\text{кк1}} \frac{GT}{F} \frac{d}{dz} \left(\frac{GT}{F} \right) = \frac{B_{\text{кк}}}{G} z, \quad (3.47)$$

где $A_{\text{кк1}} = \frac{R_0^2 T_0}{g p_0^2}$ – размерный параметр, $\text{с}^2 \cdot \text{м}^5 / (\text{кг}^2 \cdot \text{К})$.

Выразив из формулы (3.45) величину площади поперечного сечения колонки и заменив произведение расхода на среднюю температуру в соответствии с выражением (3.38), после преобразования уравнения (3.47) получаем дифференциальное уравнение для расчета распределения расхода по высоте конвективной колонки между поверхностями горючего материала и окончания пламенной зоны:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{B_{\text{кк}} z (z + z_0)^4}{T_0 G A (B_{\text{кк}} z + G T_0)} + \frac{2(B_{\text{кк}} z + G T_0)}{T_0 (z + z_0)} - \frac{B_{\text{кк}}}{T_0}, \quad (3.48)$$

где $A_{\text{кк2}} = \frac{A_{\text{кк1}}}{\pi^2 \text{tg}^4 \gamma} = \frac{R_0^2 T_0}{g p_0^2 \pi^2 \text{tg}^4 \gamma}$ – размерный параметр, $\text{с}^2 \cdot \text{м}^5 / (\text{кг}^2 \cdot \text{К})$.

Если выразить расстояние до фиктивного источника теплоты (рис. 3.4) через эквивалентный радиус открытой поверхности горючего материала ($z_0 = r_{\text{экр}}/\text{tg} \gamma$), то окончательно дифференциальное уравнение для расчета распределения расхода по высоте конвективной колонки между поверхностями горючего материала и окончания пламенной зоны имеет вид:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{B_{\text{кк}} z (r_{\text{экр}} + z \text{tg} \gamma)^4}{T_0 G A (B_{\text{кк}} z + G T_0)} + \frac{2G \text{tg} \gamma}{r_{\text{экр}} + z \text{tg} \gamma} - \frac{B_{\text{кк}}}{T_0} \left(1 - \frac{2z \text{tg} \gamma}{r_{\text{экр}} + z \text{tg} \gamma} \right), \quad (3.49)$$

где $A_{\text{кк}} = A_{\text{кк}2} \text{tg}^4 \gamma = \frac{R_0^2 T_0}{g p_0^2 \pi^2}$ – размерный параметр, $\text{с}^2 \cdot \text{м}^5 / (\text{кг}^2 \cdot \text{К})$.

Выше пламенной зоны, где нет внутренних источников и стоков теплоты (из-за допущения о том, что горение и потери энергии на излучение происходят только внутри пламенной зоны), уравнение закона сохранения энергии газовой смеси и дыма в «квазиодномерном» приближении имеет вид (см. аналогичное уравнение (3.30) при первом традиционном подходе):

$$\frac{d}{dz} [G(T - T_0)] = 0. \quad (3.50)$$

Тогда после интегрирования от высоты окончания пламенной зоны $z_{\text{пл}}$ до текущей координаты z получаем, что величины средней температуры и массового расхода в каждом сечении колонки выше пламенной зоны связаны следующим соотношением:

$$G(T - T_0) = [G(T - T_0)]_{z=z_{\text{пл}}}. \quad (3.51)$$

Из дифференциального уравнения (3.49), учитывая, что $B_{\text{кк}} = 0$, записываем уравнение для расчета распределения расхода по высоте конвективной колонки выше поверхности окончания пламенной зоны:

$$\frac{dG}{dz} = \frac{2G \text{tg} \gamma}{r_{\text{кв}} + z \text{tg} \gamma}. \quad (3.52)$$

Сопоставление традиционной формулы для расчета расхода (3.30) и полученного выражения (3.49) проведено в [82, 83].

После определения расхода решаются те же уравнения ((3.32) и т. д.), что и при первом подходе.

Условия однозначности зонной модели (в частности, начальные и граничные условия) подробно приведены в [11].

Глава 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ САМОСПАСАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИТИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

4.1. Сравнительный анализ опасности токсичных газов при пожаре

При работе с различными научно-техническими источниками [11, 33, 34, 92] обнаружено отличие в значениях выхода токсичных газов при сгорании веществ и материалов (п. 2.1 настоящей монографии). Эти данные представляют практический интерес для получения заключений об опасности того или иного материала при пожаре и, в первую очередь, определяют критическую продолжительность пожара в помещении по различным ОФП.

Величины концентраций токсичных газов и другие параметры получают при помощи экспериментов, которые, как правило, отличаются условиями проведения (масса горючего вещества, объем камеры сгорания, условия протекания химических реакций горения (окисления)), т. е. количественное отличие в различных базах данных естественно.

В этой части монографии проведён сравнительный анализ данных, представленных в [11, 33, 34]. Задача исследования заключалась в определении опасности (+ – наступает перед достижением температуры ее критического значения) или безопасности (– – наступает после достижения температуры ее критического значения) пожарной нагрузки по токсичным газам (CO , CO_2 , HCl , акролеин, HCN).

Критическую продолжительность пожара по потере видимости, которая наступает практически в любых условиях пожара как первый ОФП [7, 8], не рассматриваем, так как она, как правило, не приводит непосредственно к гибели людей. Также принимаем, что снижение концентрации кислорода и задымленность в помещении не оказывают взаимного влияния на общую термогазодинамическую картину, хотя при реальном пожаре, несомненно, эти ОФП играют немаловажную роль, в сценарии развития пожара и комплексном воздействии ОФП на организм человека.

Для получения оценки опасности токсичных газов, проведем сравнение соответствующих значений критической продолжительности пожара по температуре и по токсичным газам (формулы (25) и (28) [9] или (3.7) и (3.10) в п. 3.2 нашей монографии) в виде неравенства:

$$\left\{ \frac{B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{VX}{BLZ}} \right) \right\}^{\frac{1}{n}} \leq \left\{ \frac{B}{A} \ln \left(1 + \frac{70 - t_0}{(273 + t_0)Z} \right) \right\}^{\frac{1}{n}}. \quad (4.1)$$

Левая часть неравенства обозначает время критической продолжительности пожара по одному из газообразных ПГ, а правая – время критической продолжительности пожара по повышенной температуре в помещении.

При выполнении неравенства (4.1) повышенная температура в помещении достигает критических значений позже, чем токсичные газы. Следовательно, в этом случае токсичные газы представляют угрозу эвакуирующимся людям при пожаре.

Произведя преобразования, можно формулу (4.1) привести к виду:

$$\frac{Q}{L} \leq \left(\frac{1 - \frac{1}{1 + 0,1712}}{X(1 - \phi)\eta} \right)^{353C_p Z} \quad (4.2)$$

или

$$\frac{Q}{L} \leq N_x \quad (4.3)$$

Подставляя в параметр N_x формулы (4.3) соответствующие значения X , в частности, в качестве X могут выступать, как предельные значения по токсичным газам, так и параметры защиты самоспасателя от токсичного газа, появляется возможность получения аналитической оценки опасности токсичного газа в помещении и подмасочном пространстве самоспасателя.

В табл. 4.1 представлены результаты сравнительной оценки опасности токсичных газов при пожаре с использованием различных баз данных [11, 34] по формуле (4.3) при $Z = 1$. При этом данные по выходу токсичных газов из [11] представлены в приложении 1, а данные выхода [33, 34] представлены в виде сводной таблицы 2.3 и приведены к единой размерности (кг/кг).

Таблица 4.1

Оценка опасности токсичных газов при пожаре с использованием баз данных [11, 34]

Горючий материал	Q_p^* , кДж/кг	Кошмаров [11]/Исаева [33, 34]		
		CO ₂	CO	HCl
1	2	3	4	5
Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (степень огнестойкости))	13800	-/-	-/+	+/н.д.
Мебель + ткани (здание I-II CO)	14700	-/-	-/+	+/н.д.
Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)	13800	-/-	-/+	+/н.д.
Мебель + ткани (здание III-IV CO)	14700	-/-	-/+	+/н.д.
Мебель + ткани (здание I CO (0,75+0,25))	14900	-/-	-/+	0/н.д.
Мебель + ткани (здание III CO (0,75+0,25))	14900	-/-	-/+	0/н.д.

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5
Кабинет. мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	-/-	-/+	0/н.д.
Помещение, облицованное панелями ДВП	18100	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	-/-	-/+	0/н.д.
Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)	26600	-/н.д.	+/н.д.	0/н.д.
Общественные здания: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14000	-/н.д.	-/н.д.	+/+
Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах	14500	-/н.д.	-/н.д.	0/-
Сценическая часть зрительного зала: древесина	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)	23300	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё	36000	-/н.д.	-/н.д.	-/н.д.
Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХХ (0,9+0,1)	14100	-/-	-/+	-/н.д.
Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)	14000	-/-	-/+	-/н.д.
Издательства, типографии	15400	-/н.д.	+/н.д.	0/-
Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка	15800	-/-	-/+	+/н.д.
Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)	14400	-/-	-/+	+/н.д.
Промтовары: текстильные изделия	16700	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Кабельный подвал: кабели АБВГ + АПВГ	30700	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Химическое вещество: толуол	40900	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Химическое вещество: ксилол	41200	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Бензин А-76	43200	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Керосин	43300	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Дизельное топливо: соляр	45400	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс	34800	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Электротехнические материалы: текстолит, карболит	20900	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Теплоноситель: турбинное масло ТП-22	41900	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Электрокабель АБВГ: ПВХ оболочка + изоляция	25000	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен	36400	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен	34600	-/н.д.	-/н.д.	+/+
Сырьё для нефтехимии: нефть	44200	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Химическое вещество: ацетон	29000	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.

Продолжение табл. 4.1

1	2	3	4	5
Химическое вещество: этиловый спирт	27500	-/н.д.	+/н.д.	0/н.д.
Лесопильный цех I-III СО: древесина	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Лесопильный цех IV-V СО: древесина	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Цех деревообработки: древесина	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Цех сушки древесины: древесина	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)	16100	-/-	-/+	0/н.д.
Штабель древесины: хвойный + лиственный лес	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Хвойные древесные материалы: штабель	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Лиственные древесные материалы: штабель	13800	-/-	-/+	0/н.д.
Клеёные стройматериалы: фанера	18400	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Сырьё для легкой промышленности: хлопок	16400	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Сырьё для легкой промышленности: лен разрыхленный	15700	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)	15700	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Сырьё для легкой промышленности: шерсть	21800	-/н.д.	-/н.д.	0
Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука	17000	-/-	+/+	0/н.д.
Сырье и изделия из синтетического каучука	43000	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Склад льноволокна	15700	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Склад хлопка в тюках	16700	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Склад бумаги в рулонах	15100	-/н.д.	-/н.д.	0/-
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37800	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Склад оргстекла (ППМА)	26400	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)	33500	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Дерево + лаковое покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)	13900	-/-	-/+	-/н.д.
Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, искусственная кожа ПВХ) + 0,1* эмаль	31700	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, искусственная кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием	16200	-/н.д.	-/н.д.	+/н.д.
Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)	20710	-/-	-/+	+/н.д.
Упаковка: Бумага + картон + полиэтилен + полистирол (0,4+0,3+0,15+0,15)	23540	-/н.д.	-/н.д.	-/-
Индустриальное масло	42700	-/н.д.	-/н.д.	0

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5
Вешалка текстильных изделий	16720	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.
Отделка: ковролин	15397	-/н.д.	+/н.д.	+/н.д.
Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	14280	-/н.д.	-/н.д.	-/-
Занавес зрительного зала кинотеатра	13800	-/н.д.	-/н.д.	0/н.д.

Примечания:

- - наступает после достижения температуры ее критического значения;
- + - наступает перед достижением температуры ее критического значения;
- н.д. - нет данных по выходу токсичного газа при горении;
- 0 - вещество не выделяется при горении пожарной нагрузки.

Анализ таб. 4.1 показывает, что критическая продолжительность пожара по нижеприведенным ПГ меньше критической продолжительности пожара по повышенной температуре в следующем количестве случаев:

- CO₂: 0 нагрузок (0 %);
- CO: 6 нагрузок (8,95 %) по [11] и 24 нагрузки (35,8 %) по [33, 34];
- HCl: 18 нагрузок (26,87 %) по [11] и 2 нагрузки (2,98 %) по [33, 34].

При подстановке значений выхода токсичных газов в выражение (4.3) установлено, что по некоторым ПН данные обоих авторов имеют достаточно близкие значения, что позволит использовать значения баз данных по этим ПН в практических расчётах с достаточно высокой степенью достоверности.

Используя выражение (4.3), определим необходимость использования самоспасателя «Феникс» [78] при пожаре в помещении, используя наряду с базой данных [11] данные исследований [33, 34], учитывающие выход других токсичных газов, таких как акролеин и циановодород. Эти ПГ являются сильнейшими токсикантами, которые наряду с СО оказывают вредное воздействие уже в начальной стадии пожара (см. гл. 2 монографии).

Результаты расчетов приведены в табл. 4.2-4.5. В данных расчётах выбраны защитные характеристики самоспасателя №3 [38] с повышенной защитой от монооксида углерода.

Для табл. 4.2 данные о выходе токсичных газов принимались из таблицы 2.3 (анализ результатов работ [33, 34]), а для табл. 4.4 значение выхода токсичных газов взяты из приложения 1 [11]. В табл. 4.2 и 4.4 в числителе отражена опасность образования в помещении критических концентраций (аварийного предела воздействия (АПВ)) токсичного газа, а в знаменателе - возможность образования критических концентраций (АПВ) в подмасочном пространстве самоспасателя.

Таблица 4.2

Оценка опасности образования критических концентраций токсичных газов в помещении и подмасочном пространстве самоспасателя при пожаре с использованием данных табл. 2.3

Горючий материал	Q _г , кДж/кг	Токсичные газы			
		СО	НСІ	НСN	Акро- леин
1	2	3	4	5	6
Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (степень огнестойкости))	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель + ткани (здание I-II CO)	14700	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель + ткани (здание III-IV CO)	14700	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель + ткани (здание I CO (0,75+0,25))	14900	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель + ткани (здание III CO (0,75+0,25))	14900	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Помещение, облицованное панелями ДВП	18100	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)	26600	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Общественные здания: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14000	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах	14500	н.д.	-/-	н.д.	+/-
Сценическая часть зрительного зала: древесина	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)	23300	н.д.	н.д.	+/+	н.д.
Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё	36000	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)	14100	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)	14000	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Издательства, типографии	15400	н.д.	-/-	н.д.	+/-
Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка	15800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)	14400	+/-	н.д.	н.д.	+/-

Продолжение табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Промтовары: текстильные изделия	16700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ	30700	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Химическое вещество: толуол	40900	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Химическое вещество: ксилол	41200	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Бензин А-76	43200	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Керосин	43300	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Дизельное топливо: соляр	45400	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Радиоматериалы: полиэтилен, полистирол, полипропил, гетинакс	34800	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Электротехнические материалы: текстолит, карболит	20900	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Теплоноситель: турбинное масло ТП-22	41900	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция	25000	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен	36400	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен	34600	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Сырьё для нефтехимии: нефть	44200	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Химическое вещество: ацетон	29000	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Химическое вещество: этиловый спирт	27500	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Лесопильный цех I-III CO: древесина	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Лесопильный цех IV-V CO: древесина	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Цех деревообработки: древесина	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Цех сушки древесины: древесина	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)	16100	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Штабель древесины: хвойный + лиственный лес	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Хвойные древесные материалы: штабель	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Лиственные древесные материалы: штабель	13800	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Клеёные стройматериалы: фанера	18400	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Сырьё для легкой промышленности: хлопок	16400	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Сырьё для легкой промышленности: лен разрыхленный	15700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)	15700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Сырьё для легкой промышленности: шерсть	21800	н.д.	н.д.	+/+	н.д.
Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука	17000	-/-	н.д.	н.д.	+/-
Сырьё и изделия из синтетического каучука	43000	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Окончание табл. 4.2

1	2	3	4	5	6
Склад льноволокна	15700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Склад хлопка в тюках	16700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Склад бумаги в рулонах	15100	н.д.	-/-	н.д.	+/-
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37800	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Склад оргстекла (ППМА)	26400	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)	33500	н.д.	н.д.	-/-	н.д.
Дерево + лаковое покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)	13900	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, искусственная кожа ПВХ) + 0,1* эмаль	31700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, искусственная кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием	16200	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)	20710	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол (0,4+0,3+0,15+0,15)	23540	н.д.	-/-	н.д.	+/-
Индустриальное масло	42700	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Вешалка текстильных изделий	16720	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Отделка: ковролин	15397	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.
Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	14280	+/-	н.д.	н.д.	+/-
Занавес зрительного зала кинотеатра	13800	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.

Примечания:

- - наступает после достижения температуры ее критического значения;
 + - наступает перед достижением температуры ее критического значения;
 н.д. - нет данных по выходу токсичного газа при горении;
 * - в числителе: наличие угрозы от воздействия концентрации токсичного газа в помещении; в знаменателе: наличие опасности от воздействия концентраций токсичного газа в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 3.

Результаты анализа табл. 4.2 представлены в табл. 4.3. Количество ПН означает, что при таком количестве ПН рассматриваемый ОВП (концентрация токсичного газа) наступает перед достижением температуры ее критического значения (но после потери видимости).

Из табл. 4.3 видно, что использование самоспасателей на пожаре необходимо. Выбранный для расчётов самоспасатель «Феникс» № 3 не допустит проникновения паров большинства токсичных газов в подмасочное пространство из загазованной среды помещения.

Анализ данных табл. 4.2

Токсичный газ	Помещение		Подмасочное пространство	
	Количество ПН	Проценты	Количество ПН	Проценты
CO	25	37,31	0	0
HCl	0	0	0	0
HCN	2	2,98	2	2,98
Акролеин	30	44,77	0	0

Для устранения опасности проникновения паров циановодорода в подмасочное пространство, согласно табл. 4.2 и 4.3, в помещениях, где располагается значительное количество одежды м шерсти, можно рекомендовать к использованию самоспасатель «Феникс» № 4, у которого степень защиты от циановодорода выше, чем у изделия № 3.

Таблица 4.4

Оценка опасности образования критических концентраций токсичных газов в помещении и подмасочном пространстве самоспасателя при пожаре с использованием данных приложения 1 [11]

Горючий материал	Q _p [*] , кДж/кг	Токсичные газы*		
		CO ₂	CO	HCl
1	2	3	4	5
Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO)	13800	-/н.д.	-/-	-/-
Мебель + ткани (здание I-II CO (степень огнестойкости))	14700	-/н.д.	-/-	+/-
Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)	13800	-/н.д.	-/-	-/-
Мебель + ткани (здание III-IV CO)	14700	-/н.д.	-/-	+/-
Мебель + ткани (здание I CO (0,75+0,25))	14900	-/н.д.	-/-	0
Мебель + ткани (здание III CO (0,75+0,25))	14900	-/н.д.	-/-	0
Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	-/н.д.	-/-	0
Помещение облицованное панелями ДВП	18100	-/н.д.	-/-	0
Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)	14002	-/н.д.	-/-	0
Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)	26600	-/н.д.	+/-	0
Общественные здания: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)	14000	-/н.д.	-/-	+/-
Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах	14500	-/н.д.	-/-	0
Сценическая часть зрительного зала: древесина	13800	-/н.д.	-/-	0
Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)	23300	-/н.д.	-/-	0
Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё	36000	-/н.д.	-/-	0
Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)	14100	-/н.д.	-/-	-/-

Продолжение табл 4 4

1	2	3	4	5
Выставочный зал, мастерская дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)	14000	-/н.д.	-/-	-/-
Издательства, типографии	15400	-/н.д.	+/-	0
Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка	15800	-/н.д.	-/-	+/-
Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)	14400	-/н.д.	-/-	+/-
Промтовары: текстильные изделия	16700	-/н.д.	-/-	0
Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ	30700	-/н.д.	-/-	+/-
Химическое вещество: толуол	40900	-/н.д.	-/-	0
Химическое вещество: ксилол	41200	-/н.д.	-/-	0
Бензин А-76	43200	-/н.д.	-/-	0
Керосин	43300	-/н.д.	-/-	0
Дизельное топливо: соляр	45400	-/н.д.	-/-	0
Радиоматериалы: полиэтилен, полистирол, полипропил, гетинакс	34800	-/н.д.	-/-	+/-
Электротехнические материалы: текстолит, карболит	20900	-/н.д.	-/-	+/-
Теплоноситель: турбинное масло ТП-22	41900	-/н.д.	-/-	0
Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция	25000	-/н.д.	-/-	+/-
Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен	36400	-/н.д.	-/-	+/-
Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен	34600	-/н.д.	-/-	+/-
Сырье для нефтехимии: нефть	44200	-/н.д.	-/-	0
Химическое вещество: ацетон	29000	-/н.д.	+/-	0
Химическое вещество: этиловый спирт	27500	-/н.д.	+/-	0
Лесопильный цех I-III СО: древесина	13800	-/н.д.	-/-	0
Лесопильный цех IV-V СО: древесина	13800	-/н.д.	-/-	0
Цех деревообработки: древесина	13800	-/н.д.	-/-	0
Цех сушки древесины: древесина	13800	-/н.д.	-/-	0
Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)	16100	-/н.д.	-/-	0
Штабель древесины: хвойный + лиственный лес	13800	-/н.д.	-/-	0
Хвойные древесные материалы: штабель	13800	-/н.д.	-/-	0
Лиственные древесные материалы: штабель	13800	-/н.д.	-/-	0
Клеёные стройматериалы: фанера	18400	-/н.д.	-/-	0
Сырье для легкой промышленности: хлопок	16400	-/н.д.	-/-	0
Сырье для легкой промышленности: лен разрыхленный	15700	-/н.д.	-/-	0
Сырье для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)	15700	-/н.д.	-/-	0

Окончание табл. 4.4

1	2	3	4	5
Сырье для легкой промышленности: шерсть	21800	-/н.д.	-/-	0
Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука	17000	-/-	+/-	0
Сырье и изделия из синтетического каучука	43000	-/н.д.	-/-	-/-
Склад льноволокна	15700	-/н.д.	-/-	0
Склад хлопка в тюках	16700	-/н.д.	-/-	0
Склад бумаги в рулонах	15100	-/н.д.	-/-	0
Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37800	-/н.д.	-/-	0
Склад оргстекла (ППМА)	26400	-/н.д.	-/-	0
Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ)+0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)	33500	-/н.д.	-/-	+/-
Дерево + лаковое покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)	13900	-/н.д.	-/-	-/-
Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, искусственная кожа ПВХ) + 0,1* эмаль	31700	-/н.д.	-/-	+/-
Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, искусственная кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием	16200	-/н.д.	-/-	-/-
Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)	20710	-/н.д.	-/-	+/-
Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол (0,4+0,3+0,15+0,15)	23540	-/н.д.	-/-	-/-
Индустриальное масло	42700	-/н.д.	-/-	0
Вешалка текстильных изделий	16720	-/н.д.	-/-	0
Отделка: ковролин	15397	-/н.д.	+/-	+/-
Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	14280	-/н.д.	-/-	-/-
Занавес зрительного зала кинотеатра	13800	-/н.д.	-/-	0

Примечания

- - наступает после достижения температуры ее критического значения;
- + - наступает перед достижением температуры ее критического значения,
- н.д. - нет данных по выходу токсичного газа при горении;
- 0 - не выделяется при горении;
- * - в числителе: наличие угрозы от воздействия концентрации токсичного газа в помещении; в знаменателе: наличие опасности от воздействия концентраций токсичного газа в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 3;
- самоспасатель «Феникс» № 3 защиту от CO₂ не обеспечивает, т. к. CO₂ не является токсичным газом и требований в [70] по этому токсичному газу не представлено

В табл. 4.5 представлены результаты анализа данных табл. 4.4. Количество ПН означает, что при таком количестве ПН рассматриваемый опасный фактор пожара (концентрация токсичного газа) наступает перед дос-

тижением температуры ее критического значения (но после потери видимости).

Табл 4 5

Анализ данных таблицы 4.4

Токсичный газ	Помещение		Подмасочное пространство	
	Кол-во ПН	Проценты	Кол-во ПН	Проценты
CO ₂	0	0	—	—
CO	6	8,95	0	0
HCl	15	22,39	0	0

В заключение можно отметить, что выбор базы данных ПН оказывает существенное влияние на динамику ОФП, вид и время наступления наиболее опасного ОФП.

4.2. Оценка эффективности применения самоспасателей

Проведем исследование эффективности использования самоспасателей на различных объектах с использованием интегральной математической модели пожара в помещении [8, 9, 11] (пп. 3.2 и 3.3 данной монографии) с целью определения необходимости использования самоспасателей на объектах различного назначения, оснащенных различной ПН.

В качестве исходных данных рассмотрены помещения объемом 108 м³ (6×6×3 м), 500 м³ (12,5×10×4 м) и 1000 м³ (20×10×5 м).

Свойства ПН принимались для CO, CO₂ и HCl по базе данных [11, 23], в случае акролеина и HCN – по работам [33, 34].

Искомыми являются следующие параметры:

- время τ_1 , за которое плотность исследуемого токсичного газа достигнет концентрации аварийного предела воздействия (АПВ) в помещении без использования самоспасателя:

$$\tau_1 = \left[\frac{B}{A} \ln \left(\frac{1}{1 - \frac{\rho_{\text{АПВ}}}{\rho_n}} \right) \right]^{1/n}, \quad (4.4)$$

где ρ_n – пороговая плотность [8, 11]; $\rho_{\text{АПВ}}$ – аварийный предел воздействия, кг/м³: CO, HCl согласно [9], HCN, акролеин – $0,1 \cdot 10^{-4}$ и $0,1 \cdot 10^{-5}$ кг/м³ соответственно;

- время τ_2 , за которое исследуемый газ достигнет концентрации АПВ в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 3; в качестве ρ_2

принимается концентрация токсичного газа, от которой обеспечивает защиту самоспасатель, согласно данным табл. 2.17,

- критическая продолжительность пожара по температуре ($\tau_{\text{кр}}^T$) [11]:

$$\tau_{\text{кр}}^T = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left(\frac{T_{\text{кр}}}{T_0} \right) \right\}^{1/n}; \quad (4.5)$$

- критическая продолжительность пожара по потере видимости ($\tau_{\text{кр}}^{\text{п.в}}$) [11]:

$$\tau_{\text{кр}}^{\text{п.в}} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{\eta \ln(1-\phi) Q_{\text{н}}^{\text{п}}}{C_p \rho_0 T_0 D} \mu_{\text{кр}} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4.6)$$

- критическая продолжительность пожара по пониженному содержанию кислорода ($\tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2}$) [11]:

$$\tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left\{ \frac{B}{A} \ln \left[1 - \frac{BL_1 \eta + \rho_{01}}{V} \right]^{-1} \right\}^{1/n}, \quad (4.7)$$

где L_1 – потребление кислорода при сгорании пожарной нагрузки (кг/кг), ρ_{01} – начальное значение плотности кислорода в помещении [9],

- среднеобъемная температура (T_1) в помещении на момент τ_1 [11],

- среднеобъемная температура (T_2) в помещении на момент τ_2 , определяется по формуле [11]:

$$T_2 = T_0 e^{\frac{A}{B} \tau_2^n} \quad (4.8),$$

За время эффективного применения самоспасателя принимаем разницу по времени между:

- достижением плотности токсичного газа величины АПВ в подмасочном пространстве и достижением плотности токсичного газа в помещении без использования самоспасателя. $\tau_{\text{эф1}} = \tau_2 - \tau_1$ (при условии, что первым ОФП в помещении не наступала ни повышенная температура ($T_{\text{кр}} = 70$ °С), ни пониженная концентрация кислорода ($\tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2}$));

- достижением концентрации токсичного газа в помещении величины АПВ и достижением температурой или пониженной концентрацией кислорода воздуха критических параметров в помещении. $\tau_{\text{эф2}} = \tau_{\text{кр}}^T - \tau_1$ или $\tau_{\text{эф2}} = \tau_{\text{кр}}^{\text{O}_2} - \tau_1$.

При определении времени эффективного использования самоспасателя не учитывалась опасность от потери видимости в дыму. При этом полагаем, что эвакуация может продолжаться спустя ещё некоторое время после снижения видимости в помещении до наступления любого другого ОФП.

Результаты расчётов (среднеобъемные параметры) представлены в виде табл. П2.1-П2.3 приложения 2. Выход по СО и HCl принимался по [11, 23], по акролеину и HCN – по [33, 34] (таблица 2.3 данной монографии).

Анализ табл. П2.1-П2.3 позволяет определить суммарное количество случаев наступления критических значений различных ОФП (из 67 исследуемых ПН):

- СО:

опасность образования в помещении, как первого ОФП – 1 ПН (1,49 %) № 64;
в подмасочном пространстве – 6 ПН (8,95 %) (не первый ОФП), №№ 11, 19, 25, 26, 55, 64;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ – 18 ПН (26,86 %), №№ 1-6, 9, 15, 16, 18, 36, 43, 52-54, 57-59, 65;

- HCl:

опасность образования в помещении, как первого ОФП – 8 ПН (12,94 %), №№ 33, 35, 37-41, 67;
в подмасочном пространстве – 9 ПН (13,43 %) (не первый ОФП), №№ 1-3, 20, 33, 37, 38, 40, 41;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ – 1 ПН (1,49 %), № 18;

- HCN:

опасность образования в помещении, как первого ОФП – 3 ПН (4,47 %), № 15, 22, 54;
в подмасочном пространстве – 8 ПН (11,94 %) (не первый ОФП), №№ 2, 4-6, 15, 18, 22, 54;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ – 8 ПН (11,94 %), №№ 7, 8, 10, 13, 19, 61-63;

- акролеин:

опасность образования в помещении, как первого ОФП – 29 ПН (43,28 %), №№ 1-8, 10, 12-14, 17-21, 42-50, 61-63;
в подмасочном пространстве – 22 ПН (32,83 %) (не первый ОФП), №№ 1-6, 8, 10, 12, 17, 18, 20, 42-50, 63;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ – 0 ПН (0 %);

- повышенная температура: как первый ОФП наступил в 26 ПН (38,8 %), №№ 9, 11, 16, 23-32, 34, 36, 51-53, 55-60, 65, 66.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что в большинстве случаев предельная концентрация монооксида углерода наступает спустя значительный промежуток времени, когда другие ОФП уже достигли своих предельных значений и температура в помещении превышает ее критическое значение.

Следовательно, опасность других токсичных газов недооценена, а нормативная методика прогнозирования динамики ОФП [9] не учитывает их воздействие на человека.

Наиболее опасными, согласно проведенным расчетам, являются циановодород и акролеин, что также подтверждается исследованиями других специалистов (см. гл. 2 данной монографии).

Акролеин достаточно часто достигает предельных концентраций – аварийного предела воздействия в начальной стадии пожара в интервале температур 25-30°C, когда другие ОФП ещё долго не проявляют себя. Кроме того, вероятность наступления критического значения концентрации акролеина, как первого ОФП, очень высока, так как для многих пожарных нагрузок сведения о выделении акролеина при горении отсутствуют.

Из анализа табл. П2.1-П2.3 приложения 2 можно сделать следующие выводы:

- СО:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую пожарную нагрузку составляет ковролин; данная ПН преобладает в офисных и жилых помещениях;

- HCl:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют кабели, радиоматериалы, текстолит, карболит, ПВХ, полиэтилен, ППУ, автомобили; данная ПН свойственна электромастерским, АТС, магазинам по продаже бытовой техники, офисным помещениям с большим количеством оргтехники, складам, автосалонам;

- акролеин:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют мебель+бытовые изделия, мебель+бумага, картон, мебель+ковровое покрытие, линолеум ПВХ, древесина (как отделочный материал, полы), бумажная и полиэтиленовая упаковка; данная ПН свойственна офисным, жилым помещениям, некоторым магазинам, складам, гостиничным номерам и всем объектам, связанным с деревообработкой (например, полный цикл производства мебели);

- HCN:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют мебель+ткани, верхняя одежда, текстильные изделия, шерсть; данная ПН преобладает в жилых, гостиничных и офисных помеще-

ниях, некоторых магазинах, в культурно-массовых учреждениях, складах, предприятиях лёгкой промышленности;

- повышенная температура:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт, ацетон, отделочные материалы из ПВХ, резина и изделия из неё, электротехнические материалы, текстолит, карболит, фанера, хлопок, капрон, лён, оргстекло, вешалки, бензин, керосин, дизельное топливо, индустриальное масло; данная ПН преобладает в офисных помещениях, некоторых магазинах, мастерских, складах, гаражных, аптеках.

В табл. 4.6 представлена сводная информация о токсичных газах, которые выделяются при горении ПН, но не достигают аварийного предела воздействия в течение всего времени развития пожара.

Таблица 4 6

Данные об ОФП, которые выделяются при горении, но не достигают концентраций АПВ

ОФП	№ ПН
СО ($\rho_{\text{АПВ}} = 0,00116 \text{ кг/м}^3$)	1-6, 9, 15, 16, 18, 36, 43, 52-54, 57-59, 65
НСІ ($\rho_{\text{АПВ}} = 0,000023 \text{ кг/м}^3$)	18
Акролеин ($\rho_{\text{АПВ}} = 0,000001 \text{ кг/м}^3$)	-
HCN ($\rho_{\text{АПВ}} = 0,00001 \text{ кг/м}^3$)	7, 8, 10, 13, 61-63

Из табл. 4.6 можно сделать следующие выводы:

- СО:

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в процессе всей продолжительности пожара в помещениях, где находятся мебель+бытовые изделия, ткани, ПВХ, одежда, резина и изделия из неё, краски, провода, кабели, древесина, хлопок, капрон, шерсть, лён, занавес зрительного зала; данная ПН преобладает в жилых, гостиничных и офисных помещениях, специализированных магазинах, культурно-массовых учреждениях, мастерских, складах, предприятиях лёгкой промышленности; можно сделать вывод о том, что производство самоспасателей с высокой степенью защиты от монооксида углерода при этих ПН не имеет смысла;

- HCl:

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в процессе всей продолжительности пожара в помещениях, где находятся дерево, ткани, краски (свойственно мастерским и ателье);

- HCN:

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в процессе всей продолжительности пожара в помещениях, где находятся мебель + бумага + ковровое покрытие, ПВХ, книги, упаковка, картон, полиэтилен – преобладают в офисах, жилых и гостиничных помещениях, библиотеках, архивах, магазинах, складах.

