С.В. Пузач, А.В. Смагин, Доан Вьет Мань (Россия, Вьетнам)

ОСОБЕННОСТИ ТАНАТОГЕНЕЗА СМЕРТИ ЧЕЛОВЕКА, ПОГИБШЕГО НА ПОЖАРЕ

Проведён анализ нормативных документов, обеспечивающих токсикологическую безопасность людей при пожарах. Показано определяющее влияние опасных факторов пожара, не учтенных в нормативных документах. Отмечено, что существующая база данных по горючей нагрузке должна быть уточнена и расширена по выходу других высокотоксичных газов. Показано влияние динамики опасных факторов пожара на результаты судебно-медицинской экспертизы

Ключевые слова: опасные факторы пожара, математическое моделирование, монооксид углерода, угарный газ, токсичность, отравление продуктами горения

Standards concerning toxic safety of people during evacuation are analyzed. It is presented the decisive influence of fire dangerous factors that are not included in standards. It is modern data base of combustible materials must be widened with other toxic products of burning. Results of court-medical expertise are very influenced by fire dangerous factors dynamics

Key words: Dangerous factors of fire, mathematical modeling, monoxide of carbon, toxicity, poisoning by products of burning

Количество пожаров в настоящее время остаётся на достаточно высоком уровне, отмечено их увеличение в административных зданиях, учебных заведениях, зданиях общественного назначения и жилого сектора, что нередко сопровождается массовым отравлением, травмированием и гибелью людей.

Тяжелые последствия от пожаров, вызваны, главным образом, слабой подготовкой населения к действиям при угрозе и возникновении пожаров, низкой культурой безопасной жизнедеятельности и недостаточной обеспеченностью необходимыми средствами индивидуальной защиты. Одной из основных причин гибели людей при пожарах (более 80 % случаев) является острое отравление газообразными продуктами и горения и термического разложения различных строительных материалов и конструкций, а также предметов внутреннего оснащения помещений [1].

Наибольшую опасность для человека представляют материалы, изготовленные из древесины и полимеров, которые обладают достаточно низкой температурой термического разложения (деструкции), что приводит к образованию опасных концентраций для жизни и здоровья человека спустя незначительные промежутки времени, низкой температурой воспламенения и плавления, высокой скоростью распространения пламени, токсичностью и дымообразующей способностью [2].

Работы по исследованию последствий пожаров ведутся многими специалистами во многих странах мира. Получено большое количество

экспериментальных и теоретических данных о параметрах пожаров, которые опубликованы в различных научно-технических источниках [3-7].

При горении и термическом разложении веществ и материалов, составляющих основную горючую нагрузку современных зданий и сооружений, могут выделяться десятки химических соединений. Например, в продуктах термического разложения поливинилхлорида обнаружено 75 компонентов, а древесины – более 200. В количественном отношении, как правило, преобладают оксид углерода, циановодород, хлороводород, фтороводород, оксиды азота, акролеин, ацетон, аммиак, формальдегиды, а в ряде случаев и другие летучие вещества. Токсичный эффект таких сложных смесей определяется содержанием токсичных компонентов, а также характером их комбинированного действия на живой организм [7].

В таблице 1 представлена сводная информация о воздействии наиболее опасных и распространенных токсичных газов на организм человека, а также о материалах, из которых они выделяются при пожаре.

Необходимо отметить, что токсичные газы на пожаре оказывают комбинированное воздействие на организм человека при одновременно повышающейся температуре в помещении и снижающейся концентрации кислорода в зоне пожара, в результате чего могут образовываться новые, ещё более сложные в химическом и токсикологическом отношении соединения, влияние которых на организм человека изучено на недостаточном уровне, но в общем оказывающие синергическое, аддитивное или антагонистическое действие.