Проведем исследование эффективности самоспасателей в помещениях объёмом 108 м^3 ($6 \times 6 \times 3 \text{ м}$), 500 м^3 ($12,5 \times 10 \times 4 \text{ м}$) и 1000 м^3 ($20 \times 10 \times 5 \text{ м}$), используя формулы (3.7-3.10) (ГОСТ 12.1.004-91* [9]).

Коэффициент Z, учитывающий неравномерность распределения ОФП в объёме помещения, определяется по уравнению (3.11) и, соответственно, равен 1,252; 0,77; 0,54. Высота рабочей зоны принималась равной 1,7 м.

В случае горючих жидкостей (ПН №№ 23-32 приложения 1) принято, что происходит разлив вещества на площади 1 м^2 , на которой и происходит предполагаемое горение. В соответствии с этим, размерный параметр A, учитывающий удельную массовую скорость выгорания горючего материала и площадь пожара, рассчитывался по формуле (3.12).

Выражение (3.10) определяет время критической продолжительности пожара по одному из газообразных продуктов горения. В нашем случае это:

- время τ_1 , за которое плотность исследуемого токсичного газа достигнет концентрации АПВ в помещении без использования самоспасателя; в качестве АПВ принято: монооксид углерода и хлороводород согласно [9], акролеин и циановодород $\rho_{\text{АПВ}} = 0,1 \cdot 10^{-4}$ и $\rho_{\text{АПВ}} = 0,1 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3$ соответственно;

- время τ_2 , за которое исследуемый токсичный газ достигнет концентрации АПВ в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 2, в качестве X принимается концентрация токсичного газа, от которой обеспечивает защиту самоспасатель, согласно данным табл. 2.17 (принимая во внимание результаты расчётов, представленных в табл. 4.2, было принято решение выбрать для последующих расчётов самоспасатель «Феникс» № 2, который ориентирован на повышенную защиту от акролеина и циановодорода, представляющих гораздо более серьезную опасность при пожаре по сравнению с СО. Следовательно, время наступления монооксидом углерода концентраций АПВ в помещении будет равно времени достижения этим газом концентраций АПВ в подмасочном пространстве, т.к. зна-

чение АПВ по СО в помещении [9] равно предельному значению по СО, от которого самоспасатель обеспечивает защиту (см. табл. 2.18));

- среднеобъемная температура T_1 в помещении на момент τ_1 и среднеобъемная температура T_2 в помещении на момент τ_2 , которые определяются по формуле (4.8) [11].

За время эффективного применения самоспасателя принималась разница по времени между:

- достижением плотности токсичного газа величины АПВ в подмасочном пространстве и достижением плотности токсичного газа в помещении без использования самоспасателя: $\tau_{эф1} = \tau_2 - \tau_1$ (при условии, что первыми ОФП в помещении не наступала ни повышенная температура ($\tau_{кр}^T$), ни пониженная концентрация кислорода ($\tau_{кр}^{O_2}$));

- достижением концентрации токсичного газа в помещении величины АВП и достижением температурой или пониженной концентрацией кислорода воздуха критических параметров в помещении: $\tau_{эф2} = \tau_{кр}^T - \tau_1$ или $\tau_{эф2} = \tau_{кр}^{O_2} - \tau_1$.

При определении времени эффективного использования самоспасателя не учитывалась опасность от потери видимости в дыму. При этом полагаем, что эвакуация может продолжаться после достижения величиной видимости в помещении ее критического значения $l_{кр} = 20$ м до наступления любого другого ОФП.

Результаты расчетов представлены в виде табл. П2.4–П2.6 приложения 2. Выход по СО, HCl, акролеину и HCN принимался по [33, 34] (табл. 2.3 данной монографии), остальные данные – по [11, 23].

Анализ таблиц П2.4–П2.6 позволяет определить суммарное количество случаев наступления критических значений различных ОФП (из 67 исследуемых ПН):

для помещения объемом 108 м^3 :

- СО:

наступает, как первый ОФП – 0 ПН (0 %);
в подмасочном пространстве образуется в 25 ПН (37,31 %) (не как первый ОФП), №№ 1–7, 8, 10, 12, 14, 17, 18, 20, 21, 42–50, 63;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 0 ПН (0 %);

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 15;
в подмасочном пространстве образуется в 1 ПН (1,49 %) (не как первый ОФП), № 15;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 7 ПН (10,44 %), №№ 7, 8, 10, 13, 19, 61, 62;

- акролеин:

наступает, как первый ОФП – 30 ПН (44,78 %), №№ 1–8, 10, 12–14, 17–21, 42–50, 55, 61–63;

в подмасочном пространстве образуется в 26 ПН (38,8 %) (не первый ОФП), №№ 1–7, 8, 10, 12–14, 17, 18, 20, 21, 42–50, 61, 63;
выделяется при горении и, согласно расчетов, всегда достигает концентраций АПВ в помещении;

- HCN:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 54;
в подмасочном пространстве образуется в 2 ПН (2,98 %) (не первый ОФП), №№ 15, 55;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 1 ПН (1,49 %), № 12;

- повышенная температура:

наступает, как первый ОФП – 35 ПН (52,2 %), №№ 9, 11, 16, 22–41, 51–53, 56–60, 64–67;

для помещения объемом 500 м^3 :

- СО:

наступает, как первый ОФП – 0 ПН (0 %);
в подмасочном пространстве образуется в 25 ПН (37,31 %) (не первый ОФП), №№ 1–7, 8, 10, 12, 14, 17, 18, 20, 21, 42–50, 63;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 0 ПН (0 %);

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 15,
в подмасочном пространстве образуется в 1 ПН (1,49 %) (не первый ОФП), № 15;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 7 ПН (10,44 %), №№ 7, 8, 10, 13, 19, 61, 62;

- акролеин:

наступает, как первый ОФП – 30 ПН (44,78 %), №№ 1–8, 10, 12–14, 17–21, 42–50, 55, 61–63;
в подмасочном пространстве образуется в 26 ПН (38,8 %) (не первый ОФП), №№ 1–7, 8, 10, 12–14, 17, 18, 20, 21, 42–50, 61, 63;
выделяется при горении и, согласно расчетов, всегда достигает концентраций АПВ в помещении;

- HCN:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 54;
в подмасочном пространстве образуется в 2 ПН (2,98 %) (не первый ОФП), №№ 15, 55;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 6 ПН (8,95 %), №№ 12, 33, 34, 36, 38, 40;

- повышенная температура:
наступает, как первый ОФП – 35 ПН (52,2 %), №№ 9, 11, 16, 22–41, 51–53, 56–60, 64–67;
для помещения объемом 1000 м³:

- СО:

наступает, как первый ОФП - 0 ПН (0 %);
в подмасочном пространстве образуется в 25 ПН (37,31 %) (не первый ОФП), №№ 1–7, 8, 10, 12, 14, 17, 18, 20, 21, 42–50, 63;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 0 ПН (0 %);

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 15;
в подмасочном пространстве образуется в 1 ПН (1,49 %) (не первый ОФП), № 15;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 7 ПН (10,44 %), №№ 7, 8, 10, 13, 19, 61, 62;

- акролеин:

наступает, как первый ОФП – 30 ПН (44,78 %), №№ 1–8, 10, 12–14, 17–21, 42–50, 55, 61–63;
в подмасочном пространстве образуется в 26 ПН (38,8 %) (не как первый ОФП), № 1-7, 8, 10, 12-14, 17, 18, 20, 21, 42-50, 61, 63;
выделяется при горении и, согласно расчетов, всегда достигает концентраций АПВ в помещении;

- HCN:

наступает, как первый ОФП – 1 ПН (1,49 %), № 54;
в подмасочном пространстве образуется в 2 ПН (2,98 %) (не первый ОФП), №№ 15, 55;
выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 8 ПН (11,94 %), №№ 12, 33, 34–38, 40;

- повышенная температура:

наступает, как первый ОФП – 35 ПН (52,2 %), №№ 9, 11, 16, 22–41, 51–53, 56–60, 64–67.

Статистические данные по анализу результатов расчетов представлены в виде табл. 4.7–4.9. Примечания к табл. 4.7–4.9: V – объем помещения; H – высота помещения; Z – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения [9].

Таблица 4 7

Сведения об ОФП, наступающих в первую очередь (после потери видимости) при сгорании пожарной нагрузки в помещениях различного объема

ОФП	$V = 108 \text{ м}^3$ $H = 3 \text{ м}$ $Z = 1,252$		$V = 500 \text{ м}^3$ $H = 4 \text{ м}$ $Z = 0,77$		$V = 1000 \text{ м}^3$ $H = 5 \text{ м}$ $Z = 0,54$	
	Количество ПН	%	Количество ПН	%	Количество ПН	%
СО	0	0	0	0	0	0
HCl	1	1,49	1	1,49	1	1,49
Акролеин	30	44,78	30	44,78	30	44,78
HCN	1	1,49	1	1,49	1	1,49
Температура	35	52,23	35	52,23	35	52,23
Кислород	0	0	0	0	0	0
Потеря видимости	67	100	67	100	67	100

Таблица 4 8

Сведения о токсичных газах, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки, но не достигающих концентраций АПВ в помещениях различного объема

Токсичный газ	$V = 108 \text{ м}^3$ $H = 3 \text{ м}$ $Z = 1,252$		$V = 500 \text{ м}^3$ $H = 4 \text{ м}$ $Z = 0,77$		$V = 1000 \text{ м}^3$ $H = 5 \text{ м}$ $Z = 0,54$	
	Количество ПН	%	Количество ПН	%	Количество ПН	%
СО	0	0	0	0	0	0
HCl	7	10,44	7	10,44	7	10,44
Акролеин	0	0	0	0	0	0
HCN	1	1,49	6	8,95	8	11,94

Таблица 4 9

Сведения о токсичных газах, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки в помещениях различного объёма и достигших концентрации АПВ в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 2

Токсичный газ	V = 108 м ³ H = 3 м Z = 1,252		V = 500 м ³ H = 4 м Z = 0,77		V = 1000 м ³ H = 5 м Z = 0,54	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
CO	25	37,31	25	37,31	25	37,31
HCl	1	1,49	1	1,49	1	1,49
Акролеин	26	38,8	26	38,8	26	38,8
HCN	2	2,98	2	2,98	2	2,98

Из табл. 4.7-4.9 видно, что различия в порядке наступления критических значений отдельных ОФП незначительны (только по HCN).

Результаты расчетов могут существенно измениться при наличии более достоверных данных о выходе токсичных газов при сгорании веществ и материалов.

В результате, можно сделать вывод о том, что опасность представляемая CO, преувеличена, так как в большинстве случаев предельных концентраций монооксид углерода достигает спустя значительный промежуток времени, к которому другие ОФП уже достигли предельных значений, а температура в помещении очень высока. Следовательно, общая картина опасности, представляемой другими токсичными газами недооценена, а нормативная методика прогнозирования ОФП [9] вообще не учитывает эффекты воздействия других токсичных газов, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки.

Наиболее опасными, согласно выполненным расчётам, являются циановодород и акролеин, что также подтверждается исследованиями других специалистов (см. гл. 2 данной монографии). Акролеин достаточно часто достигает предельных концентраций – аварийного предела воздействия в начальной стадии пожара в интервале температур 20 – 30 °С, когда другие ОФП ещё долго не проявляют себя. Кроме того, частота наступления акролеина, как первого ОФП, очень высока, учитывая, что для многих ПН сведения о выделении акролеина при горении отсутствовали.

Из расчётов очевидно, что:

- наибольшую опасность при возникновении пожара представляют акролеин, циановодород и повышенная температура в помещении;
- CO:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют лекарственные препараты, содержащие этиловый спирт, ацетон, ковровые ковры; данная ПН преобладает в аптеках, процедурных кабинетах больниц, хозяйственных и винно-водочных отделах магазинов, офисных и жилых помещениях (ковролин) (необходимо отметить, что время достижения монооксидом углерода АПВ практически равно времени достижения температурой критической отметки; очевидно, что производство всех выпускаемых самоспасателей с большой степенью защиты от CO нецелесообразно); можно рекомендовать к использованию на вышеперечисленных объектах самоспасатель «Феникс» № 3;

- HCl:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют кабели, радиоматериалы, текстолит, карболит, ПВХ, полиэтилен, ППУ; данная ПН свойственна электромастерским, АТС, магазинам по продаже бытовой техники, офисным помещениям с большим количеством оргтехники, складам, гаражам; можно рекомендовать самоспасатели «Феникс» № 1-4;

- акролеин:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют мебель+бытовые изделия, бумага, картон, ковровое покрытие, линолеум ПВХ, древесина; данная ПН свойственна офисным, жилым помещениям, некоторым магазинам, складам, гостиничным номерам и всем объектам, связанным с деревообработкой (например, полный цикл производства мебели); можно рекомендовать к использованию самоспасатели «Феникс» № 1, 2, 4;

- HCN:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют мебель+ткани, одежда, дерево, краски, текстильные изделия, шерсть; данная ПН преобладает в жилых, гостиничных и офисных помещениях, некоторых магазинах, мастерских, в культурно-массовых учреждениях, складах, предприятиях лёгкой промышленности соответственно; можно рекомендовать к использованию самоспасатели «Феникс» № 2-4;

- повышенная температура:

представляет наибольшую опасность, по сравнению с другими ОФП, в помещениях, где преобладающую ПН составляют ПВХ, резина и изделия из неё, электротехнические материалы, текстолит, карболит, фанера, хлопок, капрон, лён, оргстекло, вешалки; данная ПН преобладает в офисных помещениях, некоторых магазинах, мастерских, складах, гардеробных; использование самоспасателей возможно для эвакуации людей из соседних от опасного помещений.

Сведения о ПН, в которых выделяются ниже перечисленные токсичные газы, но не достигают значений АПВ:

- CO:

в помещениях, где находятся мебель + бытовые изделия, мебель + ткани, ПВХ, одежда, резина и изделия из неё, краски, провода, кабели, древесина, хлопок, капрон, шерсть, лён, занавес зрительного зала; данная ПН преобладает в жилых, гостиничных и офисных помещениях, специализированных магазинах, культурно-массовых учреждениях, мастерских, складах, предприятиях лёгкой промышленности;

- HCl:

в помещениях, где находятся дерево, ткани, краски (свойственно мастерским и ателье);

- HCN:

в помещениях, где находятся мебель+бумага+ковровое покрытие, ПВХ, книги, упаковка, картон, полиэтилен – преобладают в офисах, жилых и гостиничных помещениях, библиотеках, архивах, магазинах, складах.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что производство самоспасателей с высокой степенью защиты от монооксида углерода целесообразно только при небольшом количестве типовых ПН и требует предварительного моделирования динамики ОФП на этих объектах.

Результаты расчёта по формулам [9] с использованием данных о выходе токсичных газов (CO, HCl) по [11, 23] представлены в табл. П2.7–2.9 приложения 2.

Анализ табл. П2.7–П2.9 позволяет определить суммарное количество случаев наступления критических значений различных ОФП (из 67 исследуемых ПН):

для помещения объёмом 108 м³:

- CO:

наступает, как первый ОФП – 6 ПН (8,95 %), №№ 11, 19, 25, 26, 55, 64;

в подмасочном пространстве образуется в 53 ПН (79,1 %) (не первый ОФП), №№ 5–14, 17–35, 37–51, 55, 56, 60–64, 66, 67, выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 14 ПН (20,9 %), №№ 1–4, 15, 16, 36, 52–54, 57–59, 65;

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 18 ПН (26,87 %), №№ 1–4, 12, 20, 21, 33–35, 37–41, 63, 67;

в подмасочном пространстве образуется в 13 ПН (19,4 %) (не первый ОФП), №№ 1–4, 20, 33, 37–41, 67; выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 1 ПН (1,49 %), № 18;

- повышенная температура:

наступает, как первый ОФП – 43 ПН (64,18 %), №№ 5–10, 13–18, 22–24, 27–32, 36, 48–54, 56–62, 65, 66; для помещения объёмом 500 м³:

- CO:

наступает, как первый ОФП – 5 ПН (7,46 %), №№ 11, 19, 26, 55, 64;

в подмасочном пространстве образуется в 48 ПН (71,64 %) (не первый ОФП), №№ 7, 8, 10, 12–14, 17, 19–35, 37–42, 44–51, 55, 56, 60–64, 66, 67;

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 19 ПН (28,36 %), №№ 1–6, 9, 15, 16, 18, 36, 43, 52–54, 57–59, 65;

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 17 ПН (25,37 %), №№ 1–4, 12, 20, 21, 33–35, 37–41, 63, 67;

в подмасочном пространстве образуется в 7 ПН (10,45 %) (не первый ОФП), №№ 1, 3, 20, 33, 37, 40, 41;

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 1 ПН (1,49 %), № 18;

- повышенная температура:

наступает, как первый ОФП – 45 ПН (67,16 %), №№ 5–10, 13–18, 22–25, 27–32, 36, 42–54, 56–62, 65, 66; для помещения объёмом 1000 м³:

- CO:

наступает, как первый ОФП – 2 ПН (2,98 %), №№ 19, 64;

в подмасочном пространстве образуется в 38 ПН (56,71 %) (не первый ОФП), №№ 7, 10, 11, 13, 17, 19–35, 37–41, 48, 51, 55, 56, 60–64, 66, 67;

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении в 29 ПН (43,28 %), №№ 1–6, 8, 9, 12, 14–16, 18, 36, 42–47, 49, 50, 52–54, 57–59, 65;

- HCl:

наступает, как первый ОФП – 16 ПН (23,88 %), №№ 11–14, 20, 21, 33–35, 37–41, 63, 67;

в подмасочном пространстве образуется в 6 ПН (8,95 %) (не первый ОФП), №№ 1, 3, 20, 33, 37, 41;

выделяется при горении, но не достигает концентраций АПВ в помещении – 1 ПН (1,49 %), № 18;

- повышенная температура:

наступает, как первый ОФП – 49 ПН (70,15 %), №№ 5–15, 16–18, 22–32, 36, 42–62, 65, 66.

Статистические данные по анализу результатов расчетов представлены в виде табл. 4.10–4.12. Примечания к табл. 4.10–4.12: V – объём помещения; H – высота помещения; Z – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения ОФП по высоте помещения [9].

Таблица 4 10

Сведения об ОФП, наступающих в первую очередь (после потери видимости) при сгорании пожарной нагрузки в помещениях различного объёма

ОФП	$V = 108 \text{ м}^3$, $H = 3 \text{ м}$, $Z = 1,252$		$V = 500 \text{ м}^3$, $H = 4 \text{ м}$, $Z = 0,77$		$V = 1000 \text{ м}^3$, $H = 5 \text{ м}$, $Z = 0,54$	
	Количество ПН	%	Количество ПН	%	Количество ПН	%
СО	6	8,95	4	5,97	2	2,98
HCl	18	26,87	17	25,37	16	23,88
Температура	43	64,18	46	68,65	49	73,13
Кислород	0	0	0	0	0	0
Потеря видимости	0	0	0	0	0	0

Таблица 4 11
Сведения о токсичных газах, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки, но не достигающих концентраций АПВ в помещениях различного объёма

Токсичный газ	$V = 108 \text{ м}^3$, $H = 3 \text{ м}$, $Z = 1,252$		$V = 500 \text{ м}^3$, $H = 4 \text{ м}$, $Z = 0,77$		$V = 1000 \text{ м}^3$, $H = 5 \text{ м}$, $Z = 0,54$	
	Количество ПН	%	Количество ПН	%	Количество ПН	%
СО	14	20,9	19	28,36	29	43,28
HCl	1	1,49	1	1,49	1	1,49

Таблица 4 12
Сведения о токсичных газах, выделяющихся при сгорании пожарной нагрузки в помещениях различного объёма и достигших концентрации АПВ в подмасочном пространстве самоспасателя «Феникс» № 2

Токсичный газ	$V = 108 \text{ м}^3$, $H = 3 \text{ м}$, $Z = 1,252$		$V = 500 \text{ м}^3$, $H = 4 \text{ м}$, $Z = 0,77$		$V = 1000 \text{ м}^3$, $H = 5 \text{ м}$, $Z = 0,54$	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
СО	53	79,1	48	71,64	38	56,72
HCl	13	19,4	7	10,45	6	8,95

Анализируя данные табл. 4.10–4.12, можно отметить, что при увеличении объёма помещения у ряда ПН происходит смена первого ОФП. Например, в помещении объёмом 108 м^3 , в котором находятся лекарственные препараты (этиловый спирт) (ПН № 11 прил. 1), в первую очередь критических значений достигает СО, а в помещении 1000 м^3 с аналогичной пожарной нагрузкой первым ОФП является повышенная температура. Вышесказанное ещё раз подтверждает необходимость и важность прогнозирования ОФП для каждого сценария развития пожара.

Выводы

Опасность, представляемая монооксидом углерода, преувеличена, так как в большинстве случаев предельных концентраций СО достигает спустя значительный промежуток времени, к которому другие ОФП уже достигли предельных значений, а температура в помещении очень высока.

Опасность, представляемая другими токсичными газами недооценена, а нормативная методика прогнозирования ОФП [9] вообще не учитывает эффекты воздействия других токсичных газов, выделяющихся при сгорании ПН.

Наиболее опасными, согласно расчётов, являются акролеин и циановодород, что также подтверждается исследованиями других специалистов [32, 33, 34]. Акролеин достаточно часто достигает предельных концентраций – аварийного предела воздействия в начальной стадии пожара в интервале температур 20 – 30 °С, когда другие ОФП ещё долго не проявляют себя, кроме того, частота случаев наступления акролеина, как первого ОФП, очень высока, учитывая, что для многих ПН сведения о выделении акролеина при горении отсутствовали.

На основании вышеизложенного, необходимо рекомендовать органам сертификации, проводящим испытания веществ на соответствие нормам по токсичности, производить обязательные замеры концентраций акролеина и циановодорода, представляющие наибольшую опасность по сравнению с СО.

Прогнозирование ОФП является важным моментом при проектировании и реконструкции современных зданий и сооружений. Методики, применяемые для расчётов критической продолжительности пожара, должны максимально отражать реальную термогазодинамическую картину пожара.

Ни одна из существующих баз данных по выходу токсичных газов не является оптимальной для полноценного и максимально объективного прогнозирования ОФП, так как одни базы имеют данные о выходе незначительного количества токсичных газов (имеются данные по 3–4 токсичным газам, когда выделяются десятки и больше наименований); другие данные получены при сгорании отдельных предметов, т. е. не учитывают комбинированные ПН.

Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ ГАЗОВ НА ПУТЯХ ЭВАКУАЦИИ ПРИ ПОЖАРЕ В ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Для определения динамики изменения концентраций токсичных компонентов и критической продолжительности пожара по отдельным опасным факторам пожара были проведены расчеты динамики опасных факторов пожара в основных помещениях с массовым пребыванием людей (торговые залы, атриумы, автостоянки и т. д.) различных существующих и проектируемых многофункциональных зданий с помощью нормативных и современных методов расчета, приведенных в гл. 3 данной работы.

Краткие характеристики рассматриваемых объектов, геометрические размеры основных помещений и свойства находящихся в помещениях горючих материалов представлены в табл. 5.1.

Вид и способ размещения материалов пожарной нагрузки носят случайный характер. Поэтому расчет необходимого времени эвакуации людей следует производить для максимальных значений показателей пожарной опасности.

Свойства типовой ПН определялись по типовой базе ПН [11, 23] (приложение 1 монографии).

Принимаем, что системы пожаротушения, механической вентиляции и дымоудаления отключены (свободное развитие пожара в соответствии с [9]).

Начальные условия задавались следующими:

- температура в помещении $T_0 = 293 \text{ K}$;
- давление в помещении (равно атмосферному) $p = 101300 \text{ Па}$.

Величины ОФП рассматривались на уровне рабочей зоны, отстоящей от пола на высоту 1,7 м, т. е. средний уровень органов дыхания человека.

Расчеты критической продолжительности пожара по отдельным ОФП и необходимого времени эвакуации из зальных помещений проводились с помощью приведенных в п. 3.2 формул ГОСТ 12.1.004-91, из коридоров – по интегральной модели (п. 3.3). Применение этих методов расчета для определения необходимого времени эвакуации людей из помещений и коридоров этажей зданий разрешено нормативными документами [9].

При высоте помещений, большей максимальной высоты (равной 6 м [9], при которой допускается использовать интегральную модель и формулы ГОСТ 12.1.004-91*), критическая продолжительность пожара по отдельным ОФП и необходимое время эвакуации определялись по зонной (п. 3.4) и полевой (п. 3.1) моделям расчета динамики ОФП.

Таблица 5 1

Характеристики многофункциональных зданий с массовым пребыванием людей

№	Название, адрес и краткая характеристика здания	Наименование основных помещений, горючий материал	Размеры (площадь пола (м ²) × высота (м))	Свободный объем, м ³
1	2	3	4	5
1	Многофункциональный торговый комплекс (серия «Линия», корпорация ГРИНН); г. Воронеж, Бульвар Победы, д 38, протяженность здания по главному фасаду составляет по длине 108 м, по ширине – 84 м; торговый комплекс состоит из одного этажа и антресоли и двухэтажной административной пристройки	Торговый зал в осях 1–15/А–Ж; здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	4830,7×6,9	26665
		Предкассовая зона в осях 2–15/А/1–Б; здание I–II степени огнестойкости, мебель + ткани	482,65×3,38	1305
2	Торгово-развлекательный комплекс, г Саратов, Кировский район, ул. Астраханская, размеры в плане 189,7×111,4 м; основная часть здания двухэтажная; комплекс кинотеатров расположен на третьем этаже, подвал расположен под всем зданием	Подземная автостоянка на отметке - 3 750 в осях 1–7/ Б/В–И; автомобиль; бензин	2533×3,3	6687
		Магазин «Мини-якорь» на отметке 0 000 в осях 16-19/ Д/Е–Л; здание I–II ст огнестойкости; мебель + ткани	1107,9×5,5	4875
		Атриум на отметке 0.000 в осях 1–18/ И–С; здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	2564,9×5,5	11286
		Атриум на отметке +6.000 в осях 1–18/ И–С, здание I–II ст. огнестойкости; мебель + ткани	2757×6,0	13234
		Кинозал на отметке +12 600 в осях 5–7/ Е–И, здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	356,8×9,6	2740

Продолжение табл. 5 1

1	2	3	4	5
3	Международный терминал Шереметьево-1	Зал прилета/вылета на отметке 0.000 в осях 1–22 и А–D (входит в состав атриума), здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	2785×13,89*	–
		Атриум зала прилета/вылета на отметке +3 520 в осях 1–21/А–D, здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	2304×13,89*	–
		Атриум зала прилета/вылета на отметке +7.040 в осях 1–21/А–D; здание I–II степени огнестойкости; мебель + ткани	2304×13,89*	–
4	Многофункциональный производственно-складской комплекс; Московская область, г Щелково, протяженность здания составляет по длине 102 м, по ширине – 96 м, здание состоит из одного этажа, высота этажа до низа ферм равна 10,15–10,45 м и до верха ферм – 12,4 м, максимальная высота здания составляет 13,2 м	Атриум зала прилета/вылета на отметке +10.880 в осях 1–23/А–D, здание I–II степени огнестойкости, мебель + ткани	2534×13,89*	–
		Склад стеллажного хранения на отметке 0 000 в осях 1–18/А–D, штабель древесины, дерево + лаковое покрытие 0,95 древесины + 0,05 (ФЛ+РХО)	8990×6,0	30592

Окончание табл. 5.1

1	2	3	4	5
5	Гостиничный комплекс; г. Екатеринбург, Верх-Исетский район; состоит из 20 уровней надземных этажей и подземного паркинга; высота 1-го и 4-19 этажей составляет 3,6 м, 2-го этажа – 6,0 м, 3-го этажа – 5,6 м	Коридор 6.1-36-001; здание I-II степени огнестойкости, мебель + ткани (в номере) на отметке 0.000	151,33×3,6	435,8
		Чайный салон 2.1-1-002 – 2.1-5-002 на отметке +4.000; мебель + ткани		
		Тематический ресторан 2.2-1-003, 2.2-2-003, 2.2-3-003 на отметке +12.000; мебель + ткани	355,62×5,6	1593,2
6	Комплекс придорожного обслуживания в дер. Барвиха	Зрительный кинозал; сценическая часть зрительного зала; древесина	814×21	13675
7	Склад; размеры 24×17×2,7 м	Помещение склада, бакалея; упаковка: бумага + картон + полиэтилен, - стирол) (0,4+0,3+0,15+0,15)	132×2,7	285,1
		Коридор, примыкающий к помещению склада	116×2,7	250,6
8	Государственный Академический Мариинский театр; г. Санкт-Петербург, Адмиралтейский район, ул. Декабристов, д.34, лит А	Атриум с 4-го по 10-й уровень; здание I-II степени огнестойкости; мебель + ткани	750×43*	–

Примечание

* - суммарная высота атриума

Критические времена по достижению величинами различных ОФП их критических значений для людей на уровне рабочей зоны основных помещений многофункциональных зданий приведены в табл. 5.2. Прочерки означают, что эти ОФП за рассматриваемое время пожара не достигали критического значения. Расчеты показали, что критическим ОФП во всех помещениях зданий является потеря видимости.

Необходимые времена эвакуации людей из основных помещений многофункциональных зданий равны 80 % от величин критических продолжительностей пожара (формула (3.16)) и представлены в табл. 5.3.

Динамика ОФП и характерные поля газодинамических параметров в различные моменты времени от начала пожара для рассматриваемых зданий и сооружений представлены в приложении 3 данного отчета. Соответствие номеров рисунков в приложении 3 объектам приведено в табл. 5.2.

Координаты x , y , z на рисунках в приложении 3 направлены вдоль длины, ширины и высоты помещений соответственно. Значения температур даны в градусах Цельсия, оптической плотности дыма в Нп/м, дальности видимости в м, скорости в м/с.

Во всех рассмотренных в табл. 5.1–5.3 примерах развития пожара условие безопасной эвакуации людей выполнялось, т.е. расчетное время эвакуации, определяемое в соответствии с ГОСТ 12.1.004–91, было меньше необходимого времени эвакуации (табл. 5.3).

Таблица 5 2

Критические времена по достижению ОФП величины их критических значений для основных помещений многофункциональных зданий людей на уровнях рабочей зоны

№	Наименование основных помещений (номера рисунков в приложении 3, показывающих динамику ОФП и характерные поля ОФП в различные моменты времени от начала пожара)		Критическая продолжительность пожара (в сек.)				
			по потере видимости	по повышенной температуре	по пониженному содержанию O ₂	по повышенному содержанию CO	по повышенному содержанию CO ₂
1	2		3	4	5	6	7
1	Торговый зал в осях 1-15/А-Ж (рис ПЗ 1-ПЗ 9)	пол 0 00	670 ^П 610 ³	743 ^П 610 ³	-	-	-
		антресоль +3 78	238 ^П 239 ³	409 ^П 594 ³	-	-	-
		антресоль +3 28	245 ^П 280 ³	417 ^П 594 ³	-	-	-
	Предкассовая зона в осях 2-15/А/1-Б		107	170	184	---	---
2	Подземная автостоянка на отметке - 3 750 в осях 1-7/Б/В-И		116,6 ^А 114,0 ^{Б3}	250,7 ^А 114,0 ^{Б3}	339,3 ^А -	440,6 ^А -	- -
	Магазин «Мини-якорь» на отметке 0 000 в осях 16-19/Д/Е-Л		215,3	321,5	486,4	-	-
	Атриум на отметке 0 000 в осях 1-18/И-С (рис ПЗ 10-ПЗ 14)		412,2 ³² 738,0 ³¹ 515,0 ^П	412,2 ³² 738,0 ³¹ -	- - -	- - -	- - -

Продолжение табл 5 2

1	2	3	4	5	6	7
2	Атриум на отметке +6 000 в осях 1-18/И-С (рис ПЗ 10-ПЗ 14)	313,4 253,8 ³² 501,0 ³¹ 336,0 ^П	465,4 253,8 ³² 501,0 ³¹ -	721,7 - - -	- - - -	- - - -
	Кинозал на отметке +12 600 в осях 5-7/Е-И	178,2 ³	-	-	-	-
3	Зал прилета/вылета на отметке 0 000 в осях 1-22/А-D (входит в состав атриума) (рис ПЗ 15-ПЗ 17)	414 ³ 415 ^П	- -	- -	- -	- -
	Атриум зала прилета/вылета на отметке +3 520 в осях 1-21/А-D (рис ПЗ 15-ПЗ 17)	328 ³ 367 ^П	- -	- -	- -	- -
	Атриум зала прилета/вылета на отметке +7 040 в осях 1-21/А-D (рис ПЗ 15-ПЗ 17)	242 ³ 235 ^П	- 351 ^П	- -	- -	- -
	Атриум зала прилета/вылета на отметке +10 880 в осях 1-23/А-D (рис ПЗ 15-ПЗ 17)	188 ³ 108 ^П	- 209 ^П	- -	- -	- -
4	Склад стеллажного хранения на отметке 0 000 в осях 1-18/А-D	штабель древесины	196 199 ^И 282 ³	280 269 ^И 282 ³	324 310 ^И -	- - -
		дерево + лаковое покрытие 0,95 древесины + 0,05 (ФЛ+РХО)	311	450	521	-

1	2	3	4	5	6	7
5	Коридор 6.1-36-001 на отметке 0.000	122,4	216,0	261,5	—	—
	Чайный салон 2 1-1-002 – 2 1-5-002 на отметке +4 000	156,1	265,9	359,5	—	—
	Тематический ресторан 2.2-1-003, 2.2-2-003, 2.2-3-003 на отметке +12.000	149,6	256,4	339,3	—	—
6	Зрительный кинозал (рис. ПЗ.18)	380 ^П	430 ^П	—	—	—
7	Помещение склада, бакалея	81 ^П	155 ^П	185 ^П	194 ^П	—
	Коридор, примыкающий к помещению склада (рис ПЗ 19)	150 ^П	175 ^П	—	—	—
8	Атриум с 4-го по 10-й уровень	285 ^П	—	—	—	—
	Банкетный зал (8-й уровень)	—	—	—	—	—
	Закрытая смотровая площадка (10-й уровень)	132 ^П	235 ^П	—	—	—

Примечания:

^И – расчет по интегральной модели (п. 3.3),

³ – расчет по зонной модели (п. 3.4);

³¹ – расчет по зонной модели (п. 3.4): конвективная колонка высотой до перекрытия 1-го этажа;

³² – расчет по зонной модели (п. 3.4). конвективная колонка высотой до перекрытия 2-го этажа;

^П – расчет по полевой модели (п. 3 1);

без сноски – по формулам ГОСТ 12 1.004–91* (п 3 2);

^А – пожарная нагрузка автомобиль;

^Б – пожарная нагрузка бензин;

прочерк в графе означает, что данный ОФП не наступил.

Необходимое время эвакуации из основных помещений многофункциональных зданий

№	Наименование основных помещений	Необходимое время эвакуации, $\tau_{\text{эв}}, \text{с}$	
1	2	3	
1	Торговый зал в осях 1–15/А–Ж	пол 0 00	536 ^П 488 ³
		Антресоль +3 78	190 ^П 191 ³
		Антресоль +3.28	196 ^П 224 ³
	Предкассовая зона в осях 2–15/А/1–Б	86	
	Подземная автостоянка на отметке -3.750 в осях 1–7/Б/В–И	93,3 ^А 91,2 ^{Б3}	
2	Магазин «Мини-якорь» на отметке 0.000 в осях 16–19/Д/Е–Л		172,2
		Атриум на отметке 0 000 в осях 1–18/И–С	329,8 ³² 590,4 ³¹ 412,0 ^П
		Атриум на отметке +6 000 в осях 1–18/И–С	250,7 203,4 ³² 400,8 ³¹ 268,8 ^П
	Кинозал на отметке +12.600 в осях 5–7/Е–И	142,5 ³	
3	Зал прилета/вылета на отметке 0.000 в осях 1–22/А–D (входит в состав атриума)		331 ³ 332 ^П
		Атриум зала прилета/вылета на отметке +3 520 в осях 1–21/А–D	263 ³ 294 ^П

Окончание табл. 5.3

1	2		3
3	Атриум зала прилета/вылета на отметке +7.040 в осях 1-21/A-D		193 ³ 188 ^П
	Атриум зала прилета/вылета на отметке +10 880 в осях 1-23/A-D		150 ³ 86 ^П
4	Склад стеллажного хранения на отметке 0 000 в осях 1-18/A-D	штабель древесины	157 159 ^И 226 ³
		дерево + лаковое покрытие 0,95 древесина + 0,05 (ФЛ+РХО)	249
5	Коридор 6 1-36-001 на отметке 0.000		97,9
	Чайный салон 2.1-1-002 - 2 1-5-002 на отметке +4.000		124,9
	Тематический ресторан 2.2-1-003, 2.2-2-003, 2.2-3-003 на отметке +12.000		119,7
6	Зрительный кинозал		304 ^П
7	Помещение склада, бакалея		64,8 ^П
	Коридор, примыкающий к помещению склада		120 ^П
8	Атриум с 4-го по 10-й уровень	Банкетный зал (8-й уровень)	228 ^П
		Закрывающая смотровая площадка (10-й уровень)	106 ^П

Примечания:^И - расчет по интегральной модели (п. 3.3);³ - расчет по зонной модели (п. 3.4);³¹ - расчет по зонной модели (п. 3.4): конвективная колонка высотой до перекрытия 1-го этажа;³² - расчет по зонной модели (п. 3.4): конвективная колонка высотой до перекрытия 2-го этажа;^П - расчет по полевой модели (п. 3.1);

без сноски - по формулам ГОСТ 12 1.004-91* (п. 3.2);

^А - пожарная нагрузка - автомобиль;^Б - пожарная нагрузка - бензин.

Анализ результатов численных экспериментов (табл. 5.2 и 5.3, рис. в приложении 3, табл. ПЗ.1 в приложении 3) показывает, что в зданиях и сооружениях различного назначения критическая для человека без индивидуальных средств защиты массовая концентрация монооксида углерода, равная 0,00116 кг/м³, не наступила за рассматриваемое время от начала пожара при следующих видах горючих материалов:

- здание I-II степени огнестойкости (мебель + ткани);
- бензин;
- сценическая часть зрительного зала (древесина);
- штабель древесины;
- дерево + лаковое покрытие 0,95 древесина + 0,05 (ФЛ+РХО);
- промышленные товары: при пожаре на первом этаже (пример двухсветного атриума, находящегося в центре трехэтажного торгового и культурно-развлекательного центра в г. Новосибирск (см. приложение 3, табл. ПЗ.1)).

В то же время критическая продолжительность пожара по монооксиду углерода наступала позже критической продолжительности по температуре:

- автомобиль: на 189,9 с (3,17 мин);
- упаковка: бумага + картон + полиэтилен; -стирол) (0,4+0,3+0,15+0,15): на 39 с (0,65 мин);
- промышленные товары: при пожаре на третьем этаже: на втором этаже наступила позже на 27-28 с (0,45 мин) и на третьем этаже - на 145-168 с (2,42-2,8 мин) (пример двухсветного атриума, находящегося в центре трехэтажного торгового и культурно-развлекательного центра в г. Новосибирск (см. приложение 3, табл. ПЗ.1)).

Время защитного действия портативных фильтрующих самоспасателей от начала пожара до достижения температурой ее критического значения на высоте рабочей зоны (эффективность самоспасателей) составляла (табл. 5.2 и 5.3, рис. в приложении 3, табл. ПЗ.1 в приложении 3):

- здание I-II степени огнестойкости (мебель + ткани): $\tau_{эф} = 209-743$ с (3,48-12,38 мин);
- автомобиль: $\tau_{эф} = 250,7$ с (4,18 мин);
- бензин: $\tau_{эф} = 114$ с (1,9 мин);
- сценическая часть зрительного зала (древесина): $\tau_{эф} = 430$ с (7,17 мин);
- штабель древесины: $\tau_{эф} = 269$ с (4,48 мин);
- упаковка: бумага+картон+полиэтилен; -стирол) (0,4+0,3+0,15+0,15): $\tau_{эф} = 155$ с (2,58 мин);
- промышленные товары: $\tau_{эф} = 393-950$ с (6,55-15,83 мин).

Глава 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПОРТАТИВНЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ «ФЕНИКС» ПРИ ЭВАКУАЦИИ НА ПОЖАРАХ

Самоспасатель «Феникс» № 1 согласно табл. 2.17 ориентирован на повышенную степень защиты от циклогексана, акролеина и аммиака. Таким образом, целесообразно его рекомендовать к использованию в помещениях, в которых достигать критических концентраций при пожаре в первую очередь будет один из выше перечисленных токсичных газов. Согласно расчётам, выполненным в гл. 4, в помещениях, в которых находятся мебель+бытовые изделия, мебель+бумага+ковровое покрытие, линолеум ПВХ, упаковка, древесина и её производные, – первым будет достигать критического значения акролеин, в то время как циановодород и монооксид углерода при горении выделяются, но не достигают критических концентраций.

Не рекомендуется использование самоспасателя «Феникс» № 1 в помещениях, в которых преобладающую пожарную нагрузку составляют мебель+ткани, одежда, хлопок, шерсть, мука, так как горение этих материалов сопровождается выделением значительных концентраций циановодорода.

Самоспасатель «Феникс» № 2 – повышенная степень защиты от циклогексана, акролеина, сероводорода. Рекомендуется использовать в помещениях с условиями как для самоспасателя № 1: мебель+бытовые изделия, мебель+бумага+ковровое покрытие, линолеум ПВХ, упаковка, древесина и её производные.

Самоспасатель «Феникс» № 3 – повышенная степень защиты от монооксида углерода. Рекомендуется использовать в помещениях с наличием в них химических веществ. Согласно расчёту, СО выделяется при горении практически всех веществ и материалов, но во многих случаях не достигает опасных для жизни и здоровья концентраций, либо достигает спустя значительный промежуток времени. Следовательно, при внедрении на объекте этого самоспасателя важно учитывать имеющуюся в помещениях пожарную нагрузку.

Самоспасатель «Феникс» № 4 – рекомендации аналогичны рекомендациям для самоспасателей № 1 и № 2.

Использование самоспасателей «Феникс», как и любых других портативных фильтрующих самоспасателей, неэффективно в помещениях, в которых первым ОФП, достигающим своего предельного значения, является высокая температура. В таких помещениях преобладает следующая ПН: облицовка ПВХ, текстолит, карболит, вешалки, фанера, хлопок, резинотехнические изделия, провода, кабели, капрон, каучук, лён, органическое

стекло, лекарственные препараты, бензин, керосин, толуол, ксилол, дизельное топливо, нефть, турбинное и промышленное масла.

Таким образом, для эффективного использования самоспасателей при пожаре целесообразно производить прогнозирование ОФП для каждого объекта.

Для использования самоспасателей необходимо иметь точную информацию, какие именно токсичные газы в данном помещении будут выделяться при горении. При отсутствии такой информации не исключены случаи, когда при пожаре в помещении будут обращаться токсичные газы, от которых самоспасатель защиту не обеспечивает.

Целесообразно производить разработку рекомендаций по применению самоспасателей для конкретного объекта. Отсутствие таких рекомендаций в некоторых случаях может повлечь за собой:

а) закупку на объект самоспасателей, где их применение на пожаре не обеспечивает защиту от ОФП;

б) отравление или другой вред здоровью эвакуирующихся людей в связи с тем, что ОФП в начальной стадии значительно превосходят параметры защиты самоспасателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Существующие нормативные методы расчета динамики ОФП (необходимого времени эвакуации людей) (ГОСТ 12.1.004-91*, ГОСТ Р 12.3.047-98) и база данных параметров ПН для жилых и нежилых помещений гражданских зданий [11, 23] не учитывают реальные параметры возникновения, распространения и развития пожара, теплофизические и химические свойства конкретных горючих материалов и теплофизические свойства материала строительных конструкций.

Многолетний опыт использования авторами вышеуказанной базы данных и применения нормативных методов расчета в случае пожарнотехнических экспертиз объемно-планировочных решений зданий, необходимых для разработки технических условий пожарной безопасности, показал, что это может привести к неправильному определению (завышению) критической продолжительности пожара по ОФП (в частности, по концентрациям токсичных газов) в 20-75 % ПН (в зависимости от геометрии и размеров помещений), что на практике повышает риск гибели людей.

Современные методы расчета тепломассообмена широко используются при решении практических задач пожаровзрывобезопасности и должны лечь в основу разработки технических регламентов пожарной безопасности.

Результаты расчетов с использованием современных методов [6-8, 10, 78-91] послужили обоснованием технических условий пожарной безопасности ряда объектов промышленного и культурно-бытового назначения: многофункциональный высотный жилой комплекс «Вертикаль» (городская программа «Новое кольцо г. Москвы») (г. Москва), гипермаркет «Карусель» (г. Санкт-Петербург), торгово-развлекательный центр «Серебряный город» (г. Иваново), международный терминал Шереметьево-1, ЗАО «Ижорский трубный завод» (г. Санкт-Петербург), многофункциональные торговые комплексы «Линия» (гг. Курск, Железногорск, Орел, Липецк, Грязи, Воронеж), техцентр обслуживания автомобилей (г. Москва), вторая сцена Государственного Академического Мариинского театра (г. Санкт-Петербург), Орловский тоннель (г. Санкт-Петербург) и др.

Это позволило разработать оптимальные варианты противопожарной защиты с учетом обеспечения эффективности и приоритетности мероприятий по обеспечению безопасности людей при пожаре, техникоэкономической целесообразности мероприятий, возможности доступа пожарных подразделений к очагу пожара и подачи средств пожаротушения.

База данных индивидуальных веществ и комбинированных ПН [11, 23], в результате анализа литературных источников (в частности, [33, 34]), расширена по выходу акролеина и синильной кислоты, что позволило

уточнить и расширить существующие представления об очередности наступления критических значений ОФП при пожаре в помещении.

Показано, что данные по выходу монооксида углерода и его концентрационным полям, приведенные в литературе, имеют существенные расхождения в количественном отношении (например, между работами [11] и [33]). Необходимо дальнейшее развитие теоретических моделей и более обоснованный подход к выбору параметров экспериментальных установок, методик проведения экспериментов и измерительных приборов.

В монографии исследована очередность наступления критических значений ОФП в помещениях для всех приведенных в базе данных горючих материалов с использованием всех типов математических моделей расчета динамики ОФП при пожаре (аналитическое решение интегральной модели, интегральная, зонная и полевая модели).

Результаты численных экспериментов показали определяющее влияние ОФП (таких как акролеин и синильная кислота), не учтенных в нормативных документах. Полученные данные существенно меняют современные представления об опасности токсичных газов во время эвакуации людей.

Проведенный анализ отечественных и зарубежных статистических данных по составу и уровням концентраций продуктов горения на путях эвакуации при пожарах в объектах различного назначения, воздействию монооксида углерода на человека, а также результаты расчета динамики изменения концентраций продуктов горения (в первую очередь монооксида углерода) по современным полевой и зонной моделям и нормативному методу расчета (ГОСТ 12.1.004-91*) показали эффективность использования портативных фильтрующих самоспасателей для спасения жизни и здоровья людей при эвакуации на пожарах в зданиях и сооружениях.

Защитное действие портативных фильтрующих самоспасателей по опасным факторам пожара (в том числе по неучтенному фактору в ГОСТ 12.1.004-91 - наличие мелкодисперсных твердых частиц дыма, вдыхание которых может привести к потере ориентации, сознания и последующего удушья) в рассмотренных типовых объектах при типовых пожарных нагрузках составляло от 1,9 мин до 15,83 мин.

В большинстве типовых объектов при типовых ПН использование портативных фильтрующих самоспасателей (в том числе без дополнительной защиты от монооксида углерода) является эффективным для спасения жизни и здоровья людей.

Проведенное исследование показало, что производство самоспасателей с высокой степенью защиты от монооксида углерода целесообразно только в ограниченном числе типовых ПН и типовых помещений.

Однако необходимо проводить предварительные оценки эффективности вышеуказанных самоспасателей на основе математических моделей расчета динамики ОФП для конкретных объектов с учетом их объемно-планировочных решений.

Таким образом, действующие нормативные документы не в состоянии обеспечить приемлемый уровень безопасности людей при расчете необходимого времени эвакуации и определении характеристик самоспасателей и требуют существенной переработки с учетом современных методов расчета динамики ОФП и новых экспериментальных данных по выходу токсичных ПГ.

Литература

1. Патанкар С Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.
2. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987. - 840 с.
3. Оцисик М. Н. Сложный теплообмен. - М.: Мир, 1976. - 616 с.
4. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков. - М.: Стройиздат, 1986. - 370 с.
5. Методические указания к выполнению курсовой работы по прогнозированию опасных факторов пожара в помещении / Ю. Г. Абросимов, В. В. Андреев, Ю. С. Зотов, Ю. А. Кошмаров, С. В. Пузач, Р. Н. Рамазанов. - М.: МИПБ МВД РФ, 1997. - 65 с.
6. Пузач С. В. Трехмерное математическое моделирование начальной стадии пожара в помещении // Инженерно-физический журнал. - 2000. - Т. 73, № 3. - С. 621-626.
7. Пузач С. В. Математическое моделирование тепломассообмена при решении задач пожаровзрывобезопасности. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. - 150 с.
8. Пузач С. В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. - 336 с.
9. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. - М.: Госстандарт России, 1992. - 78 с.
10. Пузач С. В. Особенности тепломассообмена при горении жидкой горючей нагрузки в помещении с открытым проемом // Инженерно-физический журнал. - 1999. - Т. 72, № 5. - С. 1025-1032.
11. Кошмаров Ю. А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. Учебное пособие. - М.: Академия ГПС МВД России, 2000. - 118 с.
12. Кошмаров Ю. А., Башкирцев М. П. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1987. - 414 с.
13. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена. - М.: Атомиздат, 1979. - 416 с.
14. Справочник инженера-строителя. Часть 1. - М., 1965. - 237 с.
15. Яковлев А. Я. Расчет огнестойкости строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1988. - 143 с.
16. Болдырев А. С. и др. Строительные материалы: Справочник / Под ред. А. С. Болдырева. - М.: Стройиздат, 1989. - 567 с.
17. Абдурагимов И. М., Говоров В. Ю., Макаров В. Е. Физико-химические основы развития и тушения пожаров. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. - 256 с.
18. Ройтман М. Я. Пожарная профилактика в строительном деле. - М.: Стройиздат, 1985. - 590 с.
19. НПБ 201-96. Пожарная охрана предприятий. Общие требования.
20. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. - М.: Стройиздат, 1987. - 288 с.
21. Повзик Я. С. Справочник руководителя тушения пожара. - М.: ЗАО «Спецтехника», 2000. - 361 с.
22. Повзик Я. С. Пожарная тактика. - М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. - 480 с.
23. Автоматизированная информационная система по требованиям пожарной безопасности в строительстве «Экспертиза». - М.: ВНИИПО, 2003.
24. СНиП 2.08.02-89*. Общественные здания и сооружения.

25. СНиП 21-01-97*. Пожарная безопасность зданий и сооружений.
26. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
27. Федеральный закон «О техническом регулировании» (собрание законодательства Российской Федерации, 2002, № 52 (ч.1) ст.5140).
28. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть первая. Официальное издание. – М.: Юридическая литература, 1994.
29. МДС 21-1.98. Предотвращение распространения пожара (пособие к СНиП 21-01-97*).
30. СНиП 31-03-2001. Производственные здания.
31. Тараненко Н. А., Дорогова В. Б., Колычева И. В., Верзунов В. А. Оценка химического фактора при пожарах // Гигиена и санитария. – 2004. – № 1. – С. 37–39.
32. Трейтмен Р. Д., Бёргесс В. А., Голд А. Примеси вредных веществ в воздухе, с которыми встречаются пожарные // Департамент научных исследований окружающей среды и здоровья. Гарвардская школа общественного здоровья. Бостон, МА 02115.
33. Исаева Л. К. Пожары и окружающая среда. – М.: Калан, 2001. – 222 с.
34. Исаева Л. К. Экологические последствия пожаров. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: АГПС МВД России, 2001. – 107 с.
35. Молчадский И. С. Пожар в помещении. – М.: ВНИИПО 2005. – 456 с.
36. Иличкин В. С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. – М.: Химия, 1993. – 136 с.
37. Вредные вещества в окружающей среде. Элементы I-IV групп периодической системы и их неорганические соединения: Справ.-энц. изд. / Под ред. В. А. Филова. – СПб.: НПО «Профессионал», 2005. – 462 с.
38. Матвиенко Н. Н., Потапников П. Ф., Фёдоров Н. П. и др. Фильтрующие самоспасатели и защита от монооксида углерода // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, №5. – С. 48–51.
39. Treitman R. D. // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1980. – V. 41, № 11. – P. 796–802.
40. Sumi K, Tsuchiya Y. // Proc. Int Symposium on Flammabil. and Fire Retardants. – Toronto: Westport, 1977. – P. 241–248.
41. Вредные вещества в промышленности: Справочник для химиков, инженеров и врачей. Изд. 7-е в 3-х т. – Л.: Химия, 1977.
42. Kimmerle G. // Smoke and Combustion Products, Prod. Combust. Westport, Conn. – 1976. – P. 236–283.
43. Smith S. R. // Fire Eng. J. – 1985. – V. 8, № 11. – P. 1–2.
44. Данишевский С. Л., Комарова Е. Н. // Токсикология высокомолекулярных соединений и химического сырья, используемого для их синтеза: Материалы науч. конф. – М.: Химия, 1996. – С. 119–132.
45. Измеров Н. Ф., Санюцкий И. В., Сидоров Н. Н. Параметры токсиметрии промышленных ядов при однократном воздействии. – М.: Медицина, 1977. – 240 с.
46. Fire F. L. // Fire Eng. J. – 1989. – V. 142, № 5. – P. 69–72.
47. Morikawa T. // J. Fire Sci. – 1984. – V. 2, № 2. – P. 142–152.
48. Amer. City and Country. – 1978. – V. 93, № 9. – P. 14–18.
49. Fire. – 1978. – V. 71, № 878. – P. 135–139.
50. Rion J. G. // Rev. Techn. Feu. – 1978. – V. 20, № 183. – P. 25–53.

51. Щеглов П. П. Продукты разложения и горения полимеров при пожаре. – М.: ВИПТШ, 1981. – 70 с.
52. Тунов Л. А., Кустов В. В. Токсикология окиси углерода. – М.: Медицина, 1980. – 288 с.
53. Barrow C. S., Alarie Y., Warrick J., Stock M. F. // Arch. Environ. Health. – 1977. – V. 32. – P. 68–73.
54. Кустов В. В., Тунов Л. А., Васильев Г. А. Комбинированное действие промышленных ядов. – М.: Медицина, 1975. – 256 с.
55. Sakurai T. // J. Fire Sci. – 1988. – V. 7, № 1. – P. 22–27.
56. Nunez J. T., De Saghan K., Autian T. // Smoke and Combust. Prod., Combust. Westport, Conn., 1976. – P. 357–370.
57. Einhorn J. T., Grunnet M. J. // Fire Res. – 1978. – V. 50, № 3. – P. 143–169.
58. Dressler D. P. // Trauma J. – 1979. – V. 19, № 11. – P. 913–915.
59. Чарный М. А. Патофизиология гипоксических состояний. – М.: Медгиз, 1961. – 205 с.
60. Кустов В. В., Лутай В. Г., Обухов М. В. // Гигиена труда и проф. заболевания. – 1980. – № 2. – С. 26–28.
61. Дружинин Г. А., Ганжара П. С., Чинченко Е. И. и др. // Специальная и клиническая физиология гипоксических состояний: Тез. докл. Киев: Здоровье, 1979. – С. 47–50.
62. Higgs E. A., Fiorca V., Thomas A. A., Davis H. V. // Fire Technol. – 1972. – V. 8. – P. 120–129.
63. Tsuchiya Y. // J. Fire Sci. – 1986. – V. 4, № 5. – P. 346–354.
64. Доценко И. И., Долошницкий С. Л., Толмачёва Е. И. // Проблемы охраны здоровья населения и защиты окружающей среды от химических вредных факторов: Тез. докл. всес. конф. Ростов-на-Дону: 1986. – С. 125–127.
64. Шашина Т. А., Уланова И. П., Эйтингтон А. И., Поддубная Л. Т. // Горение полимеров и создание ограниченно горючих материалов: Тез. докл. 5 Всес. конф. Волгоград, ИСПМ АН СССР: 1983. – С. 95.
65. Иличкин В. С., Яненко М. В., Эварестов П. А. // Гигиена и санитария. – 1989. – № 4. – С. 76–78.
66. Levin B. C., Paabo L., Gurman J. L. // Cell J. Plast. – 1988. – V. 24, № 5. – P. 42–45.
67. Levin B. C., Paabo L., Gurman J. L. // Cell J. Plast. – 1988. – V. 24, № 5. – P. 451–452.
68. Самошин Д. А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – №1. – С. 33–46.
69. НПБ 169-01. Техника пожарная. Самоспасатели изолирующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний.
70. НПБ 302-2001. Техника пожарная. Самоспасатели фильтрующие для защиты органов дыхания и зрения людей при эвакуации из помещений во время пожара. Общие технические требования. Методы испытаний.
71. Корольченко А. Я., Процкий В. Ю. Оценка эффективности применения индивидуальных средств защиты и спасения при движении людей по горизонтальным путям эвакуации // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – №1. – С. 47–49.
72. Абдурагимов И. М., Андросов А. С., Исаева Л. К., Крылов Е. В. Процессы горения. – М.: ВМПТШ МВД СССР, 1984. – 268 с.
73. Холщевников В. В. Оперативная оценка проектов высотных зданий на соответствие критериям безопасности эвакуации людей // Глобальная безопасность. – 2006. – №6. – С. 24–29.

74. Пузач С В Некоторые закономерности радиационного теплообмена при пожаре на объектах энергетики // Известия РАН. Энергетика. – 2003. – № 6. – С. 145–152.
75. Puzach S. V. Some features of formation of local combustible hydrogen-air mixtures during continuous release of hydrogen in a room // International Journal of Hydrogen Energy. – 2003. №. 28. – P. 1019–1026.
76. Puzach S. V., Puzach V. G. Mathematical Modeling of Heat and Mass Transfer in Fire in a Compartment of Complex Geometry // Heat Transfer Research. – 2005. – Issue 7. – P. 585–600.
77. Puzach S. V., Puzach V. G., Kazennov V. M. Certain Regularities of Heat and Mass Transfer Through an Open Aperture in Fire in the Compartment // Heat Transfer Research. – 2005. – Issue 7. – P. 615–622.
78. Пузач С. В., Казеннов В. М., Пузач В. Г. Интегральная модель расчета газообмена помещения с окружающей средой при пожаре // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – Т. 12, № 4. – С. 68–73.
79. Пузач С В. Особенности теплообмена при горении жидкой горючей нагрузки в помещении с открытым проемом // Инженерно-физический журнал. – 1999. – Т. 72, № 5. – С. 1025–1032.
80. Пузач В. Г., Пузач С. В. Особенности газодинамики при взаимодействии ударной волны с неизотермической газовой пробкой внутри канала // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75, № 1. – С. 66–70.
81. Пузач С В., Пузач В. Г. Некоторые особенности теплообмена при пожаре в атриуме // Инженерно-физический журнал. – 2006. – Т. 79, № 5. – С. 135–146.
82. Пузач С. В., Абакумов Е. С. Модифицированная зонная модель расчета теплообмена при пожаре в атриуме // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – Т. 16, № 1. – С. 53–57.
83. Пузач С. В., Абакумов Е. С. Модифицированная зонная модель расчета термогазодинамики пожара в атриуме // Инженерно-физический журнал. – 2007. – Т. 80, № 2. – С. 84–89.
84. Пузач С В. Математическое моделирование теплообмена в гидридном аккумуляторе водорода при пожаре // Теплофизика высоких температур. – 1999. – Т. 37, № 2. – С. 319–325.
85. Пузач С. В., Поляков Ю А. Обоснование возможности раннего обнаружения возгорания в помещении с помощью датчиков давления // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1999. – Вып. 3. – С. 53–56.
86. Поляков Ю. А., Пузач С. В. Диагностика пожаровзрывоопасности разгерметизации гидридного аккумулятора водорода // Известия РАН. Энергетика. – 1999. – № 2. – С. 74–83.
87. Пузач С. В., Казеннов В. М. Некоторые закономерности теплообмена при пожаре в помещении // Инженерно-физический журнал. – 2002. – Т. 75, № 5. – С. 130–137.
88. Пузач С. В. К расчету высоты нейтральной плоскости при горении жидкой горючей нагрузки в помещении с открытым проемом // Известия РАН. Энергетика. – 2000. – № 1. – С. 17–23.
89. Puzach S. V., Kazenov V. M. Gas exchange through open holes during fire in room. Integral model // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2003. – Vol. 76, N. 5. – P. 181–186.
90. Пузач С. В., Пузач В. Г., Прозоров Р. В. Моделирование теплообмена при пожаре в помещении // Труды IV Минского международного форума по теплообмену

обмену ММФ-2000. – Минск: АНК “ИТМО им. А.В.Лыкова” НАНБ, 2000. – Т. 3. – с. 340–347.

91. Пузач С. В., Пузач В. Г. Некоторые трехмерные эффекты теплообмена при пожаре в помещении // Инженерно-физический журнал. – 2001. – Т. 74, № 1. – С. 35–40.
92. Purser D. A. The application of exposure concentration and dose to evaluation of the effects of irritants as components of fire hazard // Interflame-2007. Fire Science and Engineering Conference. University of London. – PP. 47–53.
93. Гинзбург В. Л. Какие проблемы физики и астрофизики представляются сейчас особенно важными и интересными (тридцать лет спустя, причем уже на пороге XXI века)? // Успехи физических наук. – 1999. – Т. 169, № 4. – С. 420–441.
94. Интегральные, зонные и полевые методы расчета динамики опасных факторов пожара. Свидетельство об официальной регистрации программы № 2006614238 в Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам от 8.12.2006 г.
95. Селезнев В. Е., Алешин В. В., Пузач С. В. Анализ пожарной опасности газопроводов промышленных энергетических систем // Известия РАН. Энергетика. – 2006. – № 4. – С. 64–76.
96. Селезнев В. Е., Пузач С. В. Численное моделирование транспортирования природного газа по трубопроводам энергетических систем // Известия РАН. Энергетика. – 2006. – № 4. – С. 31–41.

Параметры горючей нагрузки для жилых и нежилых помещений гражданских зданий [11]

№ п/п	Наименование горючей нагрузки	Низшая рабочая теплота сгорания Q_p^* , МДж/кг	Линейная скорость распространения пламени, $w_{пл}$, м/с	Удельная скорость выгорания Ψ_0 , кг/(м ² с)	Удельное дымовыделение $D_{оп}$, Нп м ² /кг	Удельное выделение двуокси углерода L_{CO_2} , кг/кг	Удельное выделение окиси углерода L_{CO} , кг/кг	Удельное потребление кислорода L_{O_2} , кг/кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Здание 1-2 степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия	13,8	0,0108	0,0145	270	0,203	0,0022	-1,03
2	Здание 1-2 степени огнестойкости, мебель + ткани	14,7	0,0108	0,0145	82	1,285	0,0022	-1,437
3	Здание 3-4 степени огнестойкости, мебель + бытовые изделия	13,8	0,0465	0,0344	270	0,203	0,0022	-1,03
4	Здание 3-4 степени огнестойкости, мебель + ткани	14,7	0,0465	0,0344	82	1,285	0,0022	-1,437
5	Здание 1 степени огнестойкости, мебель + ткани (0,75+0,25)	14,9	0,0125	0,0162	58,5	1,32	0,0193	-1,437
6	Здание 3 степени огнестойкости, мебель + ткани (0,75+0,25)	14,9	0,04	0,0162	58,5	1,32	0,0193	-1,437
7	Кабинет, мебель + бумага (0,75+0,25)	14,002	0,042	0,0129	53	0,642	0,0317	-1,161
8	Помещение, облицованное панелями ДВП	18,1	0,0405	0,0143	130	0,686	0,0215	-1,15
9	Административное помещение, мебель + бумага (0,75+0,25)	14,002	0,022	0,021	53	1,434	0,043	-1,161
10	Лекарственные препараты, этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)	26,6	-	0,033	88,1	1,912	0,262	-2,304
11	Общественные здания, мебель + линолеум ПВХ (0,9+1)	14	0,015	0,0137	47,7	1,478	0,03	-1 369

1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	Библиотеки, архивы книги, журналы на стеллажах	14,5	0,0103	0,011	49,5	1,1087	0,0974	-1,154
13	Сценическая часть зрительного зала, древесина	13,8	0,0368	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
14	Верхняя одежда, ворс, ткани (шерсть + нейлон)	23,3	0,0835	0,013	129	0,467	0,0145	-3,698
15	Резинотехнические изделия, резина, изделия из нее	36	0,0184	0,0112	850	0,416	0,015	-2,99
16	Окрашенные полы, стены, дерево + краска РХО (0,9+0,1)	14,1	0,0151	0,0145	71,3	1,47	0,0349	-1,218
17	Выставочный зал, мастерская, дерево + ткани + краска (0,9+0,09+0,01)	14	0,0163	0,0152	53	1,423	0,023	-1,218
18	Издательство, типографии	15,4	0,004	0,0061	41	0,771	0,169	-1,158
19	Каюта с синтетической отделкой, дерево + ткани + отделка	15,8	0,0177	0,015	133,5	0,845	0,0425	-1,249
20	Мебель, дерево + облицовка	14,4	0,0154	0,0135	84,1	1,55	0,0367	-1,288
21	Промтовары, текстильные изделия	16,7	0,0071	0,0244	60,6	0,879	0,0626	-2,56
22	Кабельный подвал/лоток, кабели АВВГ+ АПВГ	30,7	0,0071	0,0244	521	0,65	0,1295	-2,19
23	Толуол	40,9	-	0,043	562	3,677	0,148	-3,098
24	Ксилол	41,2	-	0,09	402	3,657	0,148	-3 623
25	Бензин А76	43,2	-	0,0585	256	2,92	0,175	-3,405
26	Керосин	43 3	-	0,0415	438,1	2,92	0,148	-3,341
27	Дизельное топливо, соляр	45,4	-	0,0425	620,1	3,163	0,122	-3,368
28	Радиоматериалы, полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс	34,8	0,0137	0,0177	381	0,764	0,10	-3,312
29	Электротехнические материалы, текстолит, карболит	20,9	0,0125	0,0076	327	0,375	0,0556	-1,95
30	Теплоноситель, турбинное масло ТП-22	41,9	-	0,03	243	0,70	0,122	-0,282
31	Электрокабель АВВГ, ПВХ оболочка + изоляция	25	0,0071	0,0244	635	0,398	0,109	-2,19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
32	Электрокабель АПВГ, ПВХ оболочка + полиэтилен	36,4	0,0071	0,0244	407	0,903	0,15	-2,19
33	Телефонный кабель ГПВ, ПВХ + полиэтилен	34,6	0,0022	0,0085	556	0,903	0,124	-2,19
34	Сырье для нефтехимии, нефть	44,2	-	0,0241	438	3,104	0,161	-3,24
35	Ацетон	29	-	0,044	80	2,293	0,269	-2,22
36	Этиловый спирт	27,5	-	0,031	80	1,937	0,269	-2,362
37	Лесопильный цех 1-3 степени огнестойкости, древесина	13,8	0,0396	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
38	Лесопильный цех 4-5 степени огнестойкости, древесина	13,8	0,0583	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
39	Цех деревообработки, древесина	13,8	0,022	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
40	Цех сушки древесины, древесина	13,8	0,0375	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
41	Производство фанеры, древесина + фанера (0,5+0,5)	16,1	0,0191	0,0117	80,5	1,055	0,072	-1,177
42	Штабель древесины, хвойный + лиственный лес	13,8	0,0585	0,0145	57	1,57	0,024	-1,15
43	Хвойные древесные строительные материалы, штабель	13,8	0,0585	0,0063	61	1,57	0,024	-1,15
44	Лиственные древесные строительные материалы, штабель	13,8	0,0585	0,014	53	1,57	0,024	-1,15
45	Клееные строительные материалы, фанера	18,4	0,0167	0,0089	104	0,54	0,121	-1,205
46	Сырье для легкой промышленности, хлопок разрыхленный	16,4	0,0445	0,0213	0,6	0,57	0,0052	-2,3
47	Сырье для легкой промышленности, лен разрыхленный	15,7	0,05	0,0213	3,37	0,36	0,0039	-1,83
48	Сырье для легкой промышленности, хлопок + капрон (0,75+0,25)	15,7	0,028	0,0125	4,3	1,045	0,012	-3,55
49	Сырье для легкой промышленности, шерсть	21,8	0,028	0,02	164	0,715	0,0153	-1,759
50	Пищевая промышленность, пшеница, рис, гречиха и мука из них	17	0,005	0,008	1096	0,812	0,163	-0,968