Значительный объём исследовательской работы по изучению признаков отравления лиц, погибших на пожарах, и содержания токсикантов в их крови выполнен в Санкт-Петербургском Государственном медицинском университете им. Акад. И.П. Павлова [8-11]. Результаты проведённых исследований подтверждают и доказывают, что в 85 % случаев в крови погибших при пожаре может содержаться не только карбоксигемоглобин (HbCO), но и цианиды, нитрил акриловой кислоты (НАК), хлорсодержащие соединения, аммиак и др. высокотоксичные соединения, что говорит о комбинированном воздействии агрессивной среды пожара. Установлено, что при комбинированном воздействии токсичных газов на пожаре в крови погибших концентрации карбоксигемоглобина и др. токсичных компонентов могут быть значительно ниже смертельной дозы, что при некоторых условиях может привести к ошибкам при установлении причины смерти погибшего. Также отмечается, что при содержании в крови погибшего HbCO и цианидов выделение ведущего токсического агента ***нецелесообразно*** [9].

Таблица 1

Влияние токсичных газов на организм человека при пожаре

Токсичный продукт	**Материал, из которого выделяется токсичный продукт**	**ПДК$_{cc}$, *кг/м³***	**Реакция организма человека**
Монооксид углерода	Органические материалы искусственного и природного происхождения	$1 \cdot 10^{-6}$	В крови образуется карбоксигемоглобин (HbCO): головокружение, рвота, поражает нервную и сердечно-сосудистую системы; смерть
Цианистый водород	Азотсодержашие вещества: шерсть, шелк, пенополиуретан, полиакрилонитрил	$0{,}01 \cdot 10^{-6}$	Препятствует внутриклеточному переносу кислорода
Диоксид азота	Древесина, шерсть, фетр, кожа, лён, полистирол, ПВХ, полисульфон, резиновые изделия	$0{,}04 \cdot 10^{-6}$	При вдыхании вызывает респираторные заболевания
Сероводород	Серосодержащие материалы	$0{,}05 \cdot 10^{-6}$	Парализует органы дыхания
Толуолен-диизоцианат	Эластичные полиуретаны	нет данных	Оказывает сильное раздражающее действие, нарушает биологическую структуру тканей, поражает глаза, приводит к отеку легких
Ацетонитрил	ППУ	$0{,}01 \cdot 10^{-6}$	Механизм действия не установлен
Бензонитрил	ППУ	нет данных	Менее токсичен, чем цианистый водород
Ацетон	Полиизобутилен, ПВХ, полиметилметакрилат, полиамид, поликарбонат, твердые полиуретановые пластики	$0{,}35 \cdot 10^{-6}$	Пары вещества способствуют слезоточению, кашлю, раздражающее и наркотическое действие
Алифатические углеводороды	Природные и синтетические материалы	нет данных	Обладает наркотическим действием
Хлористый водород	ПВХ, древесина, ДСП, фанера, бумага, ППУ	$0{,}2 \cdot 10^{-6}$	Раздражающий газ, отравление HCl, и химические ожоги
Фтористый водород	Вещества содержащие фторированные углеводороды	$0{,}05 \cdot 10^{-6}$	Поражение верхних дыхательных путей
Аммиак	Шерсть, шелк, полиакронитрил, полиамид, полиуретан	$0{,}04 \cdot 10^{-6}$	Сенсорные раздражения, вызывает рефлекторные реакции верхних дыхательных путей
Алифатические альдегиды	Искусственные и естественные материалы	нет данных	Приводит к некрозу слизистых и дыхательных путей при вдыхании
Акролеин	Древесина, полипропилен, бумага, нефтепродукты	$0{,}03 \cdot 10^{-6}$	Замедление пульса Вызывает рвоту, отек легких, возможна смерть
Формальдегид	Древесина, ДСП, фанера, бумага, нейлон	$0{,}03 \cdot 10^{-6}$	Обладает раздражающим действием

При проведении судебно-медицинских экспертиз в некоторых случаях возникают трудности при обосновании причины смерти погибшего на пожаре в ситуации, когда содержание HbCO в крови погибшего значительно ниже смертельного уровня. При решении проблем такого характера необходимо учитывать следующее:

1. Содержание этанола в крови погибшего. Известно, что этанол сдерживает образование HbCO: чем больше этанола в крови, тем меньше карбоксигемоглобина [12];

2. Место забора трупного материала и крови. Забор крови должен производиться из органов, в минимальной степени подвергшихся термическому воздействию. Кроме того, отмечается, что термическое воздействие может вызывать распад HbCO в крови [12].