1	2	3	4	5	6	7	8	9
51	Сырье и изделия из синтетического каучука	43	0,0143	0,011	212	1,408	0,15	-2,985
52	Склад льноволокна	15,7	0,071	0,0213	3,4	0,36	0,0039	-1,83
53	Склад хлопка в тюках	16,7	0,0042	0,0167	0,6	0,578	0,0052	-1,15
54	Склад бумаги в рулонах	15,1	0,005	0,008	41	0,6635	0,1077	-1,158
55	Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС	37,8	0,005	0,1917	850	0,416	0,015	-2,99
56	Склад оргстекла (ПММА)	26,4	0,008	0,0041	78	1,795	0,1266	-2,09
57	Кабель + провода 0,75 (АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25 (КПРТ, ПР, ШРПС)	33,5	0,0054	0,0622	612	0,655	0,0995	-2,389
58	Дерево + лаковое покрытие 0,95 древесина + 0,05 (ФЛ+РХО)	13,9	0,0151	0,0225	64,1	0,724	0,0205	-1,191
59	Автомобиль 0,3 (резина, бензин) + 0,15 (ППУ, искусственная кожа ПВХ) + 0,1 эмаль	31,7	0,0068	0,0233	487	1,295	0,097	-2,64
60	Зал, 0,5 ДВП + 0,1 (ткань, искусственная кожа, ПВХ, ППУ) + 0,2 (дерево с покрытием)	16,2	0,0293	0,0123	175,6	0,817	0,041	-1,574
61	Тара древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)	20,71	0,01	0,018	155	0,97	0,094	-1,52
62	Упаковка бумага + картон + поли (этилен + стирол) (0,4+0,3+0,15+0,15)	23,54	0,004	0,132	172	0,679	0,112	-1,7
63	Индустриальное масло	42,7	-	0,043	480	1,07	0,122	-1,589
64	Вешала текстильных изделий	16,72	0,0078	0,0245	61	0,879	0,063	-2,56
65	Отделка, ковровин	15,397	0,021	0,013	150	1,225	0,207	-2,55
66	Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	14,28	0,034	0,0129	72,4	0,759	0,068	-1,439
67	Занавес зрительного зала кинотеатра	13,8	0,05	0,0115	50	0,203	0,0022	-1,03

Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 108 м³
(6х6х3 м, Z = 1,252) с различной типовой ПН

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	τ ₁ , с	T ₁ , °C	τ ₂ , с	T ₂ , °C	τ _{кр} ^т , с	τ _{кр} ^{о₂} , с	τ _{кр} ^{п_а} , с	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	-	-	-	-	79	89	32	τ _{эф1} =55 τ _{эф2} =61
HCl	47	29,8	119	233				
Акролеин	18	20,6	73	59,1				
HCN	н д							
2 Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	-	-	-	-	77	90	47	τ _{эф1} =45 τ _{эф2} =59
HCl	63	46	-	-				
Акролеин	18	20,6	73	62				
HCN	20	20,8	63	45,6				
3 Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	22	25	9	τ _{эф1} =16 τ _{эф2} =17
HCl	13	30	34	232,6				
Акролеин	5	20,6	21	59,1				
HCN	н д							
4 Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	22	25	13	τ _{эф1} =13 τ _{эф2} =17
HCl	18	45,5	-	-				
Акролеин	5	20,6	21	62				
HCN	6	20,8	18	45,6				
5 Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание I CO								
CO	-	-	-	-	67	78	46	τ _{эф1} =49 τ _{эф2} =49
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	18	20,8	71	79,8				
HCN	28	23,2	91	161,7				
6 Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание III CO								
CO	-	-	-	-	31	36	21	τ _{эф1} =23 τ _{эф2} =23
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	20,8	33	79,81				
HCN	13	23,2	42	161,7				
7 Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	53	175,3	-	-	38	44	24	τ _{эф1} =15 τ _{эф2} =15
HCl	67	431	-	-				
Акролеин	23	30,1	-	-				
HCN	-	-	-	-				
8 Кабинет мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	67	810,5	-	-	33	38	23	τ _{эф1} =25 τ _{эф2} =25
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	20,8	34	75,6				
HCN	-	-	-	-				

Приложение 2

Эффективность использования самоспасателей
в помещениях
при различных пожарных нагрузках

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9 Помещение, облицованное панелями ДВП								
CO	-	-	-	-	30	33	17	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	46	240,1	-	-				
HCN	н.д.							
10 Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	73	360	-	-	43	49	30	$\tau_{эф1}=35$ $\tau_{эф2}=35$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	21	34	96				
HCN	н.д.							
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	16	78,9	175	1918	14	21	5	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
12. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	135	999,9	-	-	64	75	47	$\tau_{эф1}=52$ $\tau_{эф2}=52$
HCl	52	45	-	-				
Акролеин	12	20,3	-	-				
HCN	н.д.							
13 Библиотеки, архивы. книги, журналы на стеллажах								
CO	107	115,4	-	-	88	100	64	$\tau_{эф1}=39$ $\tau_{эф2}=39$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	49	28,2	-	-				
HCN	н.д.							
14. Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	92	5418	-	-	35	40	24	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	19	27,8	-	-				
HCN	н.д.							
15 Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	-	-	-	-	18	22	11	$\tau_{эф1}=12$ $\tau_{эф2}=13$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	5	21,2	17	62,8				
16 Резинотехнические изделия: резина, изделия из нее								
CO	-	-	-	-	44	50	17	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	120	605	-	-	63	72	40	$\tau_{эф1}=46$ $\tau_{эф2}=47$
HCl	99	270	-	-				
Акролеин	15	20,7	61	65,2				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18 Выставочный зал, мастерская. дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	-	-	-	-	59	67	41	$\tau_{эф1}=43$ $\tau_{эф2}=45$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	14	20,6	57	64,8				
HCN	33	28,6	135	1691				
19 Издательства, типографии								
CO	199	71,8	418	1043,9	197	222	155	$\tau_{эф1}=85$ $\tau_{эф2}=85$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	112	28,6	-	-				
HCN	н.д.							
20 Каюта с синтетической отделкой. дерево + ткани + отделка								
CO	98	484,6	-	-	54	61	29	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=38$
HCl	28	26,7	70	141,5				
Акролеин	16	21,3	70	128,2				
HCN	39	37,9	-	-				
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	118	557,6	-	-	63	72	38	$\tau_{эф1}=48$ $\tau_{эф2}=48$
HCl	61	64	-	-				
Акролеин	15	20,7	-	-				
HCN	н.д.							
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	127	250	-	-	82	104	58	$\tau_{эф1}=48$ $\tau_{эф2}=60$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	22	20,9	70	49,5				
23. Химическое вещество: толуол								
CO	26	265,5	-	-	7	10	0,6	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
CO	13	268,8	-	-	3,2	5	0,4	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	12	83,4	151	3382,8	9	14	5	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
CO	17	79,4	184	2021	14	21	6,3	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Продолжение табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27. Бензин А-76								
CO	16	221,3	-	-	5	7	1	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
28. Керосин								
CO	28	293,3	-	-	7	10	0,8	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
29. Дизельное топливо: соляр								
CO	38	485,8	-	-	6	9	0,6	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
30. Сырье для нефтехимии: нефть								
CO	43	262,5	-	-	11	16	1,5	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
CO	51	403	-	-	10	11	2	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
32. Индустриальное масло								
CO	36	420,3	-	-	7	8	0,7	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
33. Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ								
CO	99	208,2	-	-	67	76	28	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	46	35,3	126	560,3				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
CO	81	414,9	-	-	46	54	23	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	48	74	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
CO	142	498,2	-	-	77	89	34	$\tau_{эф1}=3$ $\tau_{эф2}=3$
HCl	74	62,5	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Продолжение табл. П2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС								
CO	-	-	-	-	40	45	15	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
37. Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция								
CO	104	198,3	-	-	72	83	27	$\tau_{эф1}=29$ $\tau_{эф2}=29$
HCl	43	30,1	111	245,9				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
38. Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен								
CO	94	245,6	-	-	64	71	31	$\tau_{эф1}=14$ $\tau_{эф2}=14$
HCl	50	43,6	179	9680,5				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
39. Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)								
CO	99	386	-	-	57	65	24	$\tau_{эф1}=11$ $\tau_{эф2}=11$
HCl	46	44,9	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен								
CO	316	269,9	-	-	201	223	86	$\tau_{эф1}=44$ $\tau_{эф2}=44$
HCl	157	42,9	531	5175,5				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
41. Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, изожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
CO	76	558,5	-	-	41	47	20	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	25	31,3	65	290,8				
Акролеин	85	964,2	-	-				
HCN	н.д.							
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес								
CO	68	5418,6	-	-	26	29	17	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=20$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	6	20,6	24	59,1				
HCN	н.д.							
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
CO	-	-	-	-	54	62	36	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=41$
HCl	135	2956,4	-	-				
Акролеин	13	20,6	51	61,8				
HCN	н.д.							
44. Лесопильный цех I- III CO: древесина								
CO	88	5418,6	-	-	33	38	23	$\tau_{эф1}=23$ $\tau_{эф2}=25$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	20,6	31	59,1				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45. Лесопильный цех IV-V CO древесина								
CO	68	5418,6	-	-	26	29	17	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=20$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	6	20,6	24	59,1				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки: древесина								
CO	131	5418,6	-	-	49	56	33	$\tau_{эф1}=35$ $\tau_{эф2}=38$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	11	20,6	46	59,1				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины: древесина								
CO	92	5418,6	-	-	34	39	23	$\tau_{эф1}=24$ $\tau_{эф2}=26$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	20,6	32	59,1				
HCN	н.д.							
48 Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	79	191,2	-	-	55	62	35	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=38$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	17	21,3	70	131				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	90	5418,6	-	-	34	39	22	$\tau_{эф1}=23$ $\tau_{эф2}=26$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	8	20,6	31	59,1				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	69	5418,6	-	-	26	30	18	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=20$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	6	20,6	24	59,1				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	77	118,1	-	-	63	70	39	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	81	138,2	-	-				
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	26	33	17	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	-	-	-	-	24	29	61	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	-	-	-	-	32	37	18	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=23$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	9	21,2	30	60				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	159	80,9	362	2387,8	150	166	40	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
56. Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	78	282,9	-	-	49	55	31	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	63	134,7	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	24	29	61	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58. Склад льноволокна								
CO	-	-	-	-	19	23	48	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	-	-	-	-	133	150	88	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ППМА)								
CO	164	173,6	-	-	118	134	90	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	185	108,2	-	-	156	177	122	$\tau_{эф1}=68$ $\tau_{эф2}=68$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	88	28,5	-	-				
HCN	-	-	-	-				
62. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол: (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	184	175,5	-	-	132	149	74	$\tau_{эф1}=12$ $\tau_{эф2}=12$
HCl	151	97	-	-				
Акролеин	120	56,3	-	-				
HCN	-	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	96	187,3	-	-	68	76	37	$\tau_{эф1}=45$ $\tau_{эф2}=45$
HCl	68	70,6	-	-				
Акролеин	23	21,7	95	180,1				
HCN	-	-	-	-				
64. Отделка: ковровин								
CO	48	61	94	529	51	65	26	н.д.
HCl	49	63,4	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	-	-	-	-	31	35	22	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	119	248,2	-	-	77	98	55	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67. Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, иск. кожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	118	362,7	-	-	70	79	30	$\tau_{эф1}=10$ $\tau_{эф2}=10$
HCl	60	50,8	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	67	65	-	-				

Примечания

эффективность по защите от монооксида углерода принималась как для самоспасателя «Феникс» №3;
свободный объем помещения принимался равным объему помещения;
н.д. – нет данных о выделении токсичного газа;
– – не представляет опасности: не выделяется при горении, либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;
температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т. е. неравномерность распределения ОФП в объеме помещения не учитывается.

Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 500 м³
(25×5×4 м) с различной типовой ПН

Таблица П2.2

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	τ_1, c	$T_1, ^\circ C$	τ_2, c	$T_2, ^\circ C$	$\tau_{кр1}, c$	$\tau_{кр2}, c$	$\tau_{кр3}, c$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	-	-	-	-	132	148	52	$\tau_{эф1}=81$ $\tau_{эф2}=101$
HCl	78	29,8	199	233				
Акролеин	31	20,6	122	59,1				
HCN	н.д.							
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	-	-	-	-	129	150	79	$\tau_{эф1}=45$ $\tau_{эф2}=114$
HCl	104	45,5	-	-				
Акролеин	15	20,07	60	24,8				
HCN	66	26,3	237	512,8				
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	37	42	15	$\tau_{эф1}=26$ $\tau_{эф2}=28$
HCl	22	30	56	232,6				
Акролеин	9	20,6	35	59,1				
HCN	н.д.							
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	37	42	22	$\tau_{эф1}=26,4$ $\tau_{эф2}=28,4$
HCl	30	45,5	-	-				
Акролеин	8,6	20,6	35	62				
HCN	9,4	20,7	30	45,6				
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание I CO								
CO	-	-	-	-	112	130	77	$\tau_{эф1}=83$ $\tau_{эф2}=83$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	29	20,8	118	79,8				
HCN	46	23,2	152	161,7				
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание III CO								
CO	-	-	-	-	52	60	36	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=38$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	14	20,8	55	79,8				
HCN	21	23,2	70	161,7				
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	88	175,3	-	-	63	73	40	$\tau_{эф1}=25$ $\tau_{эф2}=25$
HCl	112	431	-	-				
Акролеин	38	30,1	-	-				
HCN	-	-	-	-				
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	111	806,7	-	-	55	63	39	$\tau_{эф1}=41$ $\tau_{эф2}=41$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	14	20,8	57	75,6				
HCN	-	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9 Помещение, облицованное панелями ДВП								
СО	-	-	-	-	50	56	28	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	76	240,1	-	-				
НСН	н.д.							
10 Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
СО	122	360	-	-	72	82	50	$\tau_{эф1}=62$ $\tau_{эф2}=62$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	10	20,4	-	-				
НСН	н.д.							
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
СО	74	78,9	809	1918	63	95	25	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
12 Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
СО	226	999,9	-	-	107	125	78	$\tau_{эф1}=78$ $\tau_{эф2}=81$
НСИ	86	45	-	-				
Акролеин	26	20,6	104	64,8				
НСН	н.д.							
13 Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах								
СО	118	115,4	-	-	146	166	106	$\tau_{эф1}=64$ $\tau_{эф2}=64$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	82	28,2	-	-				
НСН	н.д.							
14 Сценическая часть зрительного зала: древесина								
СО	155	5418	-	-	58	66	39	$\tau_{эф1}=26$ $\tau_{эф2}=26$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	32	27,8	-	-				
НСН	н.д.							
15. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
СО	-	-	-	-	29	37	18	$\tau_{эф1}=19$ $\tau_{эф2}=20$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	9	21,2	28	62,8				
16 Резинотехнические изделия: резина, изделия из нее								
СО	-	-	-	-	73	83	28	н.д.
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
СО	200	605	-	-	105	120	66	$\tau_{эф1}=76$ $\tau_{эф2}=80$
НСИ	165	270	-	-				
Акролеин	25	20,7	101	65,2				
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18 Выставочный зал, мастерская. дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
СО	-	-	-	-	98	112	69	$\tau_{эф1}=71$ $\tau_{эф2}=74$
НСИ	-	-	-	-				
Акролеин	24	20,6	95	64,8				
НСН	56	28,6	225	1691				
19. Издательства, типографии								
СО	332	71,8	696	1043,9	328	371	259	$\tau_{эф1}=141$ $\tau_{эф2}=141$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	187	28,7	-	-				
НСН	н.д.							
20. Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
СО	163	484,6	-	-	89	102	48	$\tau_{эф1}=62$ $\tau_{эф2}=62$
НСИ	47	26,7	116	141,5				
Акролеин	27	21,3	113	128,2				
НСН	65	37,9	-	-				
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
СО	197	557,6	-	-	105	121	63	$\tau_{эф1}=76$ $\tau_{эф2}=79$
НСИ	101	64	-	-				
Акролеин	26	20,7	102	66,3				
НСН	н.д.							
22. Промтовары: текстильные изделия								
СО	212	250	-	-	137	173	97	$\tau_{эф1}=79$ $\tau_{эф2}=100$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	37	20,9	116	49,5				
23. Химическое вещество: толуол								
СО	122	265,5	-	-	32	46	3	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
СО	59	268,8	-	-	15	23	2	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
СО	54	83,4	698	3382,8	44	63	21	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
СО	76	79,4	852	2201	65	98	29	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27. Бензин А-76								
СО	74	221,3	-	-	22	32	5	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
28. Керосин								
СО	129	293,3	-	-	31	45	4	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
29. Дизельное топливо: соляр								
СО	174	485,8	-	-	29	41	3	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
30. Сырьё для нефтехимии: нефть								
СО	200	262,5	-	-	52	75	7	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
СО	235	403	-	-	44	51	10	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
32. Индустриальное масло								
СО	166	420,3	-	-	30	38	3,4	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
33. Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ								
СО	164	208,2	-	-	112	126	47	$\tau_{эф1}=35$ $\tau_{эф2}=35$
НСИ	77	35,3	211	560,3				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
СО	136	414,9	-	-	77	89	38	0
НСИ	79	74	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
СО	236	498,2	-	-	129	149	56	$\tau_{эф1}=6$ $\tau_{эф2}=6$
НСИ	123	62,5	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС								
СО	-	-	-	-	66	75	26	н.д.
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
37. Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция								
СО	173	198,3	-	-	120	138	44	$\tau_{эф1}=48$ $\tau_{эф2}=48$
НСИ	72	30,1	184	245,9				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
38. Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен								
СО	157	245,6	-	-	106	118	51	$\tau_{эф1}=22$ $\tau_{эф2}=22$
НСИ	84	43,6	298	9680,5				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
39. Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)								
СО	165	386	-	-	96	108	39	$\tau_{эф1}=19$ $\tau_{эф2}=19$
НСИ	77	44,9	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен								
СО	527	269,9	-	-	334	372	143	$\tau_{эф1}=73$ $\tau_{эф2}=73$
НСИ	261	42,9	885	5175,5				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
41. Зал 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, иск. кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
СО	128	568,5	-	-	68	79	33	$\tau_{эф1}=26$ $\tau_{эф2}=26$
НСИ	42	31,3	109	294				
Акролеин	142	964,2	-	-				
НСН	н.д.							
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес								
СО	114	5418,6	-	-	43	49	29	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=33$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	10	20,6	40	59,1				
НСН	н.д.							
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
СО	-	-	-	-	91	104	59	$\tau_{эф1}=65$ $\tau_{эф2}=70$
НСИ	225	2956,4	-	-				
Акролеин	21	20,6	86	61,8				
НСН	н.д.							
44. Лесопильный цех I-III СО: древесина								
СО	147	5418,6	-	-	55	63	38	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=42$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	13	20,6	51	59,1				
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45. Лесопильный цех IV-V CO: древесина								
CO	114	5418,6	-	-	43	49	29	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=33$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	10	20,6	40	59,1				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки: древесина								
CO	218	5418,6	-	-	82	93	56	$\tau_{эф1}=57$ $\tau_{эф2}=63$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	19	20,6	76	59,1				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины: древесина								
CO	153	5418,6	-	-	57	65	39	$\tau_{эф1}=40$ $\tau_{эф2}=44$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	13	20,6	53	59,1				
HCN	н.д.							
48. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	131	191,2	-	-	92	103	58	$\tau_{эф1}=64$ $\tau_{эф2}=64$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	28	21,3	116	131				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	150	5418,6	-	-	56	64	37	$\tau_{эф1}=39$ $\tau_{эф2}=43$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	13	20,6	52	59,1				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	115	5418,6	-	-	43	49	30	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=33$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	10	20,6	40	59,1				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	129	118,1	-	-	105	117	64	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	136	138,3	-	-				
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	43	52	43	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	-	-	-	-	70	104	141	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	-	-	-	-	54	61	30	$\tau_{эф1}=11$ $\tau_{эф2}=49$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	5	20,04	16	21,1				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	266	80,9	607	2387,8	250	276	67	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
56. Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	131	282,9	-	-	82	92	52	н.д.
HCl	105	134,7	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	40	48	101	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58. Склад льноволокна								
CO	-	-	-	-	32	38	79	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	-	-	-	-	221	248	168	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ППМА)								
CO	274	173,6	-	-	197	224	150	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	309	108,2	-	-	260	294	204	$\tau_{эф1}=113$ $\tau_{эф2}=113$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	147	28,5	-	-				
HCN	-	-	-	-				
62. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол: (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	307	175,5	-	-	220	248	123	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	251	97	-	-				
Акролеин	199	56,3	-	-				
HCN	-	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	160	187,3	-	-	113	127	62	$\tau_{эф1}=75$ $\tau_{эф2}=75$
HCl	113	70,6	-	-				
Акролеин	38	21,7	158	180,1				
HCN	-	-	-	-				
64. Отделка: ковровин								
CO	79	61	157	529	84	109	43	н.д.
HCl	81	63,4	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	-	-	-	-	51	58	36	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	198	248,2	-	-	129	163	91	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67. Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, искожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	197	362,7	-	-	116	132	50	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	100	50,8	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	112	65	-	-				

Примечания:

эффективность по защите от монооксида углерода принималась как для самоспасателя «Феникс» №3;

свободный объем помещения принимался равным объему помещения;

н.д. – нет данных о выделении токсичного газа;

– – не представляет опасности: не выделяется при горении, либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;

температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т.е. неравномерность распределения ОФП в объеме помещения не учитывается.

Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 1000 м³ (20×10×5 м) с различной типовой ПН

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	$\tau_1, с$	$T_1, ^\circ C$	$\tau_2, с$	$T_2, ^\circ C$	$\tau_{кр}^I, с$	$\tau_{кр}^{O_2}, с$	$\tau_{кр}^{H_2}, с$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	-	-	-	-	166	187	67	$\tau_{эф1}=116$ $\tau_{эф2}=128$
HCl	98	29,8	250	233				
Акролеин	38	20,6	154	59,1				
HCN	н.д.							
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	-	-	-	-	162	189	99	$\tau_{эф1}=57$ $\tau_{эф2}=143$
HCl	131	46	-	-				
Акролеин	19	20,07	76	24,8				
HCN	83	26,3	299	512,8				
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	47	53	19	$\tau_{эф1}=33$ $\tau_{эф2}=36$
HCl	28	30	71	232,6				
Акролеин	11	20,6	44	59,1				
HCN	н.д.							
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	46	53	28	$\tau_{эф1}=26$ $\tau_{эф2}=35$
HCl	37	45,5	-	-				
Акролеин	11	20,6	44	62				
HCN	12	20,8	37	45,6				
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) – здание I CO								
CO	-	-	-	-	141	164	98	$\tau_{эф1}=104$ $\tau_{эф2}=104$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	37	20,8	149	79,8				
HCN	58	23,2	192	161,7				
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) – здание III CO								
CO	-	-	-	-	65	75	45	$\tau_{эф1}=48$ $\tau_{эф2}=48$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	17	20,8	69	79,8				
HCN	27	23,2	88	161,7				
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	110	175,3	-	-	79	93	50	$\tau_{эф1}=31$ $\tau_{эф2}=31$
HCl	141	431	-	-				
Акролеин	48	30,1	-	-				
HCN	-	-	-	-				
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	140	806,7	-	-	69	79	49	$\tau_{эф1}=51$ $\tau_{эф2}=51$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	18	20,8	72	75,6				
HCN	-	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9 Помещение, облицованное панелями ДВП								
CO	-	-	-	-	63	70	35	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	96	240,1	-	-				
HCN	н.д.							
10. Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	154	360	-	-	91	103	63	$\tau_{эф1}=54$ $\tau_{эф2}=73$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	18	21	72	96				
HCN	-	-	-	-				
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	147	78,9	1618	1918	127	190	50	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
12. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	284	999,9	-	-	135	157	98	$\tau_{эф1}=98$ $\tau_{эф2}=102$
HCl	109	45	-	-				
Акролеин	33	20,6	131	64,8				
HCN	н.д.							
13. Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах								
CO	224	115,4	-	-	185	209	134	$\tau_{эф1}=82$ $\tau_{эф2}=82$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	103	28,2	-	-				
HCN	-	-	-	-				
14. Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	195	5418	-	-	73	84	50	$\tau_{эф1}=33$ $\tau_{эф2}=33$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	40	27,8	-	-				
HCN	н.д.							
15. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	-	-	-	-	37	47	23	$\tau_{эф1}=24$ $\tau_{эф2}=26$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	11	21,2	35	62,8				
16. Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё								
CO	-	-	-	-	92	105	35	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	251	605	-	-	132	151	83	$\tau_{эф1}=96$ $\tau_{эф2}=100$
HCl	208	270	-	-				
Акролеин	32	20,7	128	65,2				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18 Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	-	-	-	-	123	141	86	$\tau_{эф1}=89$ $\tau_{эф2}=93$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	30	20,6	119	64,8				
HCN	70	28,6	283	1691				
19. Издательства, типографии								
CO	418	71,8	-	-	414	467	326	$\tau_{эф1}=178$ $\tau_{эф2}=178$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	236	28,7	-	-				
HCN	-	-	-	-				
20. Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
CO	205	484,6	-	-	113	128	60	$\tau_{эф1}=79$ $\tau_{эф2}=79$
HCl	59	26,7	147	141,5				
Акролеин	34	21,3	142	128,2				
HCN	81	37,9	-	-				
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	248	557,6	-	-	132	152	80	$\tau_{эф1}=97$ $\tau_{эф2}=100$
HCl	127	64	-	-				
Акролеин	32	20,7	129	66,3				
HCN	н.д.							
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	267	250	-	-	173	218	123	$\tau_{эф1}=101$ $\tau_{эф2}=127$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	46	20,9	147	49,5				
23. Химическое вещество: толуол								
CO	244	265,5	-	-	63	91	6	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
CO	117	268,8	-	-	30	45	4	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	108	83,4	1396	3382,8	87	126	41	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
CO	153	79,4	1704	2021	130	195	58	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27 Бензин А-76								
СО	147	221,3	-	-	44	65	10	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
28. Керосин								
СО	259	293,3	-	-	62	90	8	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
29. Дизельное топливо: соляр								
СО	348	485,8	-	-	58	83	5,4	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
30. Сырьё для нефтехимии: нефть								
СО	400	262,5	-	-	104	149	13	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
СО	470	403	-	-	88	102	20	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
32. Индустриальное масло								
СО	331	420,3	-	-	61	77	7	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
33. Кабельный подвал: кабели АБВГ + АПВГ								
СО	207	208,2	-	-	141	159	59	$\tau_{эф1}=44$ $\tau_{эф2}=44$
НСИ	97	35,3	265	560,3				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
СО	171	414,9	-	-	97	113	47	н.д.
НСИ	100	74	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
СО	297	498,2	-	-	162	188	70	$\tau_{эф1}=8$ $\tau_{эф2}=8$
НСИ	154	62,5	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС								
СО	-	-	-	-	84	95	32	н.д.
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
37. Электрокабель АБВГ: ПВХ оболочка + изоляция								
СО	219	198,3	-	-	151	173	56	н.д.
НСИ	491	30,1	232	245,9				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
38. Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен								
СО	198	245,6	-	-	133	148	65	$\tau_{эф1}=28$ $\tau_{эф2}=28$
НСИ	105	43,6	179	9680,5				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
39. Кабели + провода: 0,75*(АБВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)								
СО	208	386	-	-	121	135	50	$\tau_{эф1}=24$ $\tau_{эф2}=24$
НСИ	97	44,9	-	-				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен								
СО	664	269,9	-	-	421	469	180	$\tau_{эф1}=92$ $\tau_{эф2}=92$
НСИ	329	42,9	1115	5175,5				
Акролеин	н.д.							
НСН	н.д.							
41. Зал. 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, иск. кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
СО	161	568,5	-	-	86	99	42	$\tau_{эф1}=33$ $\tau_{эф2}=33$
НСИ	53	31,3	138	294				
Акролеин	179	964,2	-	-				
НСН	н.д.							
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес								
СО	143	5418,6	-	-	54	61	37	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=42$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	12	20,6	50	59,1				
НСН	н.д.							
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
СО	-	-	-	-	114	131	75	$\tau_{эф1}=81$ $\tau_{эф2}=87$
НСИ	283	2956,4	-	-				
Акролеин	27	20,6	108	61,8				
НСН	н.д.							
44. Лесопильный цех I-III СО: древесина								
СО	186	5418,6	-	-	70	80	47	$\tau_{эф1}=49$ $\tau_{эф2}=54$
НСИ	0	-	-	-				
Акролеин	16	20,6	65	59,1				
НСН	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45. Лесопильный цех IV-V CO: древесина								
CO	143	5418,6	-	-	54	61	37	$\tau_{эф1}=38$ $\tau_{эф2}=42$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	12	20,6	50	59,1				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки: древесина								
CO	274	5418,6	-	-	103	118	70	$\tau_{эф1}=72$ $\tau_{эф2}=79$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	24	20,6	96	59,1				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины: древесина								
CO	192	5418,6	-	-	72	82	49	$\tau_{эф1}=50$ $\tau_{эф2}=55$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	17	20,6	67	59,1				
HCN	н.д.							
48. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	165	191,2	-	-	116	130	74	$\tau_{эф1}=80$ $\tau_{эф2}=80$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	36	21,3	147	131				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	189	5418,6	-	-	71	81	47	$\tau_{эф1}=50$ $\tau_{эф2}=55$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	16	20,6	66	59,1				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	145	5418,6	-	-	54	62	38	$\tau_{эф1}=37$ $\tau_{эф2}=41$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	13	20,6	50	59,1				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	162	118,1	-	-	133	148	81	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	171	138,3	-	-				
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	53	66	139	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	-	-	-	-	50	60	128	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	-	-	-	-	68	77	38	$\tau_{эф1}=43$ $\tau_{эф2}=48$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	20	21,2	63	59,7				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	335	80,9	759	2387,8	315	348	85	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
56. Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	165	282,9	-	-	103	116	66	$\tau_{эф1}=40$ $\tau_{эф2}=40$
HCl	63	134,7	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхлённый								
CO	-	-	-	-	50	60	128	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58. Склад льноволокна								
CO	-	-	-	-	40	48	100	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	-	-	-	-	359	436	246	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ПММА)								
CO	164	173,6	-	-	249	282	189	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	389	108,2	-	-	328	371	257	$\tau_{эф1}=142$ $\tau_{эф2}=142$
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	186	28,5	-	-				
HCN	-	-	-	-				
62. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол: (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	387	175,5	-	-	278	312	155	$\tau_{эф1}=27$ $\tau_{эф2}=27$
HCl	316	97	-	-				
Акролеин	251	56,3	-	-				
HCN	-	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	201	187,3	-	-	142	160	79	$\tau_{эф1}=95$ $\tau_{эф2}=95$
HCl	142	70,6	-	-				
Акролеин	47	21,7	199	180,1				
HCN	-	-	-	-				
64. Отделка: ковровин								
CO	100	61	197	529	106	137	54	$\tau_{эф1}=4$ $\tau_{эф2}=4$
HCl	102	63,4	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	-	-	-	-	65	73	46	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	264	248,2	-	-	171	216	121	н.д.
HCl	0	-	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67. Автомобиль. 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, иск. кожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	248	362,7	-	-	146	167	64	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	125	50,8	-	-				
Акролеин	н.д.							
HCN	141	65	-	-				

Примечания:
 эффективность по защите от монооксида углерода принималась как для самоспасателя «Феникс» №3;
 свободный объем помещения принимался равным объему помещения;
 н.д. – нет данных о выделении токсичного газа;
 – – не представляет опасности: не выделяется при горении либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;
 температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т. е. неравномерность распределения ОФП в объеме помещения не учитывается

 Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 108 м³
 (6×6×3 м, Z = 1,252) с различной типовой ПН

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	$\tau_{1, с}$	$T_{1, °C}$	$\tau_{2, с}$	$T_{2, °C}$	$\tau_{кр1, с}$	$\tau_{кр2, с}$	$\tau_{кр3, с}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	57	38	57	38	74	84	27	$\tau_{эф1}=37$ $\tau_{эф2}=37$
HCl	н.д.							
Акролеин	20	20,8	101	135,4				
HCN	н.д.							
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	57	39,3	57	39,3	72	85	40	$\tau_{эф1}=37$ $\tau_{эф2}=37$
HCl	н.д.							
Акролеин	20	20,8	102	143,1				
HCN	н.д.							
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	16	38	16	38	21	24	8	$\tau_{эф1}=10$ $\tau_{эф2}=10$
HCl	н.д.							
Акролеин	6	20,8	29	146,1				
HCN	н.д.							
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	16	39,3	16	39,3	20	24	11	$\tau_{эф1}=10$ $\tau_{эф2}=10$
HCl	н.д.							
Акролеин	6	20,8	29	146,1				
HCN	н.д.							
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) (здание I CO)								
CO	55	46,7	55	46,7	63	74	40	$\tau_{эф1}=37$ $\tau_{эф2}=37$
HCl	н.д.							
Акролеин	18	20,8	100	220,9				
HCN	н.д.							
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) (здание III CO)								
CO	25	46,7	25	46,7	29	34	18	$\tau_{эф1}=17$ $\tau_{эф2}=17$
HCl	н.д.							
Акролеин	8	20,8	41	148,6				
HCN	н.д.							
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	28	38,7	28	38,7	35	42	20	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=18$
HCl	н.д.							
Акролеин	10	20,8	49	141				
HCN	н.д.							
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	27	44,9	27	44,9	31	35	20	$\tau_{эф1}=19$ $\tau_{эф2}=19$
HCl	н.д.							
Акролеин	8	20,8	43	138				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. Помещение, облицованное панелями ДВП								
CO	н.д.				28	31	14	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
10 Административное помещение. мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	35	45	35	45	40	46	26	$\tau_{эф1}=24$ $\tau_{эф2}=24$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	11	20,8	56	138				
HCN	н.д.							
11 Лекарственные препараты. этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	н.д.				11	17	3	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
12 Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	48	40,5	48	40,5	60	71	40	$\tau_{эф1}=31$ $\tau_{эф2}=31$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	20,9	86	156,9				
HCN	-	-	-	-				
13 Библиотеки, архивы книги, журналы на стеллажах								
CO	н.д.				82	94	54	$\tau_{эф1}=57$ $\tau_{эф2}=57$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	25	21,1	132	225,5				
HCN	н.д.							
14. Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	25	38	25	38	32	38	20	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	н.д.							
Акролеин	9	20,8	45	135,4				
HCN	н.д.							
15. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	н.д.				16	22	9	$\tau_{эф1}=10$ $\tau_{эф2}=11$
HCl	3	20,2	7	23,1				
Акролеин	н.д.							
HCN	5	20,9	15	50,2				
16 Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё								
CO	н.д.				41	47	14	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	47	40,6	47	40,6	58	68	34	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=30$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	20,9	85	158,4				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18 Выставочный зал, мастерская. дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	44	40,4	44	40,4	55	64	35	$\tau_{эф1}=28$ $\tau_{эф2}=28$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	20,9	79	156,9				
HCN	н.д.							
19 Издательства, типографии								
CO	н.д.				183	209	132	$\tau_{эф1}=125$ $\tau_{эф2}=125$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	58	21,2	303	248,2				
HCN	н.д.							
20 Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
CO	41	40,8	41	40,8	50	57	24	$\tau_{эф1}=27$ $\tau_{эф2}=27$
HCl	н.д.							
Акролеин	14	20,9	73	160				
HCN	45	48,2	-	-				
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	46	38,8	46	38,8	59	68	32	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=30$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	20,8	82	142,5				
HCN	н.д.							
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	н.д.				77	102	50	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
23. Химическое вещество. толуол								
CO	н.д.				6	8	0,4	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
CO	н.д.				2,6	4	0,3	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	н.д.				7,6	11,4	3	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
26 Химическое вещество. этиловый спирт								
CO	н.д.				4	6	0,6	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27. Бензин А-76								
СО	н.д.			4	6	0,6	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
28. Керосин								
СО	н.д.			5	8	0,5	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
29. Дизельное топливо: соляр								
СО	н.д.			5	7	0,4	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
30. Сырьё для нефтехимии: нефть								
СО	н.д.			9	13	0,9	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
СО	н.д.			8	9	1,3	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
32. Индустриальное масло								
СО	н.д.			5	7	0,5	н.д.	
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	н.д.							
33. Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ								
СО	н.д.			63	71	24	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	132	707,7	-					
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
СО	н.д.			43	51	19	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	100	1155,4	-					
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
СО	н.д.			72	85	29	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$
НСI	н.д.							
Акролеин	н.д.							
НСN	124	287,6	-					

1	2	3	4	5	6	7	8	9					
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС													
СО	н.д.			93	1872	-	-	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
37. Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция													
СО	н.д.			126	410	-	-	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
38. Электрокабель АПВГ. ПВХ оболочка + полиэтилен													
СО	н.д.			142	1465,1	-	-	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
39 Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)													
СО	н.д.			120	974,8	-	-	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен													
СО	н.д.			430	1124,3	-	-	$\tau_{эф1}=0$	$\tau_{эф2}=0$				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
41. Зал 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, иск. кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием													
СО	н.д.			19	38	19	38	38	н.д.				
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес													
СО	19	38	19	38	24	28	15	$\tau_{эф1}=12$	$\tau_{эф2}=12$				
НСI	н.д.												
Акролеин	7	20,8	33	135,6									
НСN	н.д.												
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)													
СО	39	38,2	39	38,2	14	20,8	70	136,5	51	59	30	$\tau_{эф1}=25$	$\tau_{эф2}=25$
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												
44. Лесопильный цех I-III СО: древесина													
СО	24	38	24	38	8	20,8	42,5	135,4	31	36	19	$\tau_{эф1}=16$	$\tau_{эф2}=16$
НСI	н.д.												
Акролеин	н.д.												
НСN	н.д.												

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45. Лесопильный цех IV-V CO: древесина								
CO	19	38	19	38	24	28	15	$\tau_{эф1}=12$ $\tau_{эф2}=12$
HCl	н.д.							
Акролеин	7	20,8	33	135,4				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки: древесина								
CO	89	465,6	89	465,6	46	53	28	$\tau_{эф1}=25$ $\tau_{эф2}=25$
HCl	-							
Акролеин	21	23,7	-	-				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины: древесина								
CO	25	38	25	38	32	37	20	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	н.д.							
Акролеин	9	20,8	44	135,4				
HCN	н.д.							
48. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	54	65,8	54	65,8	51	58	30	$\tau_{эф1}=32$ $\tau_{эф2}=32$
HCl	н.д.							
Акролеин	19	21,8	104	586,8				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	31	58,4	31	58,4	31	36	19	$\tau_{эф1}=20$ $\tau_{эф2}=20$
HCl	н.д.							
Акролеин	11	21,5	59	400,6				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	24	58,4	24	58,4	24	28	15	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	н.д.							
Акролеин	8	21,5	45	400,6				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	н.д.				59	66	33	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхлённый								
CO	н.д.				24	31	16	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	н.д.				39	69	66	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	н.д.				30	35	15	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	9	20,9	27	48				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	27	48,3	27	48,3	140	155	35	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=18$
HCl	н.д.							
Акролеин	9	20,9	45	170,2				
HCN	н.д.							
56. Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	н.д.				46	52	27	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхлённый								
CO	н.д.				104	127	196	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58. Склад льноволокна								
CO	н.д.				18	22	33	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	н.д.				124	139	82	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ППМА)								
CO	н.д.				110	126	77	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	н.д.				145	166	104	$\tau_{эф1}=48$ $\tau_{эф2}=134$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	11	21,7	59	497,5				
HCN	н.д.							
62. Упаковка: бумага + картон + поли(этилен + стирол): (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	н.д.				123	140	63	$\tau_{эф1}=109$ $\tau_{эф2}=109$
HCl	н.д.							
Акролеин	14	24,2	-	-				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	35	85,6	35	85,6	63	72	32	$\tau_{эф1}=23$ $\tau_{эф2}=23$
HCl	н.д.							
Акролеин	12	22,4	78	245,3				
HCN	н.д.							
64. Отделка: ковровин								
CO	н.д.			47	65	22	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	н.д.			133	151	86	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	н.д.			72	96	47	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67. Автомобиль. 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, иск. кожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	н.д.			65	75	26	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Примечания:

эффективность по защите от монооксида углерода принималась $\tau_{эф1CO} = 0$ (самоспасатель «Феникс» №2);

н.д. – нет данных о выделении токсичного газа,

– – не представляет опасности: не выделяется при горении, либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;

температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т. е. неравномерность распределения ОП в объеме помещения не учитывается.

Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 500 м³ (25x5x4 м, Z = 0,77) с различной типовой ПН

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	$\tau_1, с$	$T_1, ^\circ C$	$\tau_2, с$	$T_2, ^\circ C$	$\tau_{кр}^I, с$	$\tau_{кр}^{O_2}, с$	$\tau_{кр}^{H_2}, с$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	113	50,5	113	50,5	142	168	53	$\tau_{эф1}=74$ $\tau_{эф2}=74$
HCl	н.д.							
Акролеин	39	21,2	207	268,9				
HCN	н.д.							
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	113	52,7	113	52,7	139	171	79	$\tau_{эф1}=74$ $\tau_{эф2}=74$
HCl	н.д.							
Акролеин	39	21,3	209	300,7				
HCN	н.д.							
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	32	50,5	35	50,5	40	48	15	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	н.д.							
Акролеин	11	21,2	59	268,9				
HCN	н.д.							
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	32	52,7	32	52,7	39	49	22	$\tau_{эф1}=21$ $\tau_{эф2}=21$
HCl	н.д.							
Акролеин	11	21,3	59	300,7				
HCN	н.д.							
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание I CO								
CO	109	65,9	109	65,9	121	149	78	$\tau_{эф1}=75$ $\tau_{эф2}=75$
HCl	н.д.							
Акролеин	34	21,3	183	308,3				
HCN	н.д.							
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание III CO								
CO	50	66	50	66	56	69	36	$\tau_{эф1}=34$ $\tau_{эф2}=34$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	21,3	84	308,3				
HCN	н.д.							
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	54	51,6	54	51,6	68	84	40	$\tau_{эф1}=35$ $\tau_{эф2}=35$
HCl	н.д.							
Акролеин	19	21,3	101	285,4				
HCN	н.д.							
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	52	62,8	52	62,8	60	71	39	$\tau_{эф1}=35$ $\tau_{эф2}=35$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	21,2	87	276,4				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9 Помещение, облицованное панелями ДВП								
CO	н.д.				54	62	28	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
10. Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	69	62,8	62	62,8	78	93	51	τ _{эф1} =45 τ _{эф2} =45
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	22	21,2	114	276,4				
HCN	н.д.							
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	н.д.				80	141	25	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
12. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	96	54,8	96	54,8	116	143	78	τ _{эф1} =63 τ _{эф2} =63
HCl	н.д.							
Акролеин	33	21,4	178	334,6				
HCN	-	-	-	-				
13. Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах								
CO	н.д.				158	188	107	τ _{эф1} =108 τ _{эф2} =108
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	50	21,8	280	615,3				
HCN	н.д.							
14. Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	50	50,5	50	50,5	63	75	40	τ _{эф1} =33 τ _{эф2} =33
HCl	н.д.							
Акролеин	17	21,2	91	268,9				
HCN	н.д.							
15. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	н.д.				32	45	18	τ _{эф1} =8 τ _{эф2} =8
HCl	6	20,4	14	25,1				
Акролеин	н.д.							
HCN	9	21,5	30	72,5				
16. Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё								
CO	н.д.				79	95	28	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	93	55	93	55	113	136	67	τ _{эф1} =60 τ _{эф2} =60
HCl	н.д.							
Акролеин	33	21,4	175	339,3				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18. Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	87	54,7	87	54,7	106	128	69	τ _{эф1} =57 τ _{эф2} =57
HCl	н.д.							
Акролеин	30	21,4	163	334,6				
HCN	н.д.							
19. Издательства, типографии								
CO	н.д.				335	419	261	τ _{эф1} =222 τ _{эф2} =222
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	113	21,9	652,8	743,5				
HCN	н.д.							
20. Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
CO	80	55,4	80	55,4	97	115	48	τ _{эф1} =52 τ _{эф2} =52
HCl	н.д.							
Акролеин	28	21,4	150	345				
HCN	89	68,7	-	-				
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	91	52	91	52	113	137	64	τ _{эф1} =59 τ _{эф2} =59
HCl	н.д.							
Акролеин	32	21,3	168	289,7				
HCN	н.д.							
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	н.д.				148	208	98	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
23. Химическое вещество: толуол								
CO	н.д.				40	66	3	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
CO	н.д.				19	34	2	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	н.д.				55	92	21	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
CO	н.д.				83	144	30	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Продолжение табл П2 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27 Бензин А-76								
CO	н.д.				28	47	5	н д
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
28. Керосин								
CO	н.д.				39	65	4	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
29. Дизельное топливо: соляр								
CO	н.д.				37	60	3	н д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
30. Сырье для нефтехимии: нефть								
CO	н.д.				66	108	7	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
31 Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
CO	н.д.				56	68	10	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
32. Индустриальное масло								
CO	н.д.				38	53	4	н д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
33. Кабельный подвал: кабели АBBГ + АПВГ								
CO	н.д.				121	142	47	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
CO	н.д.				83	102	38	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
CO	н.д.				139	170	56	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	273	1035,9	-	-				

Продолжение табл П2.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС								
CO	н.д.				72	85	26	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
37. Электрокабель АBBГ: ПВХ оболочка + изоляция								
CO	н.д.				130	167	44	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	307	3819,3	-	-				
38. Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен								
CO	н.д.				106	118	51	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
39. Кабели + провода: 0,75*(АBBГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)								
CO	н.д.				103	121	40	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен								
CO	н.д.				362	435	144	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	-	-	-	-				
41. Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, искожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
CO	н.д.				73	90	33	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес								
CO	36	50,5	36	50,5	46	55	29	$\tau_{эф1}=23$ $\tau_{эф2}=23$
HCl	н.д.							
Акролеин	13	21,2	67	268,9				
HCN	н.д.							
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
CO	78	50,7	78	50,7	98	118	60	$\tau_{эф1}=51$ $\tau_{эф2}=51$
HCl	н.д.							
Акролеин	27	21,2	143	272,3				
HCN	н.д.							
44. Лесопильный цех I-III CO: древесина								
CO	47	50,5	47	50,5	60	72	38	$\tau_{эф1}=30$ $\tau_{эф2}=30$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	21,2	87	268,9				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45 Лесопильный цех IV-V CO: древесина								
CO	37	50,5	37	50,5	46	55	29	$\tau_{эф1}=24$ $\tau_{эф2}=24$
HCl	н.д.							
Акролеин	13	21,2	67	268,9				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки древесина								
CO	70	50,5	70	50,5	89	106	56	$\tau_{эф1}=46$ $\tau_{эф2}=46$
HCl	н.д.							
Акролеин	24	21,2	129	268,9				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины древесина								
CO	49	50,5	49	50,5	62	74	39	$\tau_{эф1}=32$ $\tau_{эф2}=32$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	21,2	90	268,9				
HCN	н.д.							
48. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	107	102,5	107	102,5	99	117	59	$\tau_{эф1}=63$ $\tau_{эф2}=63$
HCl	н.д.							
Акролеин	36	22,9	-	-				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	62	88	62	88	61	73	38	$\tau_{эф1}=40$ $\tau_{эф2}=40$
HCl	н.д.							
Акролеин	21	22,5	142	3329,3				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	47	88	47	88	47	56	30	$\tau_{эф1}=31$ $\tau_{эф2}=31$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	22,5	109	3329,3				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	н.д.				114	132	65	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхленный								
CO	н.д.				46	63	31	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	н.д.				76	154	143	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	н.д.				58	69	30	$\tau_{эф1}=36$ $\tau_{эф2}=41$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	17	21,4	53	68,5				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	53	68,9	53	68,9	270	310	68	$\tau_{эф1}=36$ $\tau_{эф2}=36$
HCl	н.д.							
Акролеин	17	21,5	92	379,6				
HCN	н.д.							
56 Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	н.д.				89	104	53	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхленный								
CO	н.д.				200	256	488	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58 Склад льноволокна								
CO	н.д.				34	44	82	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	н.д.				239	279	161	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ППМА)								
CO	н.д.				213	254	151	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	н.д.				281	333	205	$\tau_{эф1}=260$ $\tau_{эф2}=260$
HCl	н.д.							
Акролеин	21	22,7	-	-				
HCN	н.д.							
62. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол. (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	н.д.				238	280	124	$\tau_{эф1}=210$ $\tau_{эф2}=210$
HCl	н.д.							
Акролеин	28	26,9	-	-				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	70	144	70	144	122	143	63	$\tau_{эф1}=46$ $\tau_{эф2}=46$
HCl	н.д.							
Акролеин	24	23,9	-	-				
HCN	н.д.							
64. Отделка: ковровин								
CO	н.д.			91	133	43	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	н.д.			257	303	170	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	н.д.			139	195	92	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67. Автомобиль: 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ППУ, иск. кожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	н.д.			125	150	51	н.д.	
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Примечания:

эффективность по защите от монооксида углерода принималась $\tau_{эф1CO} = 0$ (самоспасатель «Феникс» №2);

н.д. – нет данных о выделении токсичного газа;

-- не представляет опасности: не выделяется при горении, либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;

температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т. е. неравномерность распределения ОФП в объеме помещения не учитывается.

Таблица П2.6
Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 1000 м³
(20×10×5 м, Z = 0,54) с различной типовой ПН

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	$\tau_1, с$	$T_1, ^\circ C$	$\tau_2, с$	$T_2, ^\circ C$	$\tau_{кр}^T, с$	$\tau_{кр}^{O_2}, с$	$\tau_{кр}^{H_2}, с$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO - степень огнестойкости))								
CO	160	64,8	160	64,8	198	243	75	$\tau_{эф1}=105$ $\tau_{эф2}=105$
HCl	н.д.							
Акролеин	55	21,7	311	556,4				
HCN	н.д.							
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	160	68,2	160	68,2	194	250	112	$\tau_{эф1}=105$ $\tau_{эф2}=105$
HCl	н.д.							
Акролеин	55	21,8	316	668,8				
HCN	н.д.							
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	45	64,8	45	64,8	56	69	21	$\tau_{эф1}=29$ $\tau_{эф2}=29$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	21,7	88	556,4				
HCN	н.д.							
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	45	68,2	45	68,2	55	71	32	$\tau_{эф1}=29$ $\tau_{эф2}=29$
HCl	н.д.							
Акролеин	16	21,8	90	668,8				
HCN	н.д.							
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание I CO								
CO	156	89,1	156	89,1	169	217	110	$\tau_{эф1}=108$ $\tau_{эф2}=108$
HCl	н.д.							
Акролеин	48	21,9	228	698				
HCN	н.д.							
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) - здание III CO								
CO	72	89,1	72	89,1	78	100	51	$\tau_{эф1}=50$ $\tau_{эф2}=50$
HCl	н.д.							
Акролеин	22	21,9	128	698				
HCN	н.д.							
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	78	66,6	78	66,6	95	123	57	$\tau_{эф1}=51$ $\tau_{эф2}=51$
HCl	н.д.							
Акролеин	27	21,8	152	612,8				
HCN	н.д.							
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	75	84,1	75	84,1	83	103	55	$\tau_{эф1}=52$ $\tau_{эф2}=52$
HCl	н.д.							
Акролеин	23	21,8	131	581,3				
HCN	н.д.							

Продолжение табл. П2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
9. Помещение, облицованное панелями ДВП								
CO	н.д.				75	90	40	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
10. Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	98	84,1	98	84,1	109	135	72	τ _{эф1} =67 τ _{эф2} =67
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	31	21,8	172	581,3				
HCN	н.д.							
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	н.д.				218	432	72	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
12. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	136	71,5	136	71,5	162	208	111	τ _{эф1} =89 τ _{эф2} =89
HCl	н.д.							
Акролеин	47	22	273	808,2				
HCN	н.д.							
13. Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах								
CO	н.д.				221	274	151	τ _{эф1} =151 τ _{эф2} =151
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	70	22,5	485	4919				
HCN	н.д.							
14. Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	71	64,8	71	64,8	88	109	56	τ _{эф1} =47 τ _{эф2} =47
HCl	н.д.							
Акролеин	24	21,7	137	556,4				
HCN	н.д.							
15. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	н.д.				44	67	26	τ _{эф1} =12 τ _{эф2} =36
HCl	8	20,5	20	27,2				
Акролеин	н.д.							
HCN	13	22,1	43	99,7				
16. Резинотехнические изделия: резина, изделия из неё								
CO	н.д.				110	137	39	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
17. Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	133	71,8	133	71,8	158	198	94	τ _{эф1} =87 τ _{эф2} =87
HCl	н.д.							
Акролеин	46	22	267	829,3				
HCN	н.д.							

Продолжение табл. П2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
18. Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	124	71,3	124	71,3	148	186	98	τ _{эф1} =81 τ _{эф2} =81
HCl	н.д.							
Акролеин	43	22	250	808,2				
HCN	н.д.							
19. Издательства, типографии								
CO	н.д.				495	608	370	τ _{эф1} =335 τ _{эф2} =335
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	160	22,7	-	-				
HCN	н.д.							
20. Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
CO	114	72,4	114	72,4	135	167	68	τ _{эф1} =75 τ _{эф2} =75
HCl	н.д.							
Акролеин	39	22	230	855,9				
HCN	н.д.							
21. Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	220	332,6	220	332,6	158	200	90	τ _{эф1} =82 τ _{эф2} =82
HCl	146	88,9	-	-				
Акролеин	76	29	-	-				
HCN	127	93,6	-	-				
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	н.д.				207	310	139	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
23. Химическое вещество: толуол								
CO	н.д.				109	202	8	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
24. Химическое вещество: ксилол								
CO	н.д.				52	103	6	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	н.д.				225	443	86	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
CO	н.д.				76	143	14	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Продолжение табл П2 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
27. Бензин А-76								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			76	143	14	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
28. Керосин								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			107	200	11	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
29. Дизельное топливо: соляр								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			99	183	8	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
30. Сырьё для нефтехимии. нефть								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			180	329	19	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			152	204	28	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
32. Индустриальное масло								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			104	159	10	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
33. Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			169	260	67	$\tau_{эф1}=169$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=169$
НСН		-	-	-				
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			116	149	54	$\tau_{эф1}=116$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=116$
НСН		-	-	-				
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			194	247	79	$\tau_{эф1}=194$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=194$
НСН		-	-	-				

Продолжение табл. П2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
36 Провода в резиновой изоляции типа КИРТ, ПТ, ВПРС								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			100	124	36	$\tau_{эф1}=100$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=100$
НСН		-	-	-				
37. Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			181	245	63	$\tau_{эф1}=181$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=181$
НСН		-	-	-				
38. Электрокабель АПВГ: ПВХ оболочка + полиэтилен								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			160	191	73	$\tau_{эф1}=160$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=160$
НСН		-	-	-				
39. Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КИРТ, ПР, ШПРС)								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			114	176	56	$\tau_{эф1}=114$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=114$
НСН		-	-	-				
40 Телефонный кабель ТПВ. ПВХ + полиэтилен								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			504	633	204	$\tau_{эф1}=504$
Акролеин		н.д.						$\tau_{эф2}=504$
НСН		-	-	-				
41. Зал 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, искажа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
СО		н.д.						
НСИ		н.д.			102	131	47	н.д.
Акролеин		н.д.						
НСН		н.д.						
42. Штабель древесины: хвойный + лиственный лес								
СО	52	64,8	52	64,8				
НСИ		н.д.			64	80	41	$\tau_{эф1}=34$
Акролеин	18	21,7	101	556,4				$\tau_{эф2}=34$
НСН		н.д.						
43. Дерево + лакокрасочное покрытие: 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
СО	111	65,2	111	65,2				
НСИ		н.д.			137	171	84	$\tau_{эф1}=73$
Акролеин	38	21,7	215	567,5				$\tau_{эф2}=73$
НСН		н.д.						
44. Лесопильный цех I-III СО: древесина								
СО	67	64,8	67	64,8				
НСИ		н.д.			83	104	54	$\tau_{эф1}=44$
Акролеин	23	21,7	131	556,4				$\tau_{эф2}=44$
НСН		н.д.						

Продолжение табл. П2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
45. Лесопильный цех IV-V CO: древесина								
CO	52	65	52	65	64	80	41	$\tau_{эф1}=34$ $\tau_{эф2}=34$
HCl	н.д.							
Акролеин	18	21,7	101	556,4				
HCN	н.д.							
46. Цех деревообработки: древесина								
CO	100	64,8	100	64,8	124	154	79	$\tau_{эф1}=65$ $\tau_{эф2}=65$
HCl	н.д.							
Акролеин	35	21,7	193	556,4				
HCN	н.д.							
47. Цех сушки древесины: древесина								
CO	70	64,8	70	64,8	87	108	56	$\tau_{эф1}=46$ $\tau_{эф2}=46$
HCl	н.д.							
Акролеин	24	21,7	135	556,4				
HCN	н.д.							
48. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	154	151,2	154	151,2	138	169	83	$\tau_{эф1}=87$ $\tau_{эф2}=87$
HCl	н.д.							
Акролеин	51	24	-	-				
HCN	н.д.							
49. Хвойные древесные материалы: штабель								
CO	89	125,7	89	125,7	85	106	53	$\tau_{эф1}=55$ $\tau_{эф2}=55$
HCl	н.д.							
Акролеин	30	23,5	-	-				
HCN	н.д.							
50. Лиственные древесные материалы: штабель								
CO	68	125,7	68	125,7	65	81	43	$\tau_{эф1}=42$ $\tau_{эф2}=42$
HCl	н.д.							
Акролеин	23	23,5	-	-				
HCN	н.д.							
51. Клеёные стройматериалы: фанера								
CO	н.д.				159	190	91	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
52. Сырьё для легкой промышленности: хлопок разрыхлённый								
CO	н.д.				64	92	44	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
53. Сырьё для легкой промышленности: хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	н.д.				106	-	71	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Продолжение табл. П2.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
54. Сырьё для легкой промышленности: шерсть								
CO	н.д.				81	101	42	$\tau_{эф1}=52$ $\tau_{эф2}=57$
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	24	22	76	93,3				
55. Пищевая промышленность: пшеница, гречиха и мука								
CO	76	93,9	76	93,9	377	448	96	$\tau_{эф1}=52$ $\tau_{эф2}=52$
HCl	н.д.							
Акролеин	24	22	143	1033,9				
HCN	н.д.							
56. Сырьё и изделия из синтетического каучука								
CO	н.д.				124	150	75	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
57. Сырьё для легкой промышленности: лён разрыхлённый								
CO	н.д.				60	81	40	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
58. Склад льноволокна								
CO	н.д.				48	64	32	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
59. Склад хлопка в тюках								
CO	н.д.				334	405	229	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
60. Склад оргстекла (ППМА)								
CO	н.д.				298	368	214	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
61. Склад бумаги в рулонах								
CO	н.д.				392	483	291	$\tau_{эф1}=363$ $\tau_{эф2}=363$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	29	23,8	-	-				
HCN	н.д.							
62. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол: (0,4+0,3+0,15+0,15)								
CO	н.д.				332	406	175	$\tau_{эф1}=292$ $\tau_{эф2}=292$
HCl	-	-	-	-				
Акролеин	40	29,8	-	-				
HCN	н.д.							

1	2	3	4	5	6	7	8	9
63 Тара: древесина + картон + полистирол (0,5+0,25+0,25)								
CO	102	231,2	102	231,2	170	208	89	$\tau_{эф1}=69$ $\tau_{эф2}=69$
HCl	н.д.							
Акролеин	33	25,5	-	-				
HCN	н.д.							
64. Отделка: ковровлин								
CO	н.д.				127	200	61	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
65. Занавес зрительного зала кинотеатра								
CO	н.д.				358	439	240	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
66. Вешала текстильных изделий (гардеробная)								
CO	н.д.				194	290	130	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							
67 Автомобиль 0,3*(резина, бензин) + 0,15*(ПШУ, иск. кожа ПВХ) + 0,1*эмаль								
CO	н.д.				175	218	72	н.д.
HCl	н.д.							
Акролеин	н.д.							
HCN	н.д.							

Примечания:

эффективность по защите от монооксида углерода принималась $\tau_{эф1CO} = 0$ (самоспасатель «Феникс» №2);

н.д. – нет данных о выделении токсичного газа;

-- не представляет опасности: не выделяется при горении либо выделяется при горении, но не достигает предела АВП;

температуры, указанные в колонках 3 и 5 являются среднеобъемными, т.е. неравномерность распределения ОФП в объеме помещения не учитывается

Таблица П2 7
Эффективность использования самоспасателей в помещениях объемом 108 м³
(6х6х3 м, Z=1,252) с различной типовой ПН [11, 23]

Токсичный газ	В помещении		Подмасочное пространство		В помещении			Эффективность, с
	τ_1, c	$T_1, ^\circ C$	τ_2, c	$T_2, ^\circ C$	$\tau_{кр}^I, c$	$\tau_{кр}^{O_2}, c$	$\tau_{кр}^{H_2}, c$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Мебель + бытовые изделия (здание I-II CO (CO – степень огнестойкости))								
CO	-	-	-	-	74	84	27	$\tau_{эф1}=34$ $\tau_{эф2}=34$
HCl	40	26,1	99	127				
2. Мебель + ткани (здание I-II CO)								
CO	-	-	-	-	72	85	40	$\tau_{эф1}=18$ $\tau_{эф2}=18$
HCl	54	35,7	147	601,2				
3. Мебель + бытовые изделия (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	21	24	8	$\tau_{эф1}=10$ $\tau_{эф2}=10$
HCl	11	26,1	28	127				
4. Мебель + ткани (здание III-IV CO)								
CO	-	-	-	-	20	24	12	$\tau_{эф1}=5$ $\tau_{эф2}=5$
HCl	15	35,7	42	601,2				
5. Мебель + ткани (0,75+0,25) – здание I CO								
CO	147	1269,4	147	1269,4	63	74	40	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
6. Мебель + ткани (0,75+0,25) – здание III CO								
CO	68	1269,4	68	1269,4	29	34	18	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)								
CO	44	102,8	44	102,8	35	42	20	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	54	193	-	-				
8. Кабинет: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	52	273,7	52	273,2	31	35	20	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
9. Помещение, облицованное панелями ПВХ								
CO	72	2238	72	2238	28	31	14	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
10. Административное помещение: мебель + бумага (0,75+0,25)								
CO	60	172	60	172	40	46	26	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
11. Лекарственные препараты: этиловый спирт + глицерин (0,95+0,05)								
CO	10	54,9	10	54,9	11	17	3	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				
12. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)								
CO	104	301,1	104	301,1	60	71	40	$\tau_{эф1}=16$ $\tau_{эф2}=16$
HCl	44	35,5	121	576,3				
13. Библиотеки, архивы: книги, журналы на стеллажах								
CO	90	74,2	90	74,2	82	94	54	$\tau_{эф1}=0$ $\tau_{эф2}=0$
HCl	0	-	-	-				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14 Сценическая часть зрительного зала: древесина								
CO	63	465,6	63	465,6	33	38	20	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
15 Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)								
CO	-	-	-	-	16	22	9	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
16 Резинотехнические изделия: резина, изделия из нее								
CO	-	-	-	-	41	47	14	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
17 Окрашенные полы, стены: дерево + краска РХО (0,9+0,1)								
CO	95	235,6	95	235,6	58	68	34	$\tau_{эф1}=0$
HCl	81	141,6	-	-				$\tau_{эф2}=0$
18 Выставочный зал, мастерская: дерево + ткани + краски (0,9+0,09+0,01)								
CO	109	537,9	109	537,9	55	64	35	$\tau_{эф1}=0$
HCl	-	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
19. Издательства, типографии								
CO	169	51	169	51	183	209	132	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
20. Каюта с синтетической отделкой: дерево + ткани + отделка								
CO	79	207,4	79	207,4	50	57	24	$\tau_{эф1}=26$
HCl	24	24,2	59	87,1				$\tau_{эф2}=26$
21 Мебель: дерево + облицовка (0,9+0,1)								
CO	94	225	94	225	59	68	32	$\tau_{эф1}=7$
HCl	52	46,6	-	-				$\tau_{эф2}=7$
22. Промтовары: текстильные изделия								
CO	105	133,9	105	133,9	77	102	50	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
23. Химическое вещество: толуол								
CO	15	139,7	15	139,7	6	8	0,4	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
24. Химическое вещество. ксилол								
CO	7	140,9	7	140,9	2,6	4	0,3	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
25. Химическое вещество: ацетон								
CO	7,2	57,4	7,2	57,4	7,6	11,4	3	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
26. Химическое вещество: этиловый спирт								
CO	10	55,2	10	55,2	11	18	4	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
27. Бензин А-76								
CO	9	122,4	9	122,4	4	6	0,6	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
28 Керосин								
CO	16	149,8	16	149,8	5	8	0,5	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
29. Дизельное топливо: соляр								
CO	20	207,7	20	207,7	5	7	0,4	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
30. Сырьё для нефтехимии. нефть								
CO	24	138,5	24	138,5	9	13	0,9	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
31. Теплоноситель: турбинное масло ТП-22								
CO	27	185	27	185	8	9	1,3	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
32. Индустриальное масло								
CO	19	190	19	190	5	7	0,5	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
33. Кабельный подвал: кабели АВВГ + АПВГ								
CO	82	117	82	117	63	71	24	$\tau_{эф1}=23$
HCl	40	29,6	101	225,6				$\tau_{эф2}=23$
34. Радиоматериалы: полиэтилен, -стирол, -пропил, гетинакс								
CO	66	188,5	66	188,5	43	51	19	$\tau_{эф1}=3$
HCl	40	52,3	-	-				$\tau_{эф2}=3$
35. Электротехнические материалы: текстолит, карболит								
CO	114	211	114	21	72	85	29	$\tau_{эф1}=9$
HCl	63	45,7	-	-				$\tau_{эф2}=9$
36. Провода в резиновой изоляции типа КПРТ, ПТ, ВПРС								
CO	-	-	-	-	37	43	13	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
37. Электрокабель АВВГ: ПВХ оболочка + изоляция								
CO	87	122,9	87	112,9	67	78	23	$\tau_{эф1}=30$
HCl	37	26,4	91,5	132,2				$\tau_{эф2}=30$
38 Электрокабель АПВГ. ПВХ оболочка + полиэтилен								
CO	78	120	78	120	59	66	26	$\tau_{эф1}=16$
HCl	43	34,6	116	492,7				$\tau_{эф2}=16$
39. Кабели + провода: 0,75*(АВВГ, АПВГ, ТПВ) + 0,25*(КПРТ, ПР, ШПРС)								
CO	80	180	80	180	53	61	20	$\tau_{эф1}=14$
HCl	39	35,3	108	562,5				$\tau_{эф2}=14$
40. Телефонный кабель ТПВ: ПВХ + полиэтилен								
CO	260	141,3	260	141,3	187	209	74	$\tau_{эф1}=53$
HCl	134	34,2	361	429,9				$\tau_{эф2}=53$
41. Зал: 0,5*ДВП + 0,1*(ткань, иск. кожа ПВХ, ППУ) + 0,2* дерево с покрытием								
CO	61	227,5	61	227,5	38	45	17	$\tau_{эф1}=16$
HCl	22	27,1	54	150				$\tau_{эф2}=16$