3. Сроки проведения аутопсии. С течением времени содержание HbCO в крови уменьшается, также важны условия хранения (температурный режим) как погибшего, так и забранной у него крови. Согласно исследованиям [13], при правильном хранении трупной крови на пятые сутки содержание HbCO в крови может снижаться на 30 %.

4. Был ли погибший табакокурильщиком. У некурящего человека содержание HbCO в крови находится на уровне 0,2-0,5 %, у заядлого курильщика содержание карбоксигемоглобина в крови может достигать 10 % [12].

Используя современные методы математического моделирования опасных факторов пожара (ОФП) [1, 14] в помещении, авторы статьи провели расчёты критической продолжительности пожара при достижении предельно-допустимых значений (ПДЗ): повышенной температуры (70 ^{o}C), пониженной концентрации кислорода (0,226 *кг/м*^{3}), потери видимости в дыму (20 *м*), монооксида углерода (0,00116 *кг/м*^{3}), хлороводорода (0,000023 *кг/м*^{3}), акролеином ($1\cdot10^{-5}$ *кг/м*^{3}) и циановодородом ($1\cdot10^{-4}$ *кг/м*^{3}) для помещения объёмом 500 м^3, оснащённого различными видами комбинированных пожарных нагрузок (67 вариантов (100 %)). Фрагмент выполненных расчётов по [1] представлен в таблице 2.

Таблица 2.

Критическая продолжительность пожара по отдельным ОФП и необходимое время эвакуации людей из помещений различного функционального назначения объёмом 500 $м^3$ и высотой $h = 4$ $м$

Токсичный газ	τ_1, $с$	T_1, ºС	$\tau_{кр}^{t}$, $с$	$\tau_{кр}^{O}$, с	$\tau_{кр}^{дым}$, $с$	НВЭ, $с$
1. Мебель + бытовые изделия						
CO	113	50,5	142	168	53	31
HCl	н.д.					
Акролеин	**39**	21,2				
HCN	н.д.					
2. Мебель + ткани						
CO	113	52,7	139	171	79	31
HCl	н.д.					
Акролеин	**39**	21,3				
HCN	н.д.					
3. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)						
CO	54	51,6	68	84	40	15
HCl	-					
Акролеин	**19**	21,3				
HCN	н.д.					
4. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9+0,1)						
CO	96	54,8	116	143	78	26
HCl	н.д.					
Акролеин	**33**	21,4				
HCN	-					
5. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)						
CO	-	-	32	45	18	5
HCl	**6**	20,4				
Акролеин	н.д.					
HCN	9	21,5				
6. Химическое вещество: этиловый спирт						
CO	**4,1**	69,4	4,2	4,6	3	3
HCl	0					
Акролеин	н.д					
HCN	н.д					
7. Радиоматериалы: поли (этилен, стирол, пропил), гетинакс						
CO	136	414,9	**77**	89	38	62
HCl	79	74				
Акролеин	н.д.					
HCN	н.д.					
8. Упаковка: бумага + картон + поли(этилен + стирол): (0,4+0,3+0,15+0,15)						
CO	307	175,5	220	248	123	47
HCl	251	97				
Акролеин	**59**	21				
HCN	-	-				

Примечания:

- временные показатели рассматриваемых ОФП получены для высоты 1,7 *м* от уровня пола помещения (средняя высота расположения органов дыхания человека);

τ_1 - критическая продолжительность пожара при достижении ПДЗ исследуемого токсичного газа, *с*;