Продолжение табл П2 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
42 Штабель древесины хвойный + лиственный лес								
CO	46	465,6	46	465,6	24	28	15	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
43 Дерево + лакокрасочное покрытие 0,95* древесина + 0,05*(ФЛ + РХО)								
CO	108	742,3	108	742,3	51	59	30	$\tau_{эф1}=0$
HCl	96	421,9	-	-				$\tau_{эф2}=0$
44 Лесопильный цех I-III CO древесина								
CO	60	465,6	60	465,6	31	36	19	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
45 Лесопильный цех IV-V CO древесина								
CO	46	465,6	46	465,6	24	28	15	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
46 Цех деревообработки древесина								
CO	89	465,6	89	465,6	46	53	28	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
47 Цех сушки древесины древесина								
CO	62	465,6	62	465,6	32	37	20	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
48 Производство фанеры древесина + фанера (0,5+0,5)								
CO	66	109,8	66	109,8	51	58	30	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
49. Хвойные древесные материалы штабель								
CO	61	465,6	61	465,6	31	38	19	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
50 Лиственные древесные материалы штабель								
CO	47	465,6	47	465,6	24	28	15	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
51 Клееные стройматериалы фанера								
CO	65	75,6	65	75,6	59	66	33	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
52 Сырье для легкой промышленности хлопок разрыхленный								
CO	-	-	-	-	24	31	16	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
53 Сырье для легкой промышленности хлопок + капрон (0,75+0,25)								
CO	-	-	-	-	39	69	6	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
54 Сырье для легкой промышленности шерсть								
CO	-	-	-	-	30	35	15	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$
55 Пищевая промышленность пшеница, гречиха и мука								
CO	135	56	135	56	140	155	35	$\tau_{эф1}=0$
HCl	0	-	-	-				$\tau_{эф2}=0$

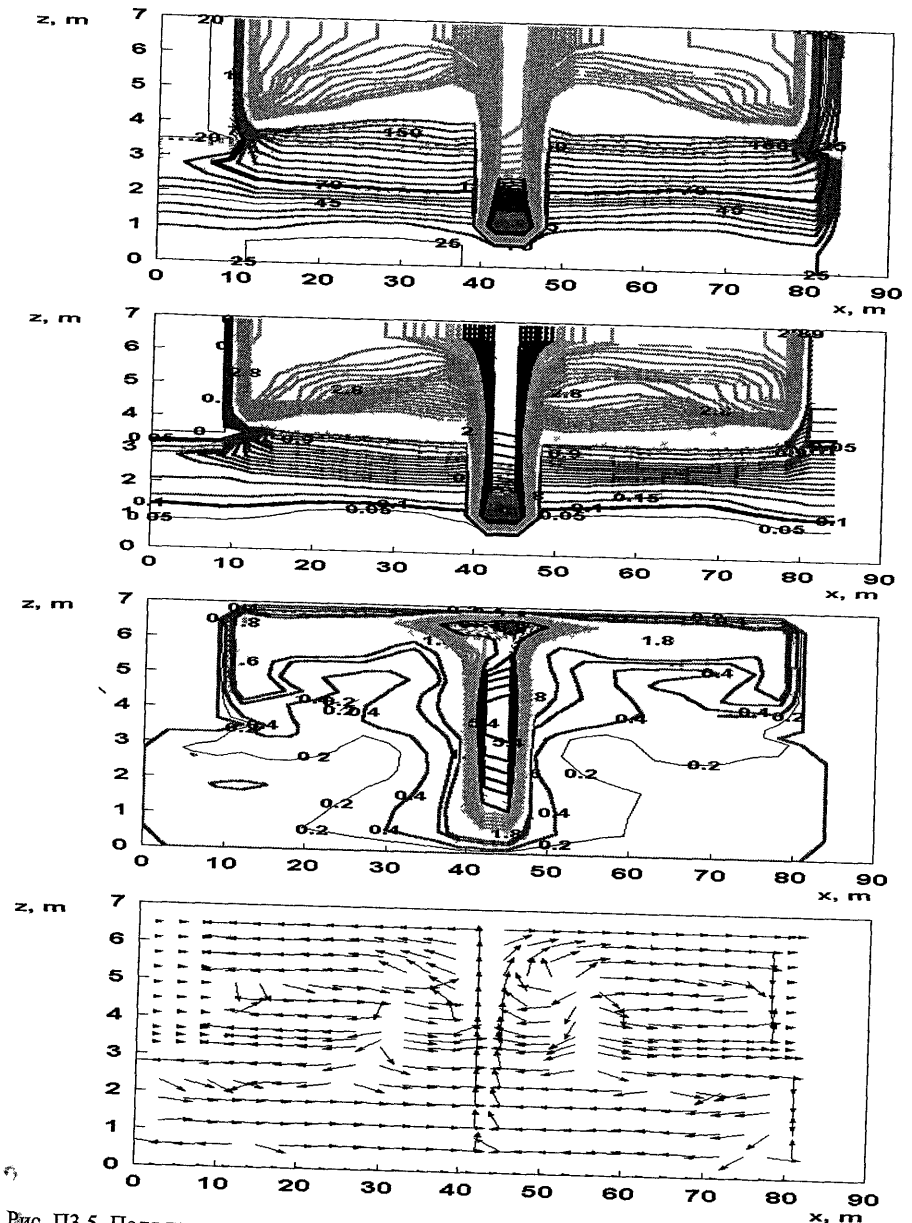


Рис ПЗ 5 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в продольном сечении торгового зала по оси 8 (место возгорания) через 720 с от начала пожара (расчет по полевой модели, многофункциональный торговый комплекс, серия «Линия», корпорация ГРИНН, г Воронеж, Бульвар Победы, д 38)

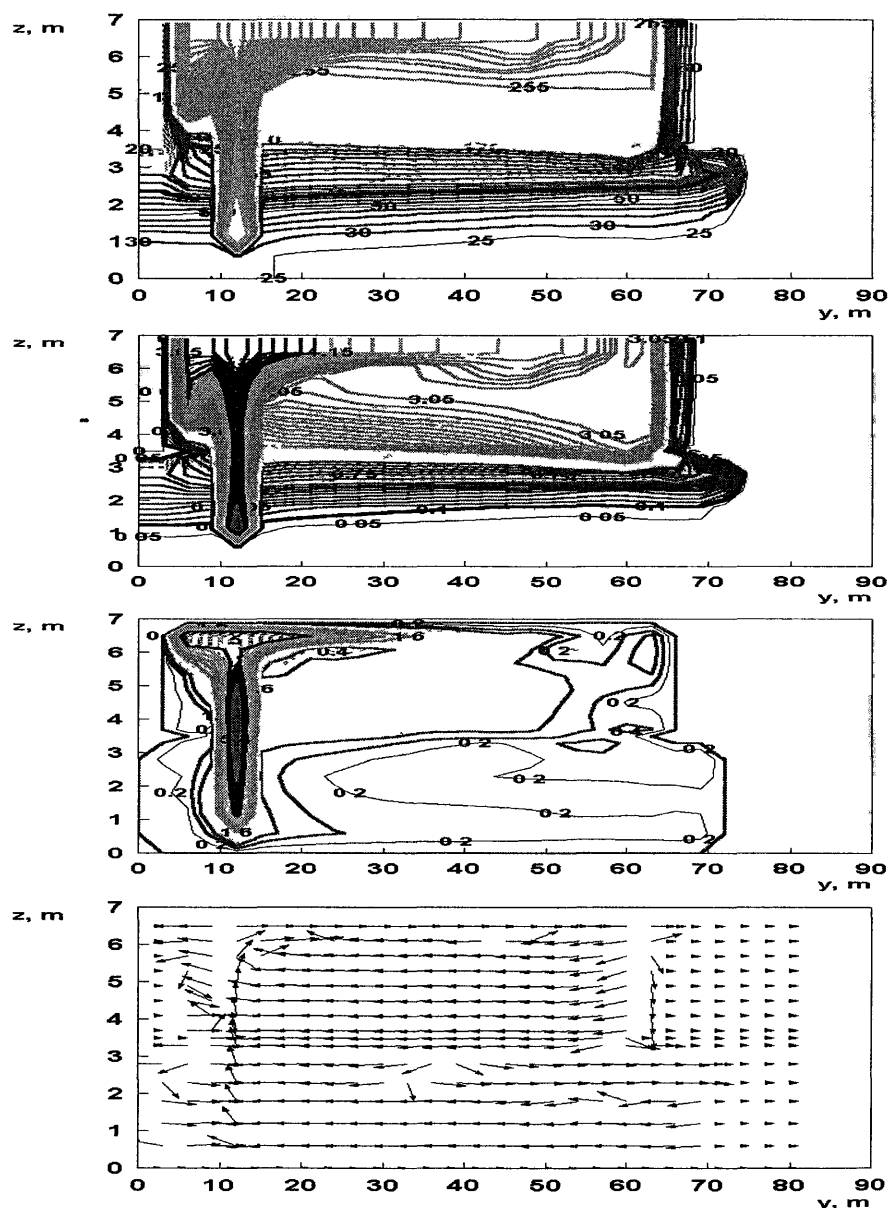


Рис 13.6 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в поперечном сечении торгового зала по оси Б (место возгорания) через 720 с от начала пожара (расчет по полевой модели, многофункциональный торговый комплекс, серия «Линия», корпорация ГРИНН, г Воронеж, Бульвар Победы, д 38)

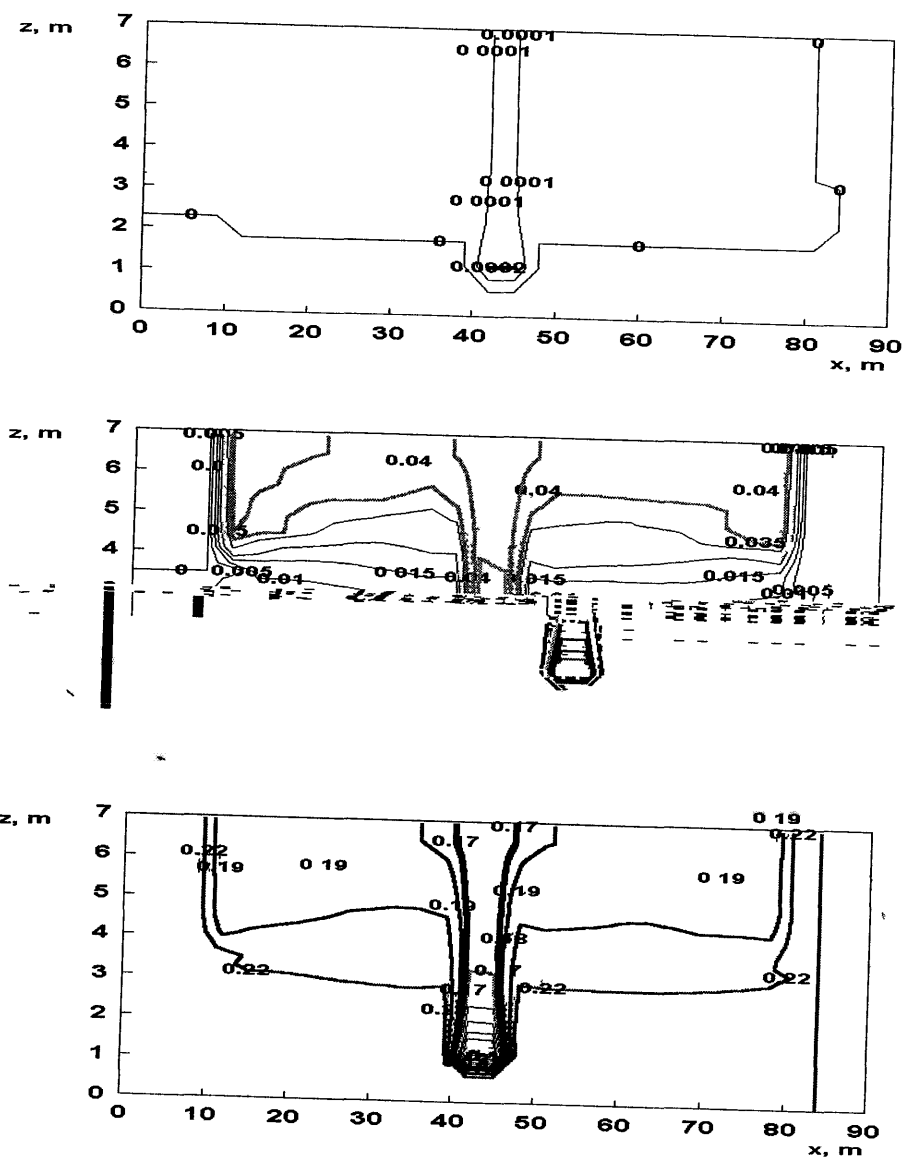


Рис 13.7 Поля массовых концентраций окиси и двуокси углерода и кислорода в продольном сечении торгового между осями Н-П (место возгорания) через 720 с от начала пожара (расчет по полевой модели, многофункциональный торговый комплекс, серия «Линия», корпорация ГРИНН, г Воронеж, Бульвар Победы, д 38)

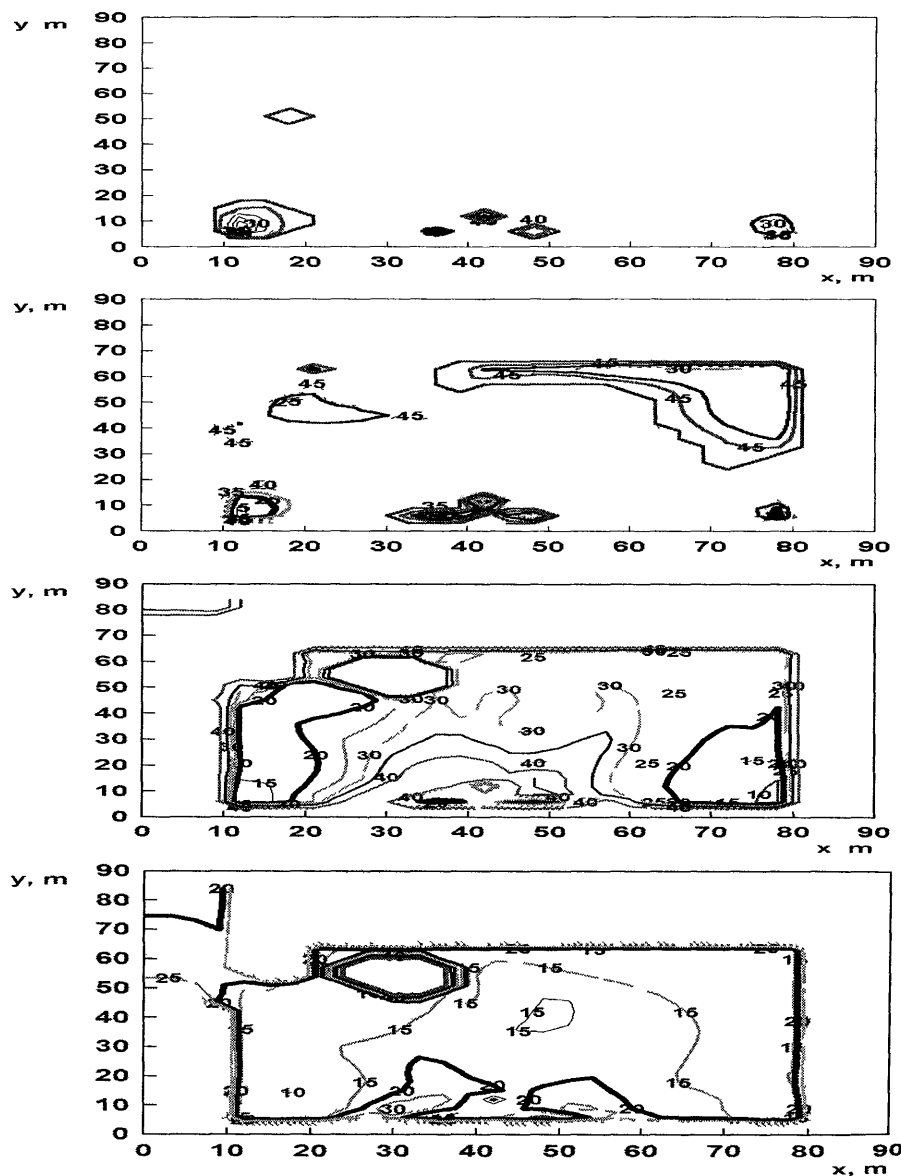


Рис ПЗ 8 Поля дальности видимости в газовой среде помещения в плоскости, параллельной полу антресоли (отметка +3 28) и отстоящей от него на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны), через 240, 300, 360 и 420 с от начала пожара (расчет по полевой модели, многофункциональный торговый комплекс, серия «Линия», корпорация ГРИНН, г Воронеж, Бульвар Победы, д 38)

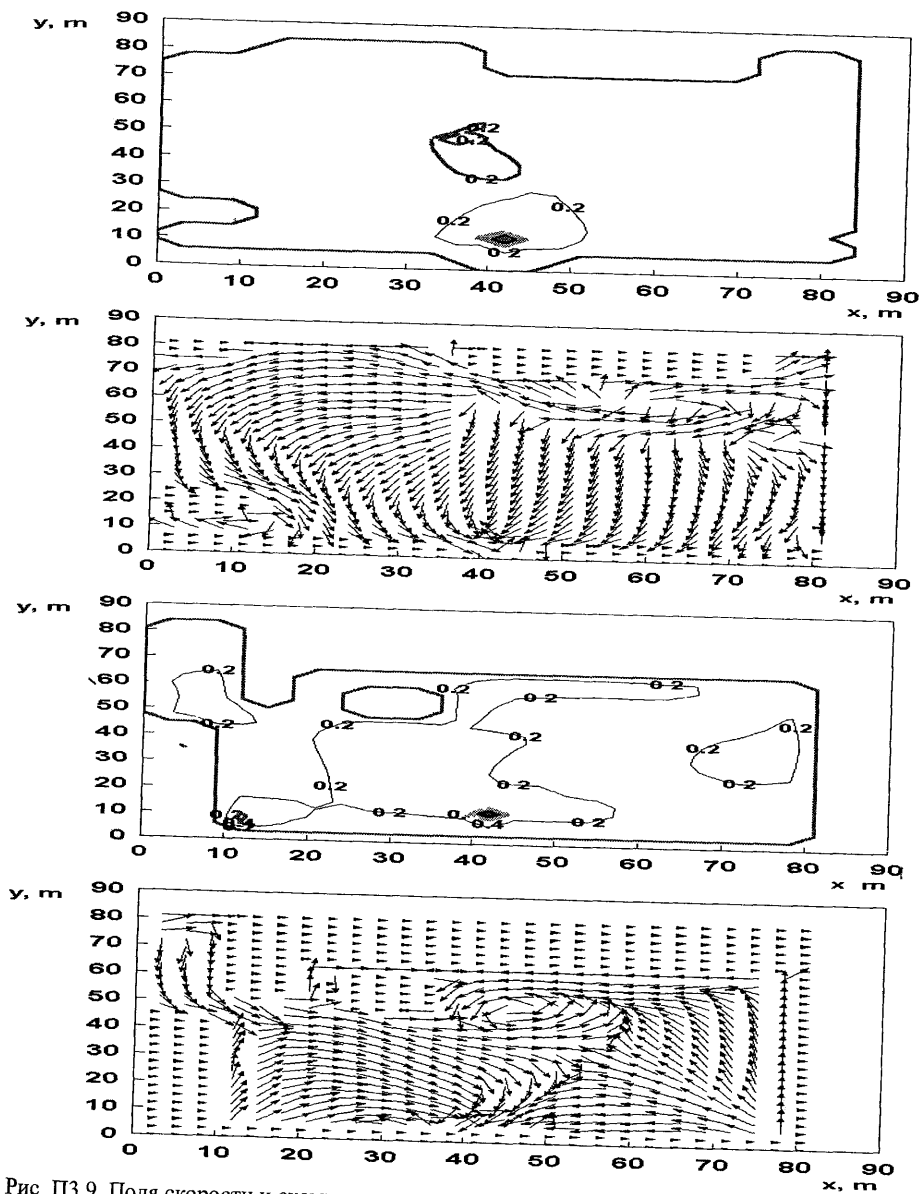


Рис ПЗ 9 Поля скорости и схемы течения в газовой среде помещения в плоскости, параллельной полу торгового зала (отметка 0 00) и полу антресоли (отметка +3 28) и отстоящей от него на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны), через 300 с от начала пожара (расчет по полевой модели, многофункциональный торговый комплекс, серия «Линия», корпорация ГРИНН, г Воронеж, Бульвар Победы, д 38)

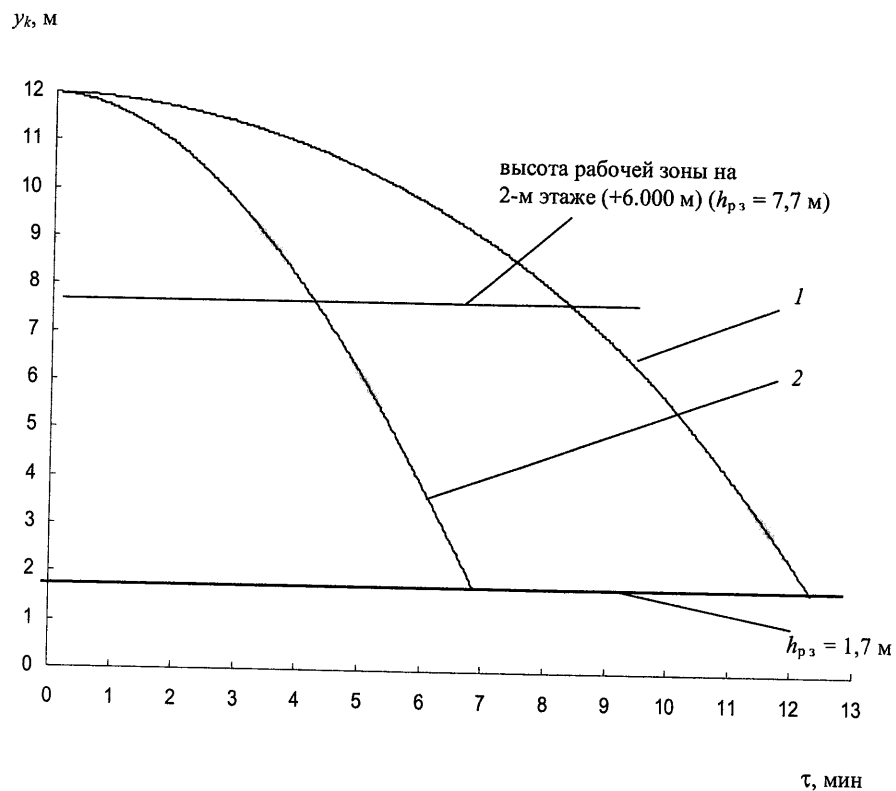


Рис ПЗ.10. Зависимость высоты нижней границы (y_k) задымленного нагретого припотолочного слоя газов в атриуме в осях 1-18/И-С от времени с начала пожара (расчет по зонной модели; торгово-развлекательный комплекс; г. Саратов, Кировский район, ул. Астраханская):
 1 – конвективная колонка высотой до перекрытия 1-го этажа;
 2 – конвективная колонка высотой до перекрытия 2-го этажа

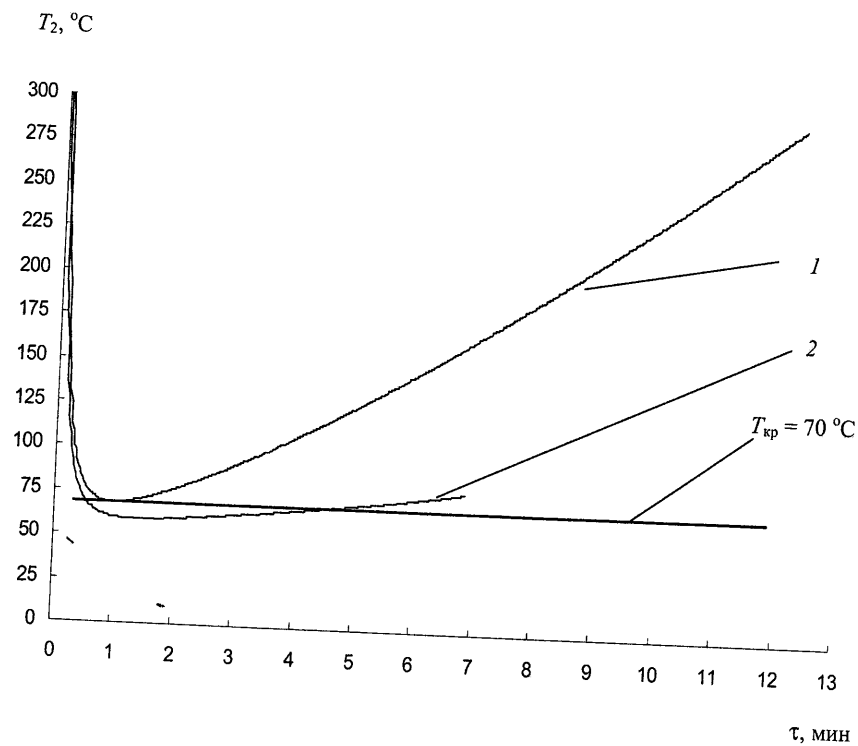


Рис. ПЗ 11 Зависимость средней температуры (T_2) задымленного нагретого припотолочного слоя газов в атриуме в осях 1-18/И-С от времени с начала пожара (расчет по зонной модели, торгово-развлекательный комплекс; г. Саратов, Кировский район, ул. Астраханская):
 1 – конвективная колонка высотой до перекрытия 1-го этажа;
 2 – конвективная колонка высотой до перекрытия 2-го этажа

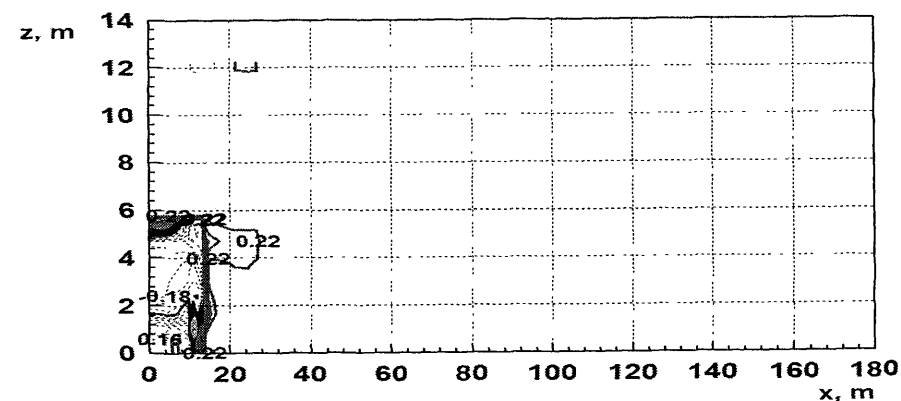
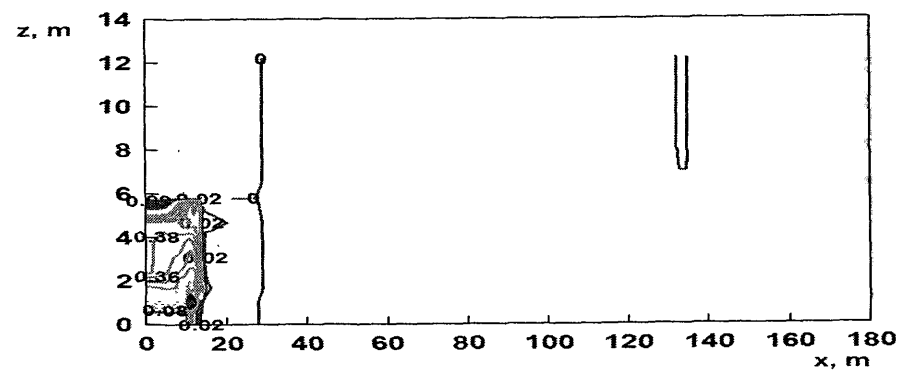
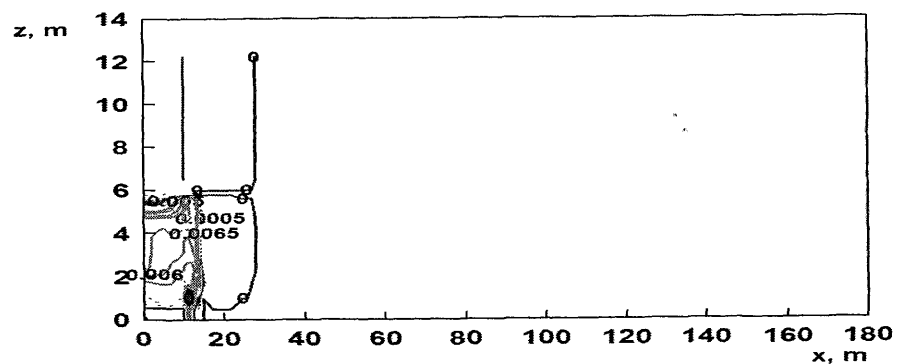


Рис. ПЗ.12. Поля массовых концентраций окиси и двуокиси углерода и кислорода в продольном сечении атриума между осями К/Л-Л (место возгорания) через 540 с от начала пожара (расчет по полевой модели; торгово-развлекательный комплекс; г. Саратов, Кировский район, ул. Астраханская)

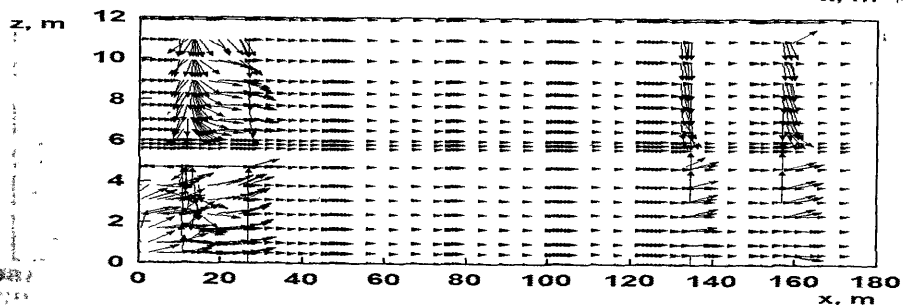
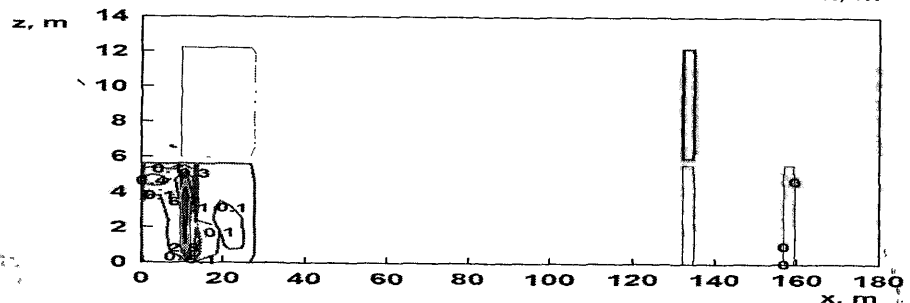
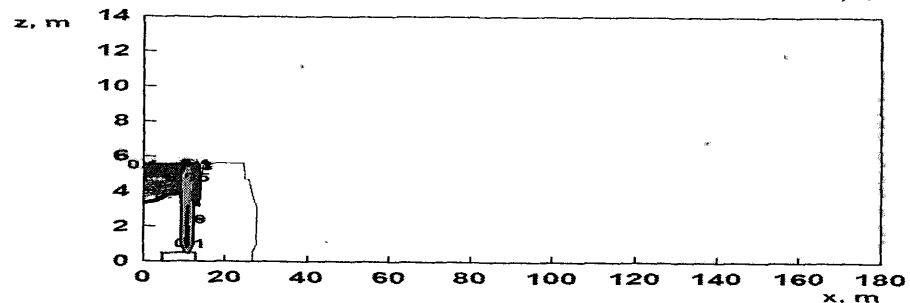
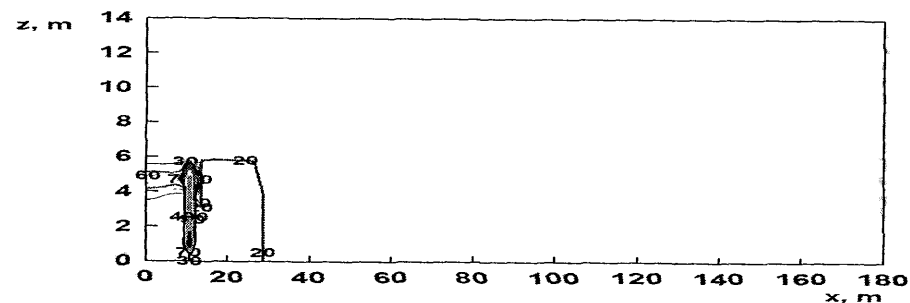


Рис. ПЗ.13. Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в продольном сечении атриума между осями К/Л-Л (место возгорания) через 120 с от начала пожара (расчет по полевой модели; торгово-развлекательный комплекс; г. Саратов, Кировский район, ул. Астраханская)

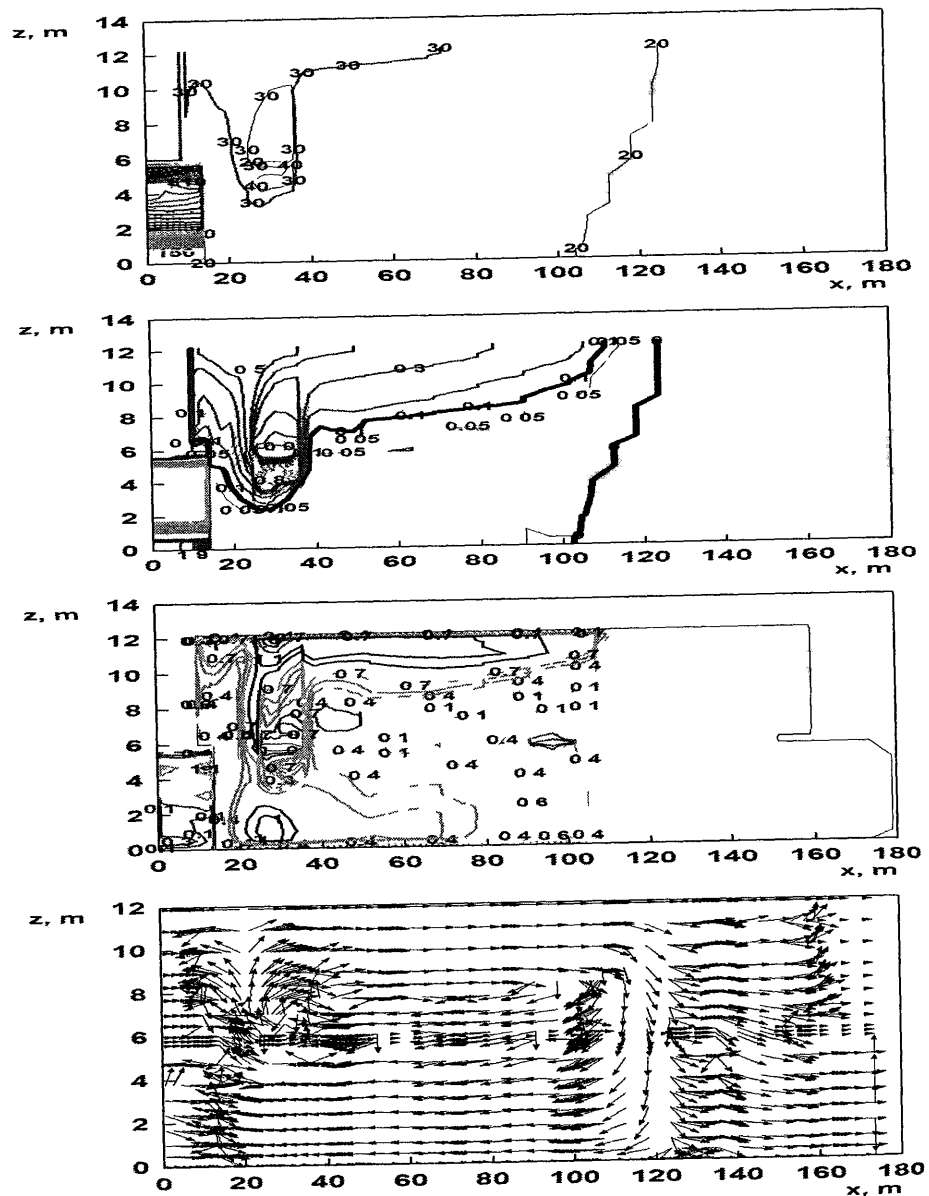


Рис ПЗ 14 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в продольном сечении атриума между осями Л-М через 480 с от начала пожара (расчет по полевой модели, торгово-развлекательный комплекс, г Саратов, Кировский район, ул Астраханская)

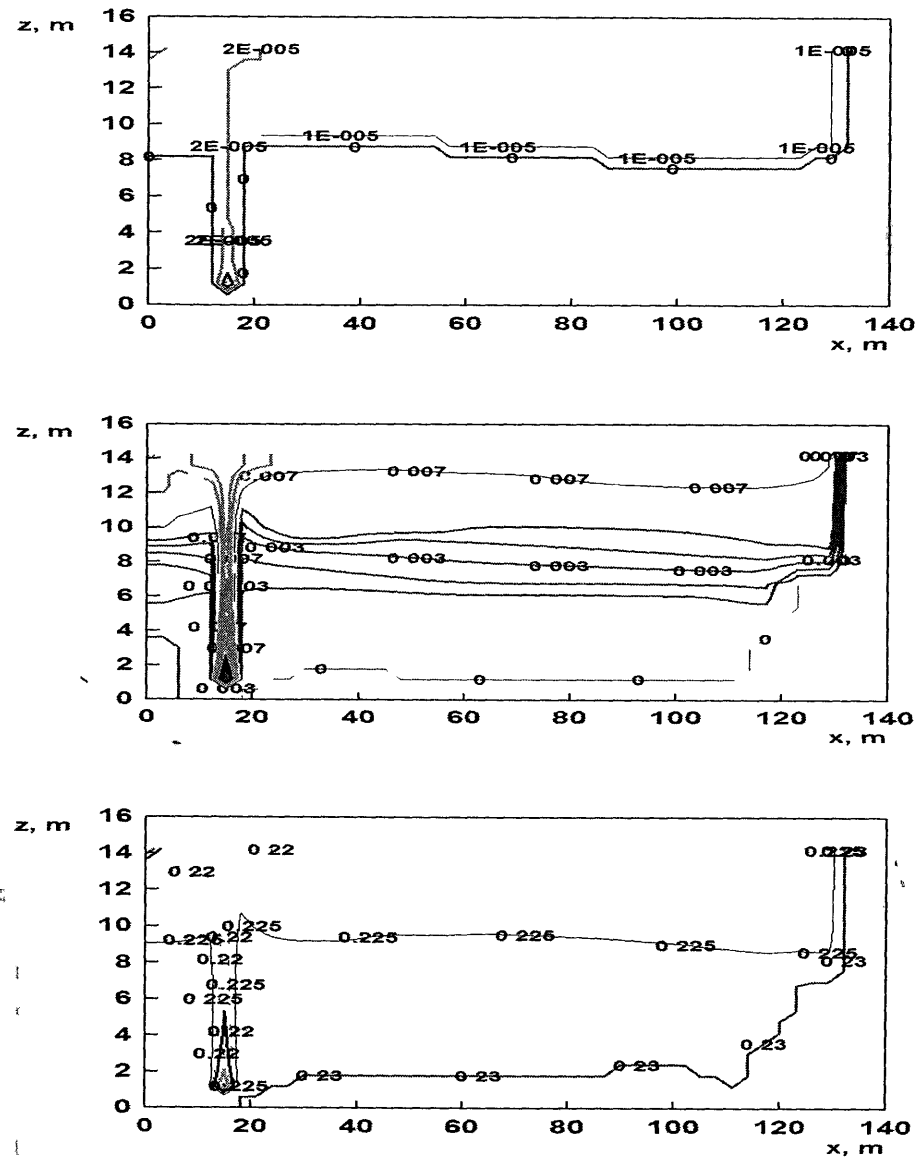


Рис ПЗ 15 Поля массовых концентраций окиси и двуокиси углерода и кислорода в продольном сечении атриума между осями С-Д (место возгорания) через 360 с от начала пожара (расчет по полевой модели, международный терминал Шереметьево-1)

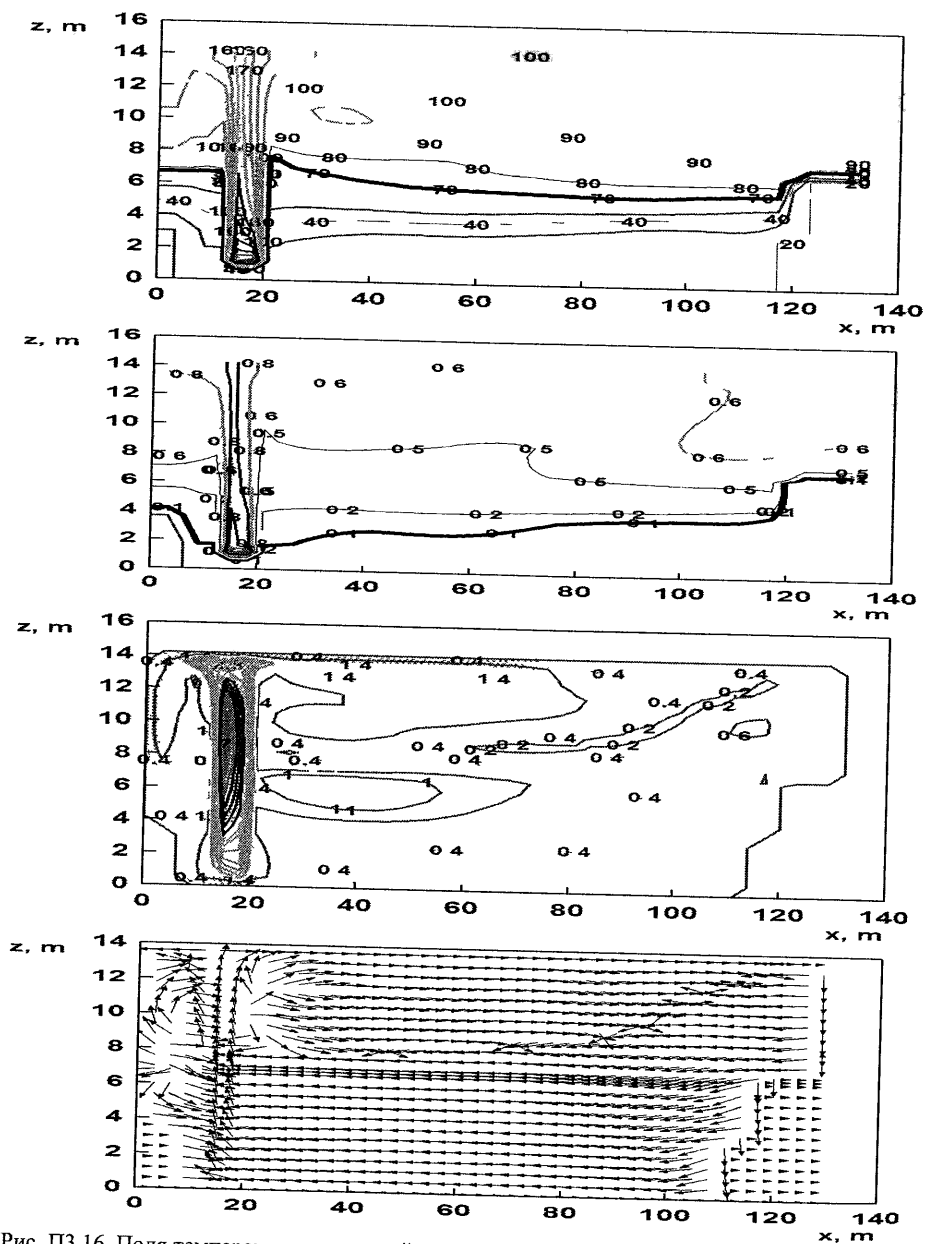


Рис ПЗ 16 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в продольном сечении атриума между осями С-Д (место возгорания) через 420 с от начала пожара (расчет по полевой модели, международный терминал Шереметьево-1)

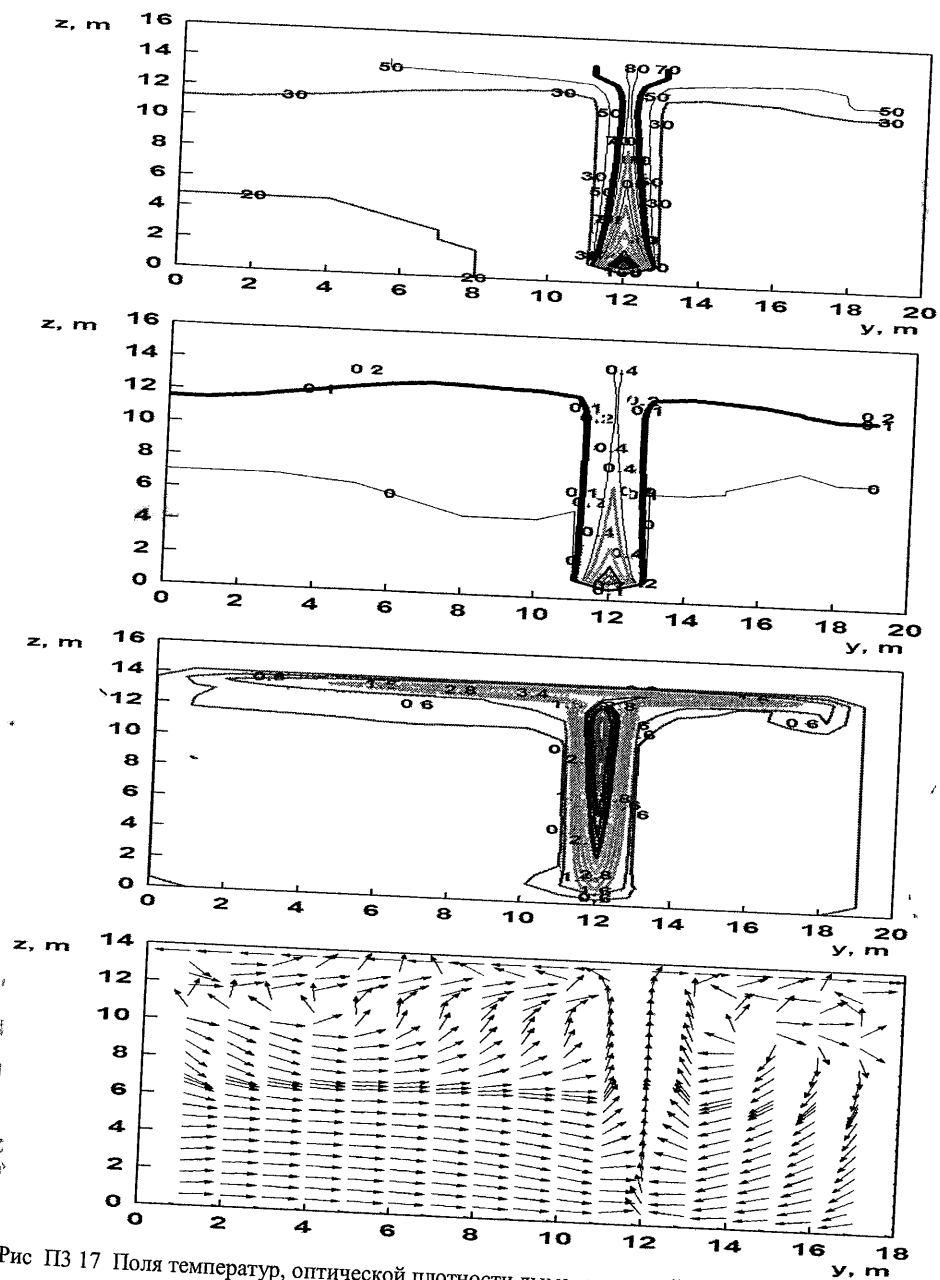


Рис ПЗ 17 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в поперечном сечении атриума между осями 3-4 (место возгорания) через 120 с от начала пожара (расчет по полевой модели, международный терминал Шереметьево-1)

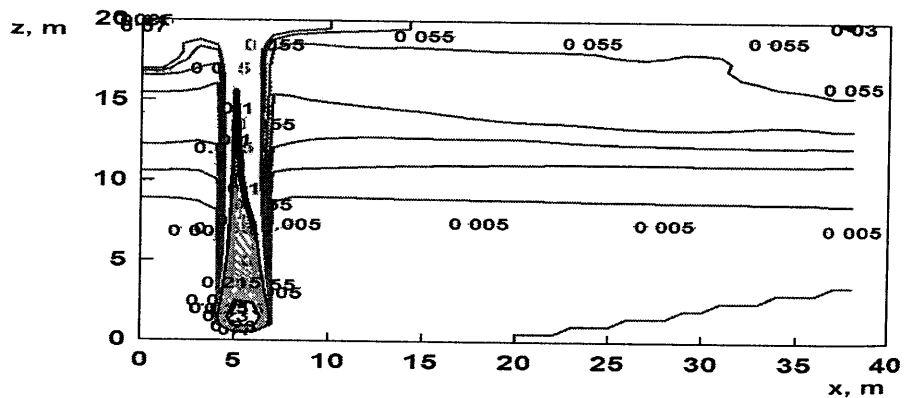
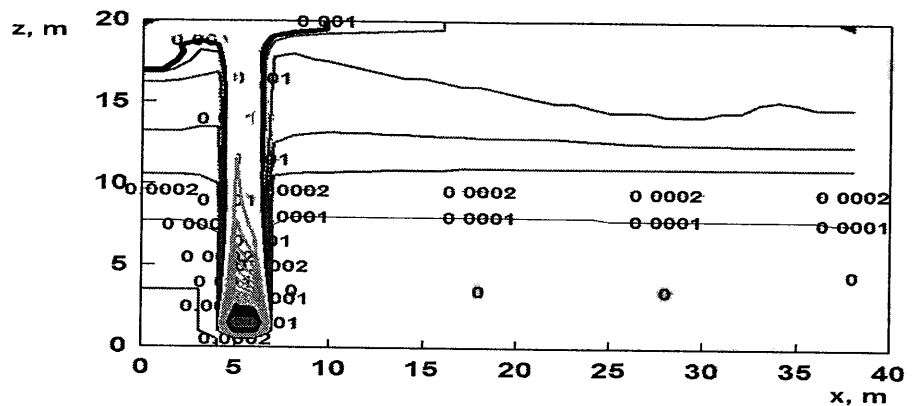
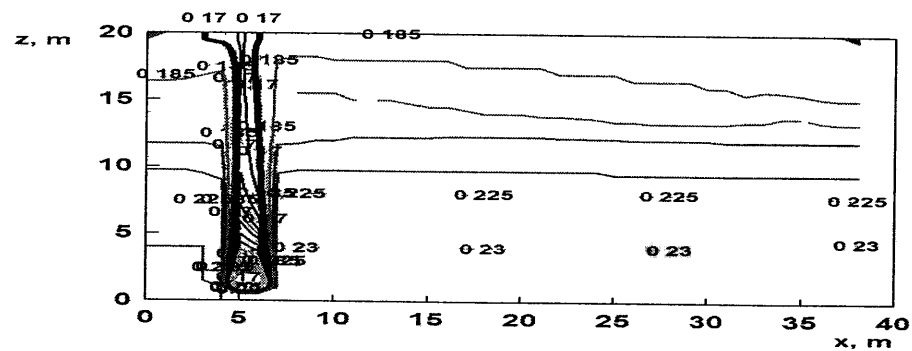


Рис ПЗ 18 Поля массовой концентрации кислорода, окиси и двуокиси углерода в продольном сечении между осями Е-Д (проходящем через место начала возгорания) через 360 с от начала пожара (расчет по полевой модели, зрительный кинозал в комплексе придорожного развития в деревне Барвиха)

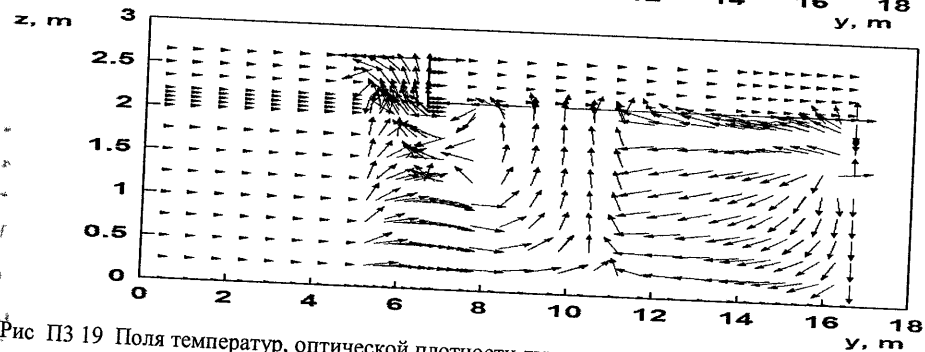
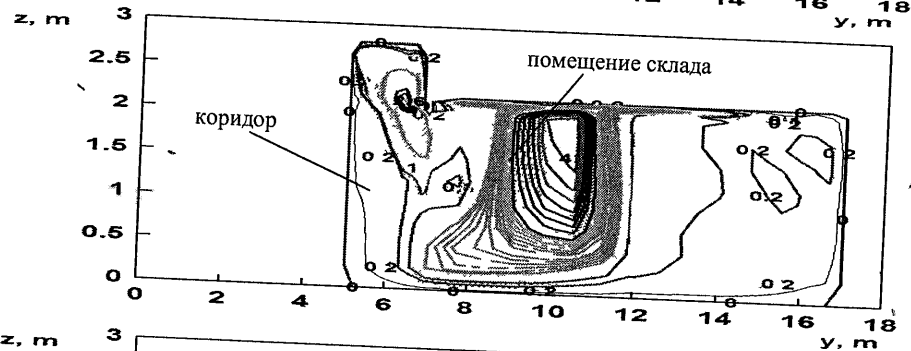
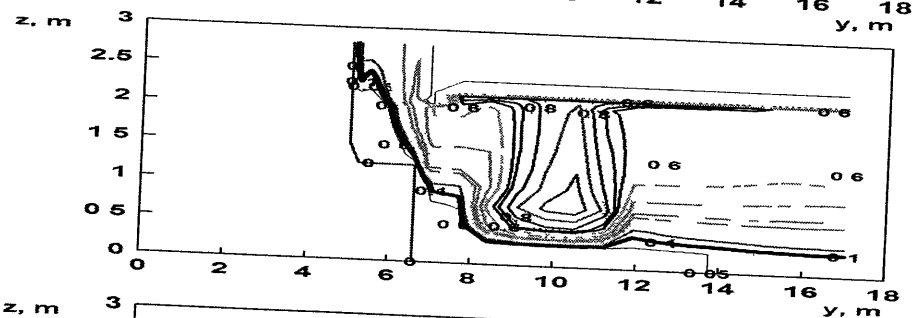
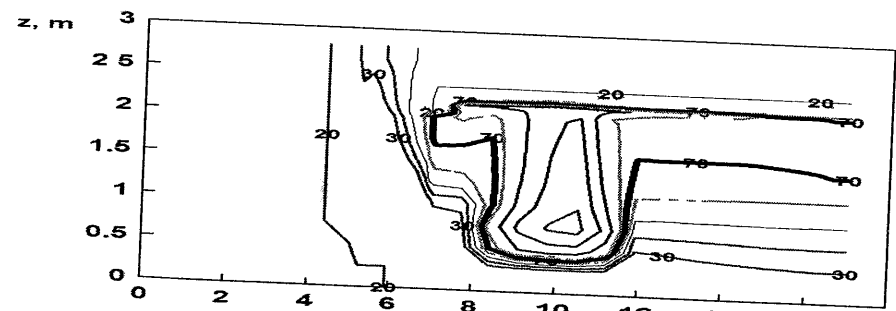


Рис ПЗ 19 Поля температур, оптической плотности дыма, скоростей и схемы течения в поперечном сечении (проходящем через место начала возгорания, $x = 7$ м) через 180 с от начала пожара (расчет по полевой модели, склад бакалеи и прилегающий коридор)

Более детально термогазодинамическую картину пожара рассмотрим на примере двухсветного атриума, находящегося в центре трехэтажного торгового и культурно-развлекательного центра в г. Новосибирск.

Габаритные размеры атриума составляют $53 \times 21 \times 22$ м. Высота помещений каждого этажа равна 4,2 м.

На высоте от 13 до 22 м в конце более длинной стороны атриума находится свободное пространство (световой фонарь) длиной 21 м (вдоль ширины атриума) и шириной 8 м (правый верхний угол рис. ПЗ.20–ПЗ.26). По стенам светового фонаря предусмотрены дымовые люки для удаления дыма естественной конвекцией. В дальнейших расчетах эти отверстия предполагаются закрытыми. Пространство по вертикали от пола первого этажа до перекрытия фонаря является общим для всех этажей (правый угол рис. ПЗ.20–ПЗ.26), т.е. в перекрытиях первого и второго этажей в соответствующих местах находятся проемы.

В перекрытиях первого и второго этажей находятся по два эскалаторных проема длиной 10 м и 8 м, и с одинаковой шириной 4 м (рис. ПЗ.20–ПЗ.26).

Три эвакуационных выхода на каждом этаже (рис. ПЗ.27–ПЗ.29) имеют координаты: $x = 2+4$ м, $y = 0$ м (выход № 1), $x = 2+4$ м, $y = 18$ м (выход № 2), $x = 53$ м, $y = 13+16$ м (выход № 3).

Размеры неравномерной конечно-разностной сетки равны $49 \times 43 \times 39$. Шаги сетки по осям координат изменяются в диапазоне $0,2+2$ м.

Принимаем, что системы пожаротушения, механической вентиляции и дымоудаления отключены (свободное развитие пожара).

Предполагаем два расчетных сценария: пожар возникает внутри торговых залов, расположенных на первом или третьем этажах вблизи эвакуационных выходов. Координаты источников возникновения пожара составляют $x = 2$ м, $y = 4$ м, $z = 1$ м (пожар на первом этаже) и $x = 2$ м, $y = 4$ м, $z = 9$ м (пожар на третьем этаже).

Рассматриваем случай, когда продукты горения поступают только в атриум, и все проемы (двери и окна) закрыты (наиболее опасный сценарий развития пожара по отношению к людям, находящимся внутри атриума).

Свойства типовой ПН определяются по типовой базе пожарной нагрузки (промышленные товары) [8, 11]: низшая рабочая теплота сгорания $Q_n^p = 16,7$ МДж/кг; удельная скорость выгорания $\psi_{уд} = 0,0244$ кг/(м²·с); потребление кислорода при горении $L_{O_2} = -2,56$; выделение окиси углерода $L_{CO} = 0,0626$; выделение двуокиси углерода $L_{CO_2} = 0,879$; удельное дымо-выделение $W_{уд} = 60,6$ Нп·м²/кг; скорость распространения пламени $w_{пл} = 0,0071$ м/с.

Результаты расчета термогазодинамики пожара в атриуме с помощью полевой математической модели представлены на рис. ПЗ.20–ПЗ.29.

Схемы течения, поля температур, оптической плотности дыма и скоростей в различные моменты времени на рис. ПЗ.20–ПЗ.26 показаны в продольном вертикальном сечении ($y = 9$ м) атриума, проходящем через эскалаторные проемы, находящиеся в перекрытиях первого и второго этажей.

На рис. ПЗ.27–ПЗ.29 приведены характерные поля температур и дальности видимости в газовой среде помещения в плоскостях, параллельных полу этажей и отстоящих от них на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны).

Координаты x , y , z направлены вдоль длины, ширины и высоты атриума соответственно. Значения температур даны в градусах Цельсия, оптической плотности дыма - в Нп/м, дальности видимости - в м, скорости - в м/с.

Анализ результатов расчета показывает, что термогазодинамическая картина пожара качественно и количественно существенно зависит от этажа, на котором возникает пожар.

Из рис. ПЗ.20–ПЗ.23 и рис. ПЗ.26–ПЗ.29 видно, что смоделированная термогазодинамическая картина пожара при его возникновении на первом этаже атриума отличается существенной нестационарностью и трехмерностью и в принципе не может быть получена с помощью интегральных или зонных моделей пожара [8, 11], так как не выполняются основные допущения этих моделей.

В интегральных моделях распределения параметров газовой смеси (температура, массовые концентрации компонентов и т. д.) определяются по среднеобъемной температуре газовой среды помещения с учетом экспериментальных соотношений, полученных для помещений в виде параллелепипеда или цилиндра [8, 11]. В этих уравнениях распределения параметров по высоте зависят только от вертикальной координаты и не учитывают влияние возмущающих факторов (степень турбулентности, неизотермичность, сжимаемость, градиенты давления, шероховатость и кривизна ограждающих конструкций и т. д. [8]).

В зонных моделях предполагается, что припотолочный слой продуктов горения и воздуха является плоско-параллельным перекрытием. Однако результаты проведенного численного моделирования показывают, что уровень нижней границы этого слоя существенно зависит от его места расположения в помещении. Например, через 480 с от начала горения на первом этаже вертикальные координаты нижней границы изменяются от $z = 3,5$ м до $z = 11$ м (рис. ПЗ.22, б). При этом смесь продуктов горения и воздуха занимает частично свободные объемы каждого этажа атриума.

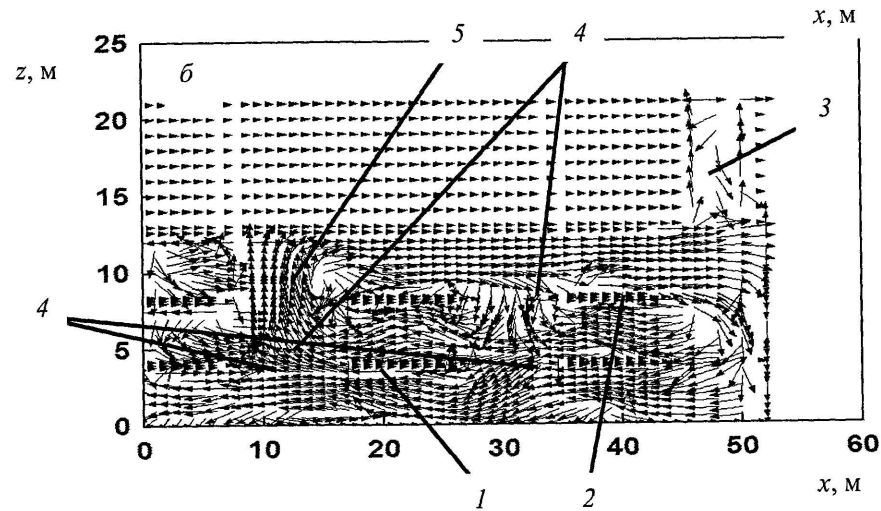
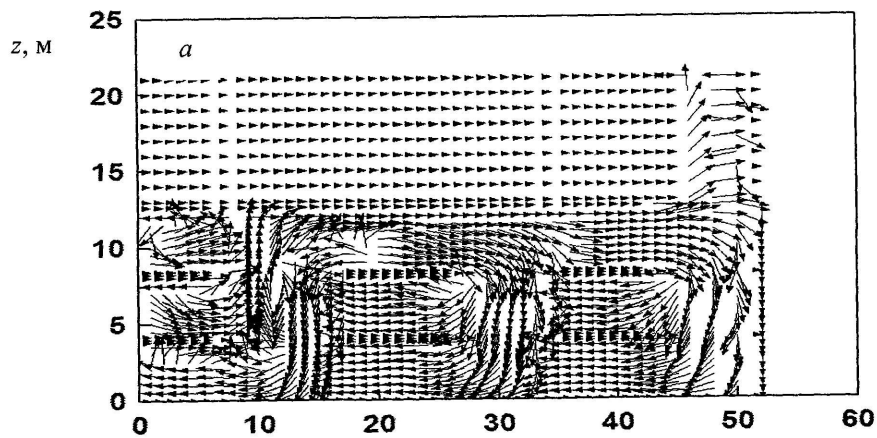


Рис ПЗ 20 Схемы течения в продольном сечении через 120 (а) и 420 с (б) от начала пожара на первом этаже 1 – перекрытие первого этажа, 2 – перекрытие второго этажа, 3 – световой фонарь, 4 – эскалаторные проемы, 5 – газовая завеса

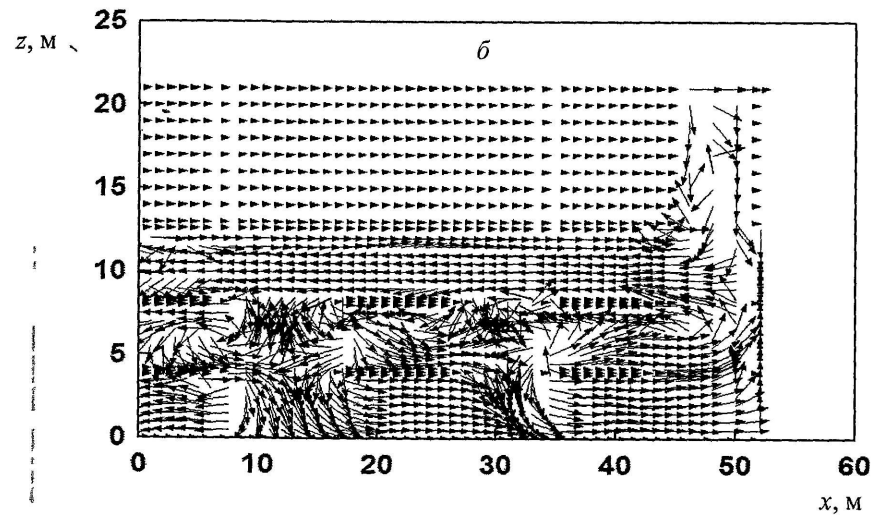
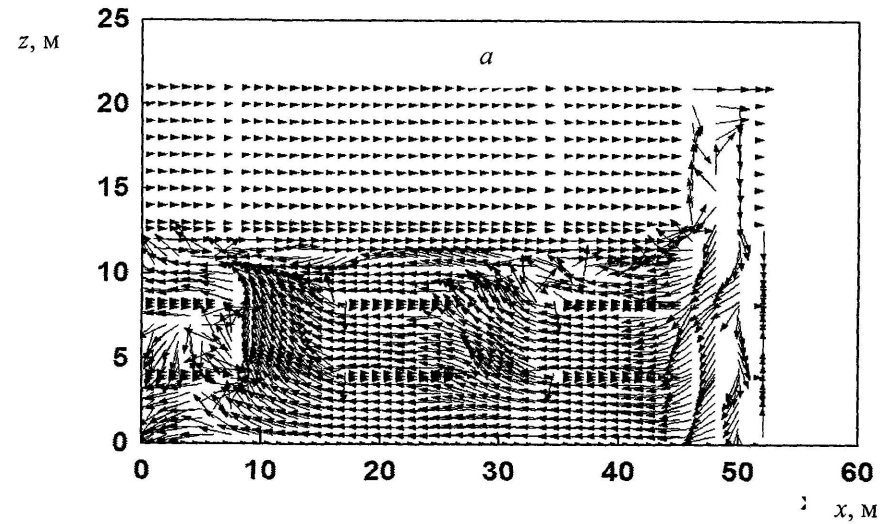


Рис ПЗ 21 Схемы течения в продольном сечении через 240 (а) и 360 с (б) от начала пожара на третьем этаже

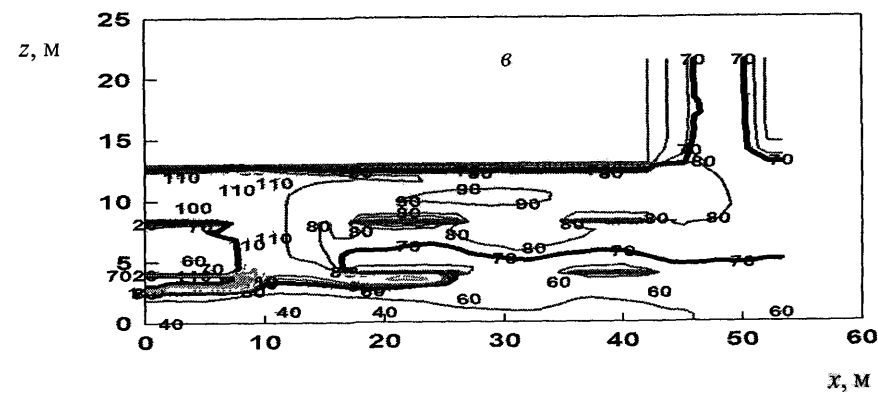
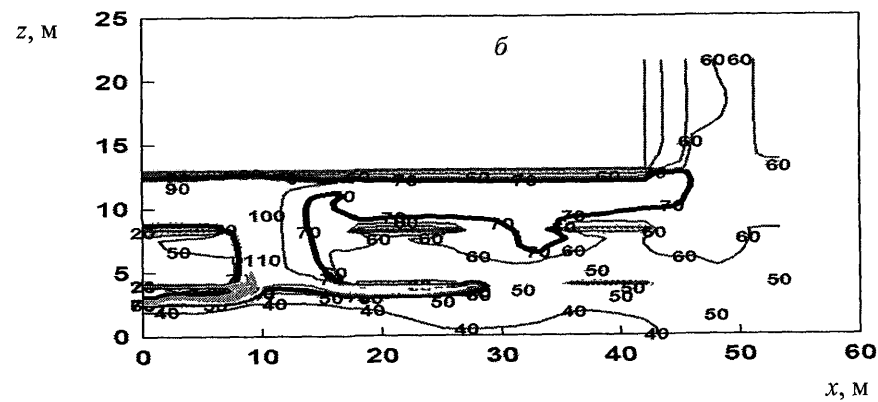
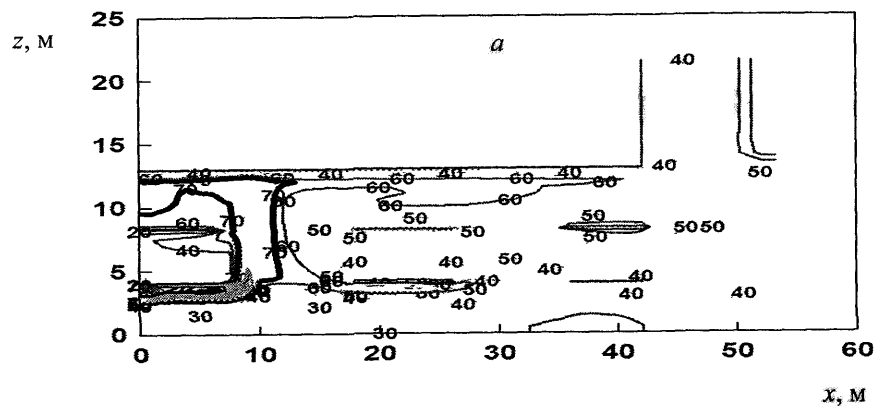


Рис ПЗ.22. Поля температур в продольном сечении через 420 (а), 480 (б) и 540 с (в) от начала пожара на первом этаже

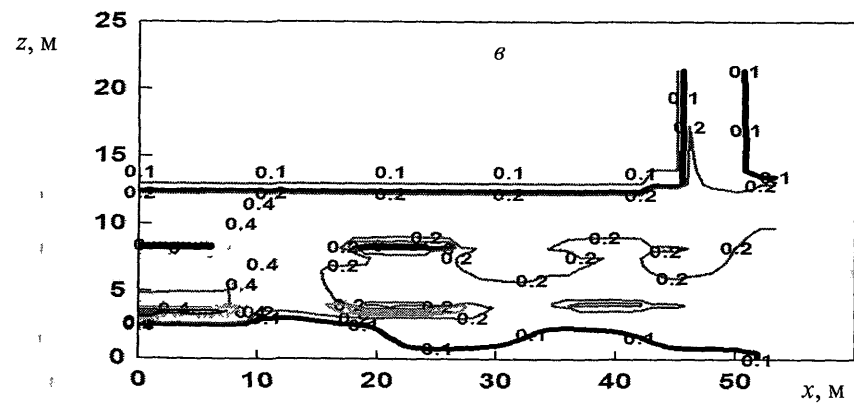
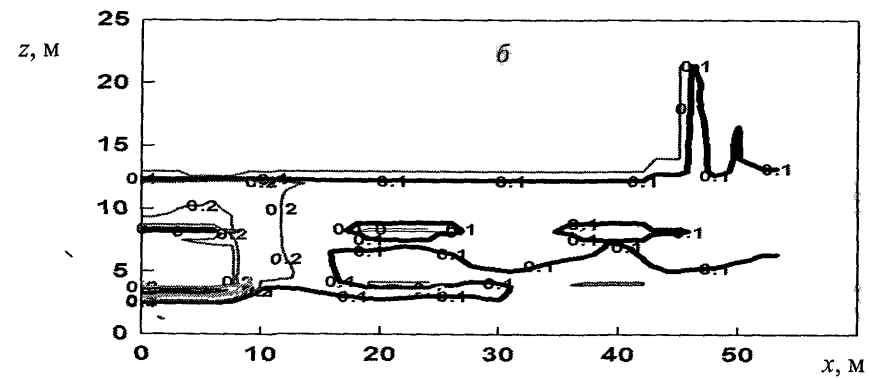
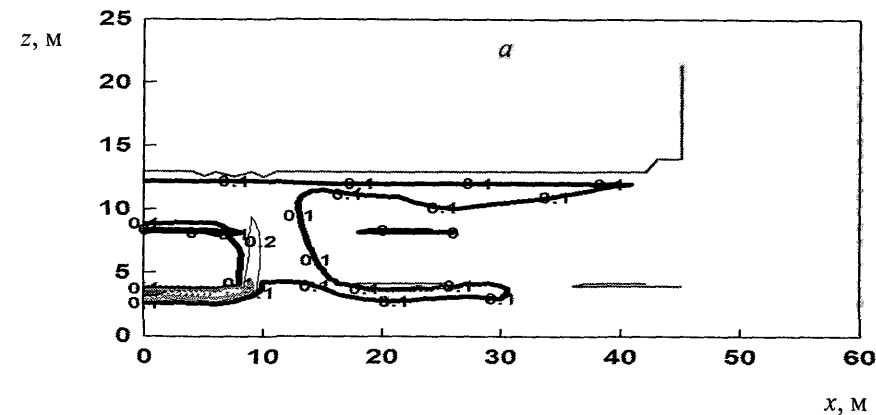


Рис. ПЗ.23. Поля оптической плотности дыма в продольном сечении через 300 (а), 360 (б) и 420 с (в) от начала пожара на первом этаже

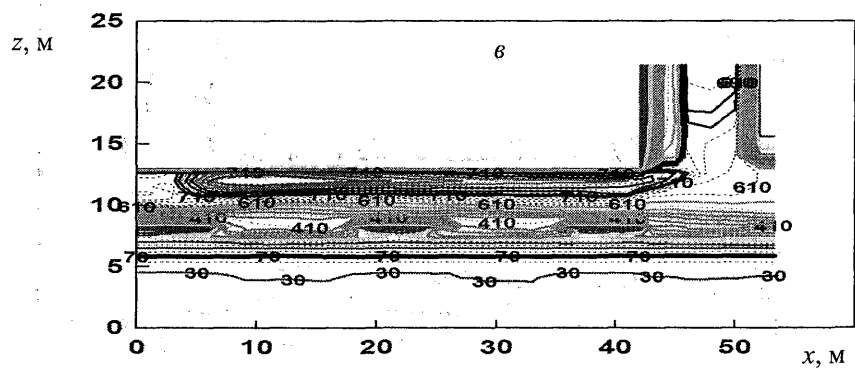
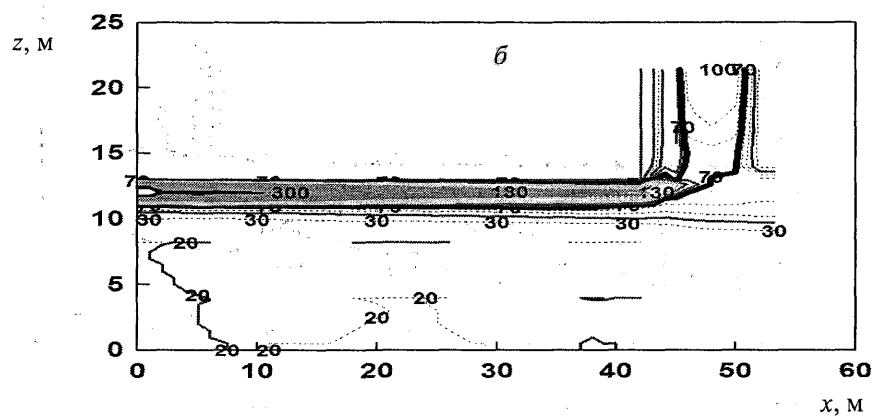
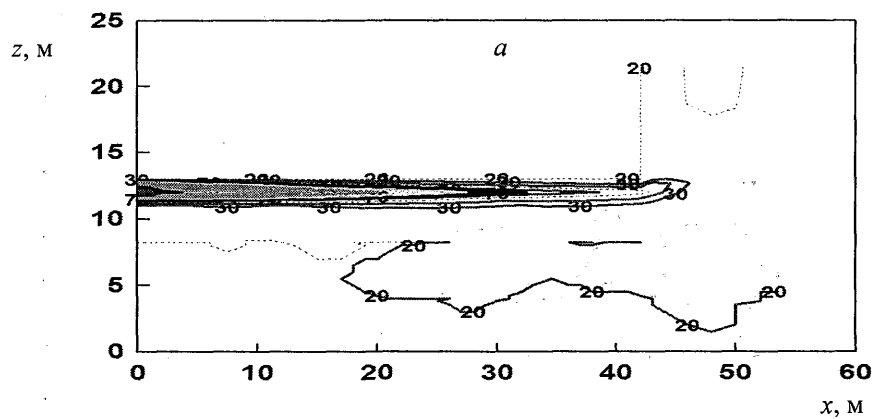


Рис. ПЗ.24. Поля температур в продольном сечении через 240 (а), 360 (б) и 960 с (в) от начала пожара на третьем этаже

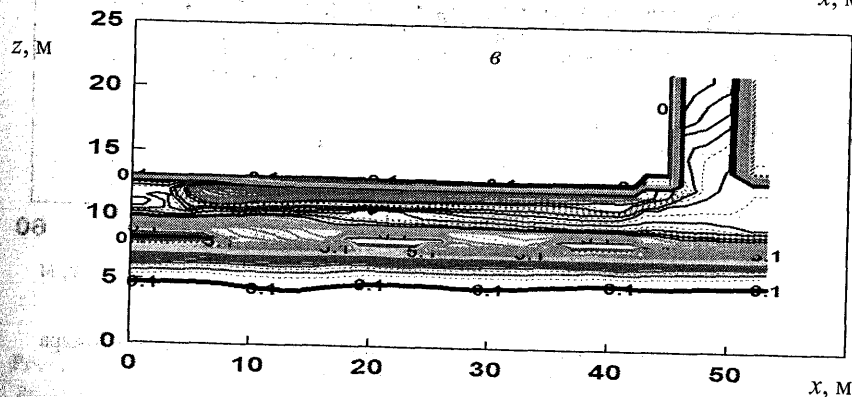
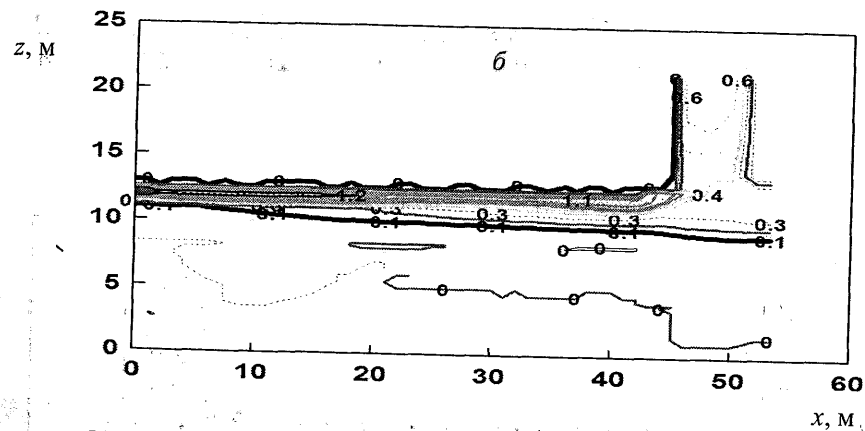
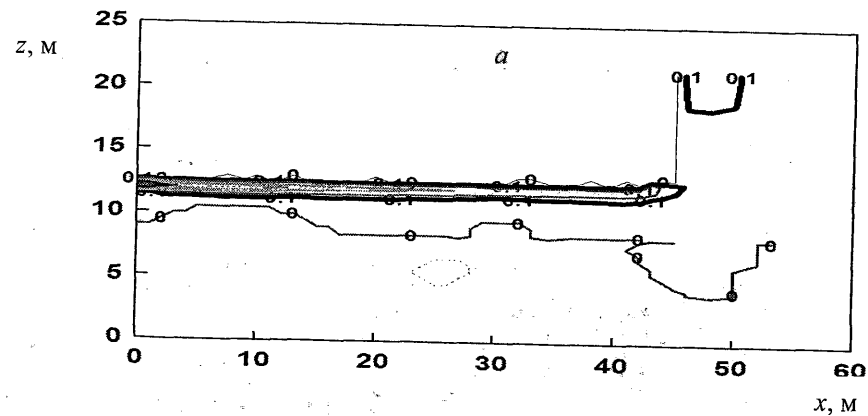


Рис. ПЗ.25. Поля оптической плотности дыма в продольном сечении через 240 (а), 360 (б) и 960 с (в) от начала пожара на третьем этаже

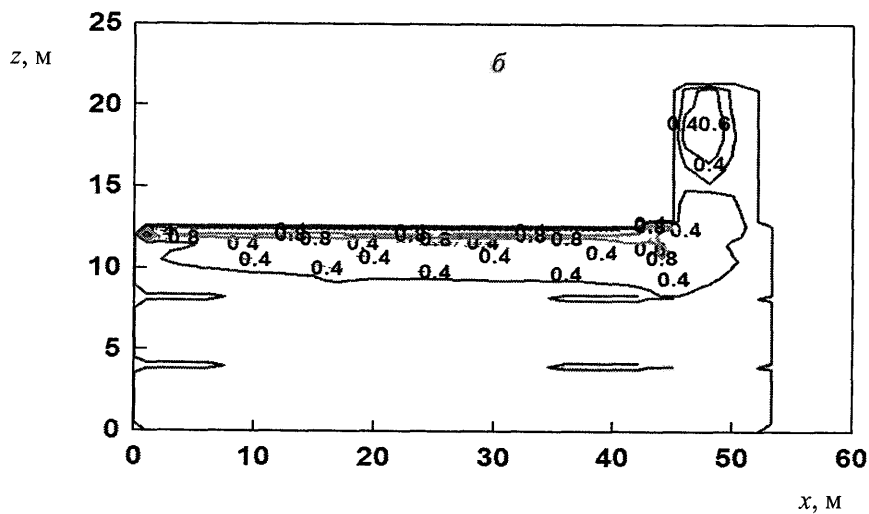
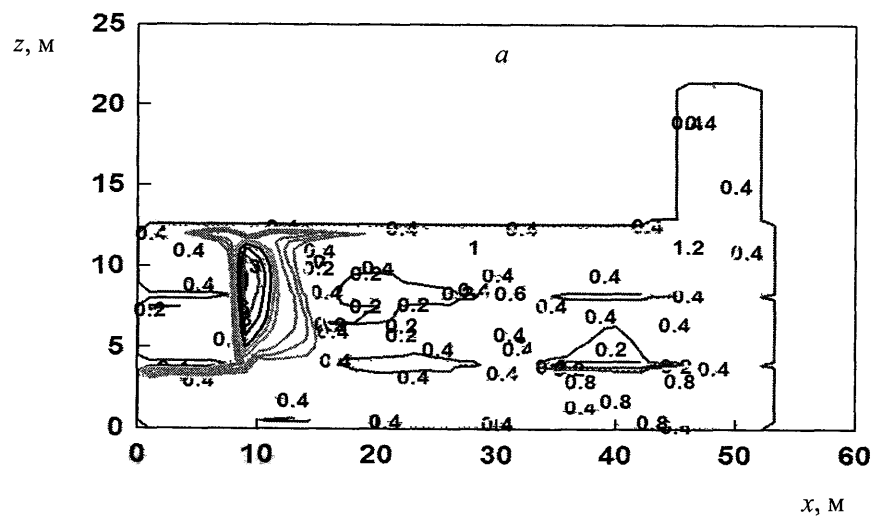


Рис ПЗ 26 Поля скоростей в продольном сечении через 360 с от начала пожара на первом (а) и третьем (б) этажах

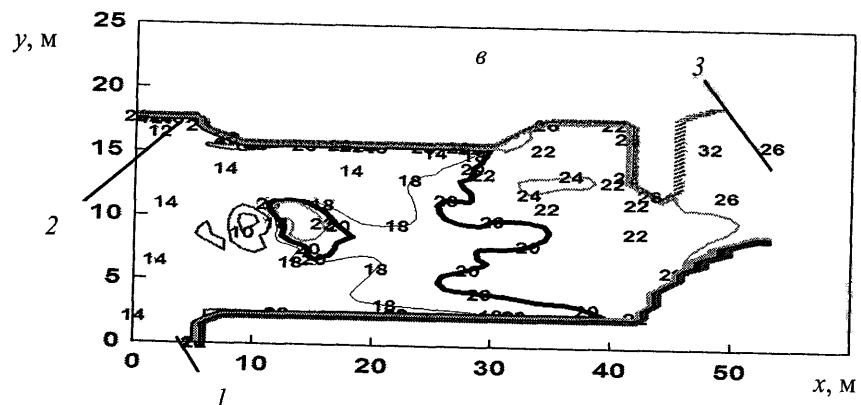
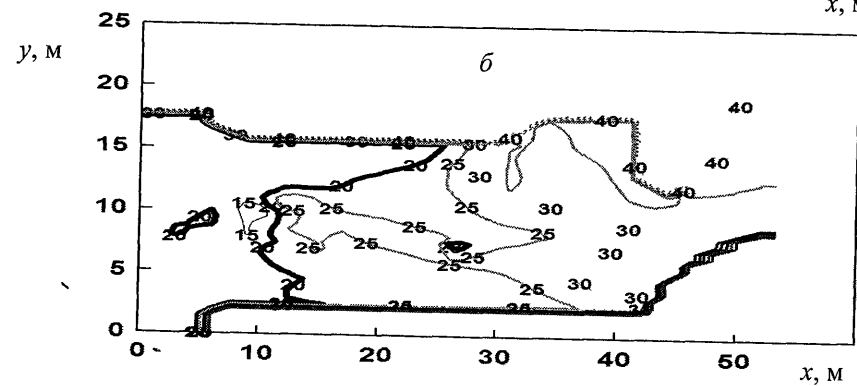
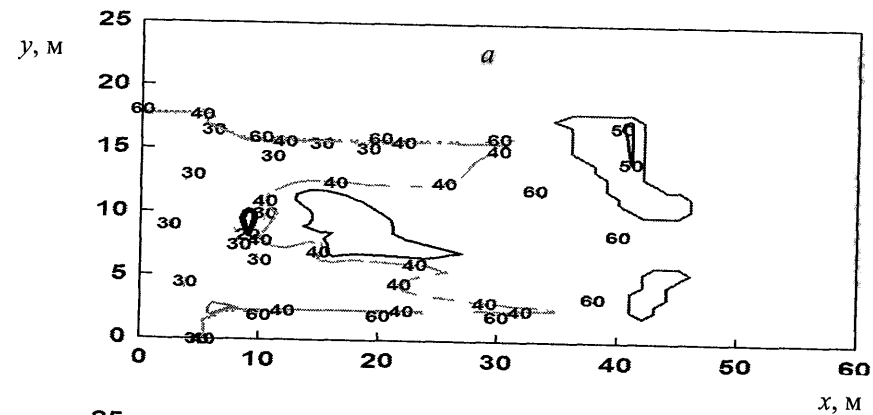


Рис. ПЗ 27 Поля дальности видимости в газовой среде помещения в плоскости, параллельной полу третьего этажа и отстоящей от него на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны), через 240 (а), 300 (б) и 330 с (в) от начала пожара на первом этаже
1 – выход № 1, 2 – выход № 2, 3 – выход № 3

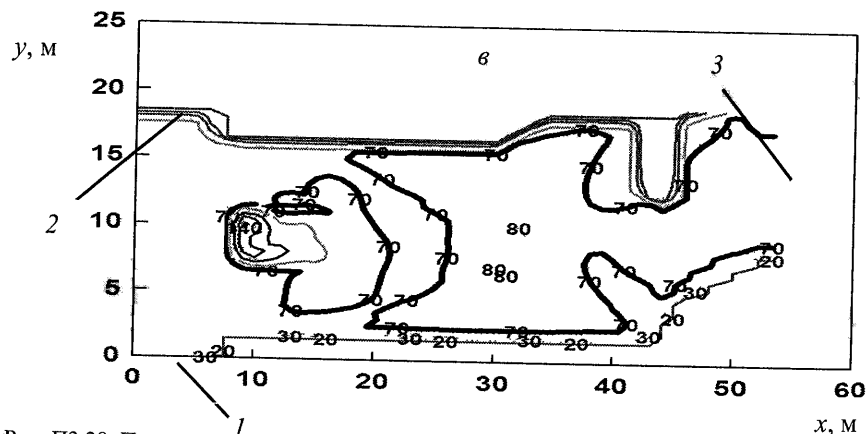
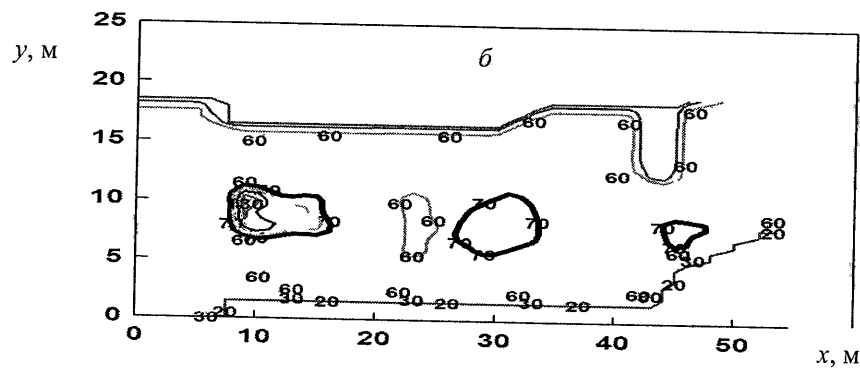
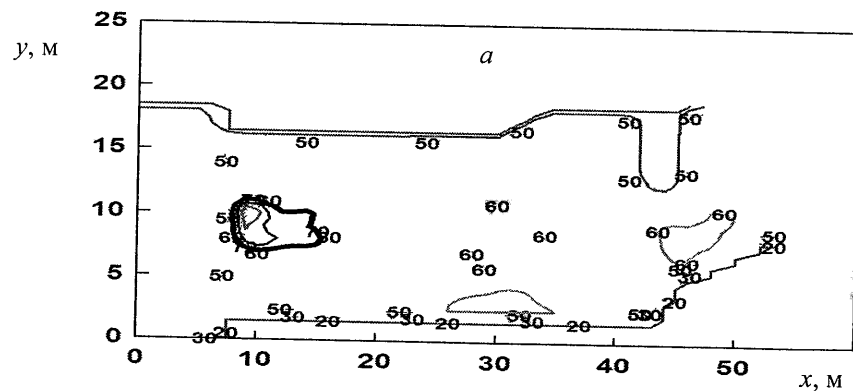


Рис ПЗ 28 Поля температур в газовой среде помещения в плоскости, параллельной полу второго этажа и отстоящей от него на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны), через 480 (а), 510 (б) и 540 с (в) от начала пожара на первом этаже
1 – выход № 1, 2 – выход № 2, 3 – выход № 3

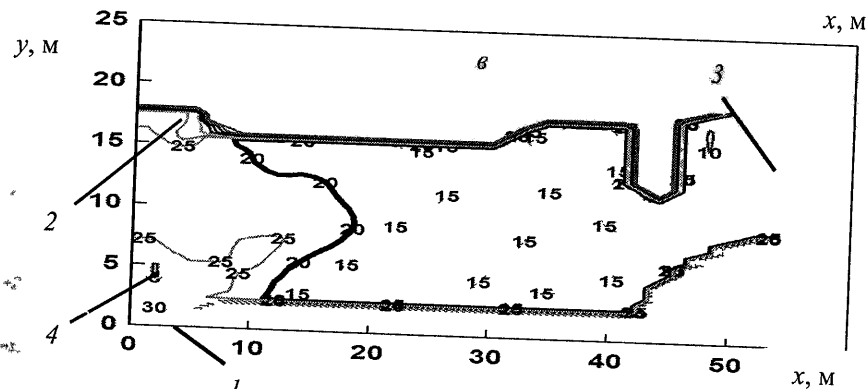
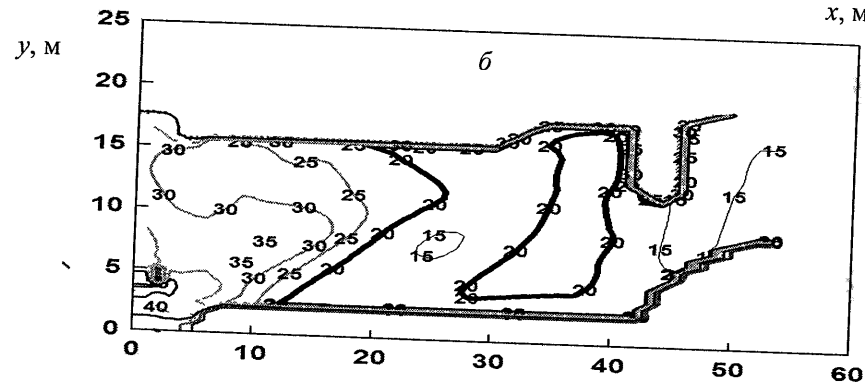
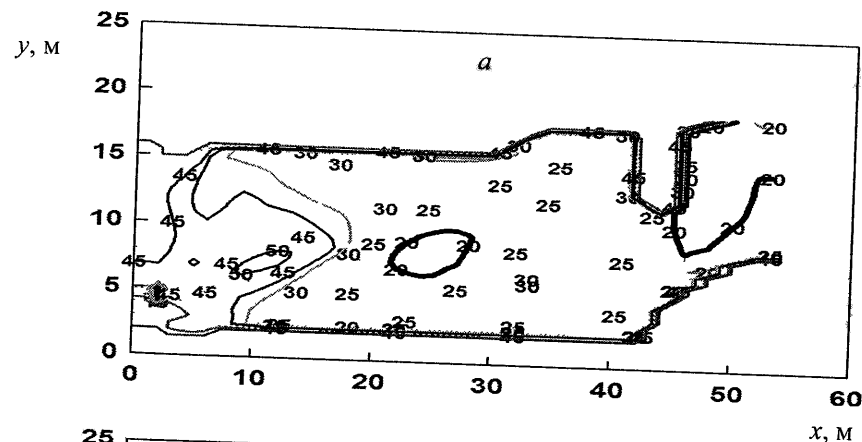


Рис ПЗ 29 Поля дальности видимости в газовой среде помещения в плоскости, параллельной полу первого этажа и отстоящей от него на высоте 1,7 м (высота рабочей зоны), через 420 (а), 450 (б) и 480 с (в) от начала пожара на первом этаже 1 – выход № 1, 2 – выход № 2, 3 – выход № 3, 4 – источник возникновения пожара

При нахождении источника горения на первом этаже естественно-конвективные процессы значительно быстрее охватывают пространство атриума, т. е. ОФП быстрее распространяются по помещению. Это объясняется тем, что из-за наличия эскалаторных проемов смесь продуктов горения и воздуха поднимается на большую высоту (до перекрытия третьего этажа) и разгоняется до большей скорости вне области конвективной колонки над источником горения (3 м/с, рис. ПЗ.26), чем в случае пожара на третьем этаже (0,8 м/с, рис. ПЗ.26). При этом распределения скоростей в конвективной колонке, образующейся над источником горения, для случаев пожаров на разных этажах близки, так как высоты этажей равны

Из рис. ПЗ.20 видно, что в эскалаторном проеме, ближайшем к источнику горения, образуется газовая завеса, которая препятствует распространению ОФП вдоль перекрытия третьего этажа в сторону светового фонаря. Эта особенность газодинамических процессов не позволяет сформироваться плоско-параллельному перекрытию припотолочному слою продуктов горения и воздуха.

При нахождении источника горения на третьем этаже термогазодинамическая картина пожара соответствует общепринятым представлениям о развитии пожара в атриуме, имеющем форму параллелепипеда [4, 8, 11] (рис. ПЗ.24–ПЗ.26).

Промежутки времени от начала пожара до момента блокирования эвакуационных выходов, расположенных на различных этажах атриума, по опасным факторам пожара приведены в табл. ПЗ.1.

Критические значения величин ОФП на среднем уровне органов дыхания человека, равном 1,7 м от пола этажа, принимались следующими [9]: дальность видимости равна 20 м; температура достигает величины 70°C; парциальная плотность кислорода составляет 0,226 кг/м³; парциальная плотность оксида углерода равна 0,00116 кг/м³, диоксида углерода – 0,11 кг/м³.

Прочерки в табл. ПЗ.1 означают, что данный ОФП за рассматриваемое время пожара (1200 с) не достиг величины своего критического значения.

При использовании зонных и интегральных моделей [8, 11, 82, 83] все эвакуационные выходы атриума блокируются одновременно, что противоречит полученным результатам численного эксперимента (табл. ПЗ.1).

Из табл. ПЗ.1 и рис. ПЗ.27–ПЗ.29 видно, что при возникновении пожара на первом этаже:

на третьем этаже атриума по ОФП блокируются выходы в последовательности № 2, № 1 и № 3;

на втором этаже в последовательности № 3, № 1 и № 2;

на первом этаже в последовательности № 3, № 2 и № 1.

При возникновении пожара на третьем этаже по ОФП блокируются выходы на этажах в последовательности:

на третьем этаже атриума № 3, № 1 и № 2;

на втором этаже № 1, № 2 и № 3;

на первом этаже № 3, № 2 и № 1.

Из табл. ПЗ.1 видно, что время блокирования эвакуационного выхода, расположенного на этаже пожара, является минимальным для наиболее удаленного от источника горения выхода (№ 3). На других этажах последовательность блокирования выходов зависит от особенностей термогазодинамики процесса. Таким образом, расстояние от места возникновения пожара до эвакуационного выхода не является фактором, существенно влияющим на время безопасной эвакуации людей через данный выход.

При возникновении пожара на третьем этаже из-за более медленного развития конвективных процессов в помещениях атриума смесь продуктов горения и воздуха при достижении уровня рабочей зоны первого этажа успевает охладиться до безопасных для человека температур (< 70 °С).

Таблица ПЗ.1

Промежутки времени от начала пожара до момента блокирования эвакуационных выходов атриума по ОФП

Этаж возникновения пожара	Этаж атриума	Номер эвакуационного выхода	Промежуток времени от начала пожара до момента блокирования эвакуационного выхода по				
			дальности видимости	температуре	кислороду	окси углерода	двуокиси углерода
первый	первый	1	502	590	—	—	—
		2	495	585	—	—	—
		3	415	560	—	—	—
	второй	1	400	552	—	—	—
		2	405	555	—	—	—
		3	365	515	—	—	—
	третий	1	290	395	—	—	—
		2	280	393	—	—	—
		3	360	492	—	—	—
третий	первый	1	1175	—	—	—	—
		2	1170	—	—	—	—
		3	1130	—	—	—	—
	второй	1	865	948	—	975	1095
		2	870	947	—	975	1090
		3	885	950	—	978	1097
	третий	1	402	480	1090	648	938
		2	405	480	1093	645	935
		3	310	415	1010	560	860

Об авторах

ПУЗАЧ

Сергей Викторович



Доктор технических наук, профессор, академик ВАН КБ, член-корреспондент НАН ПБ, член экспертного совета по энергетике ВАК Министерства образования и науки РФ, член Национального комитета РАН по тепло- и массообмену, ученый секретарь диссертационного совета Д 205.002.02 Академии ГПС МЧС России. Окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана. Научная специализация: тепломассообмен в сложных термогазодинамических условиях, вычислительная механика газов и жидкостей, динамика опасных факторов пожара, огнестойкость строительных конструкций. Автор и соавтор более 150 научных трудов (из них 3 монографии).

ЛЕБЕДЧЕНКО

Ольга Сергеевна

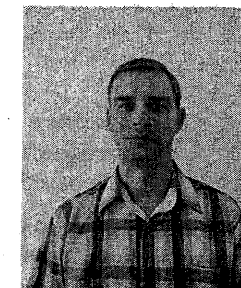


Кандидат юридических наук. Окончила МИТХТ им. М.В. Ломоносова, факультет подготовки научно-педагогических кадров Академии управления МВД РФ, Международный независимый эколого-политологический университет по программе «Экология. Черты цивилизации будущего» (краткосрочное повышение квалификации). Научная специализация: экологическая опасность пожаров, динамика опасных факторов пожара. Автор и соавтор 19 научных трудов (из них 1 учебное пособие).

СМАГИН

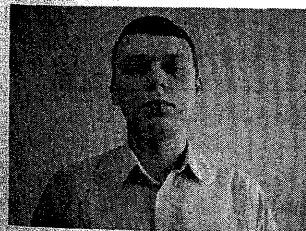
Александр Владимирович

Окончил Академию ГПС МЧС России. Научная специализация: динамика опасных факторов пожара, самоспасатели. Автор и соавтор 6 научных трудов.



АБАКУМОВ

Евгений Сергеевич



Окончил Академию ГПС МЧС России. Научная специализация: динамика опасных факторов пожара. Автор и соавтор 5 научных трудов.

Пузач Сергей Викторович
Смагин Александр Владимирович
Лебедченко Ольга Сергеевна
Абакумов Евгений Сергеевич

**НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОГО
ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
И ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ
ФИЛЬТРУЮЩИХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ
ПРИ ЭВАКУАЦИИ НА ПОЖАРАХ**

Монография

Издано в авторской редакции

Технический редактор *Ю. В. Тихомирова*
Корректор *Ю. В. Тихомирова*
Компьютерная верстка *С. В. Пузач*

Подписано в печать 17.12.07 г. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печ. л. 14. Уч.-изд. л. 10.
Тираж 500 экз. Заказ 2843.

Отпечатано с готовых диапозитивов в филиале ГУП МО
«Мытищинская типография» «Загорская типография»
141300, Московская обл., г. Сергиев Посад, пр. Красной Армии, 212Б
Тел. (496) 547-60-60, (496) 540-25-70, факс 540-25-70

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4

614.84

71.76

С. В. ИУЗАН, А. В. СМАГЛИН
О. С. ЛЬБЕДЧЕНКО, Е. С. АБАКУМОВ

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
О РАСЧЕТЕ НЕОБХОДИМОГО
ВРЕМЕНИ ЭВАКУАЦИИ ЛЮДЕЙ
И ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОРТАТИВНЫХ
ФИЛЬТРУЮЩИХ САМОСПАСАТЕЛЕЙ
ПРИ ЭВАКУАЦИИ НА ПОЖАРАХ

Монография

Москва 2007