T_1– среднеобъёмная температура в помещении (^oC) при достижении ПДЗ исследуемого токсичного газа;

$\tau_{кр}^{t}$, $\tau_{кр}^{O}$, $\tau_{кр}^{дым}$: - критическая продолжительность пожара при достижении ПДЗ повышенной температуры, пониженной концентрации кислорода воздуха, снижении видимости в дыму соответственно;

НВЭ – необходимое время эвакуации людей из рассматриваемого помещения, с. За это время люди в обязательном порядке должны покинуть пожароопасное помещение. Если они по различным причинам не успевают этого сделать, возможно проявление симптоматики от воздействия различных ОФП;

"н.д." – нет данных о выделении токсичного газа при сгорании горючей нагрузки;

"-" - токсичный газ выделяется при горении, но его концентрация не достигает предельного значения за всё рассматриваемое время развития пожара.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что концентрация монооксида углерода достигает своего предельного значения спустя значительный промежуток времени, к которому другие ОФП превысили ПДЗ.

Результаты анализа расчётов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Статистика расчётов для таблицы 2

Параметр	Опасный фактор пожара, кол-во / %					
	CO	HCl	Акролеин	HCN	температура	Концентрация кислорода
Достигает ПДЗ раньше, чем другие ОФП	0/0	1/1,49	30/44,78	1/1,49	35/52,2	0/0
Выделяется при горении, но не достигает ПДЗ	0/0	7/10,44	Всегда достигает ПДЗ	6/8,95	-	-

Для подтверждения полученных результатов проведено моделирование процесса выделения монооксида углерода при сгорании различных видов горючих нагрузок в зданиях различного функционального назначения с отличающимися объёмно-планировочными решениями, используя методику, изложенную в [15]. Данная методика в настоящий момент является самой современной и учитывает большинство особенностей термогазодинамической картины пожара. Фрагмент полученных результатов представлен в виде рисунков 1 и 2.

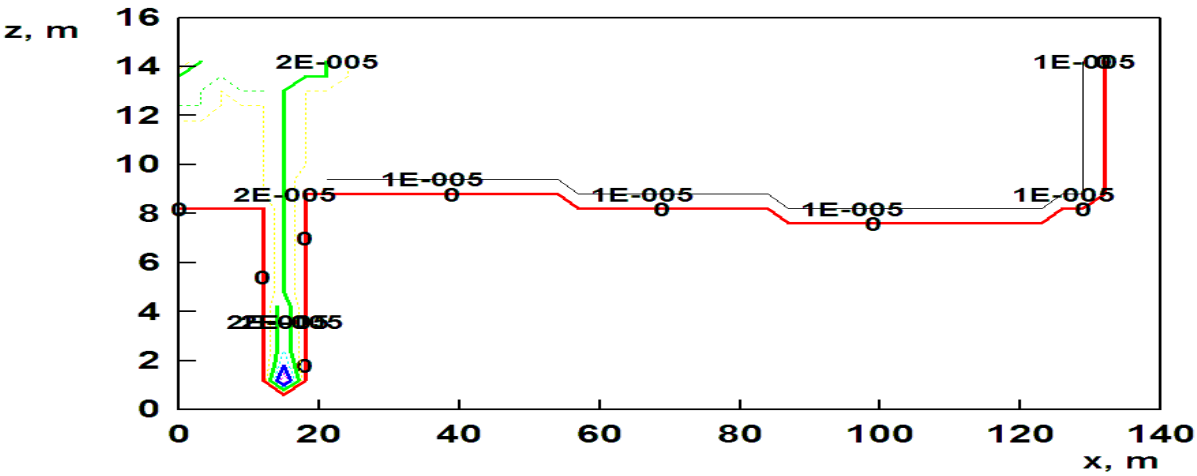

Рис. 1. Поле массовых концентраций окиси углерода в продольном сечении атриума терминала Шереметьево-1 через 360 *с* от начала пожара

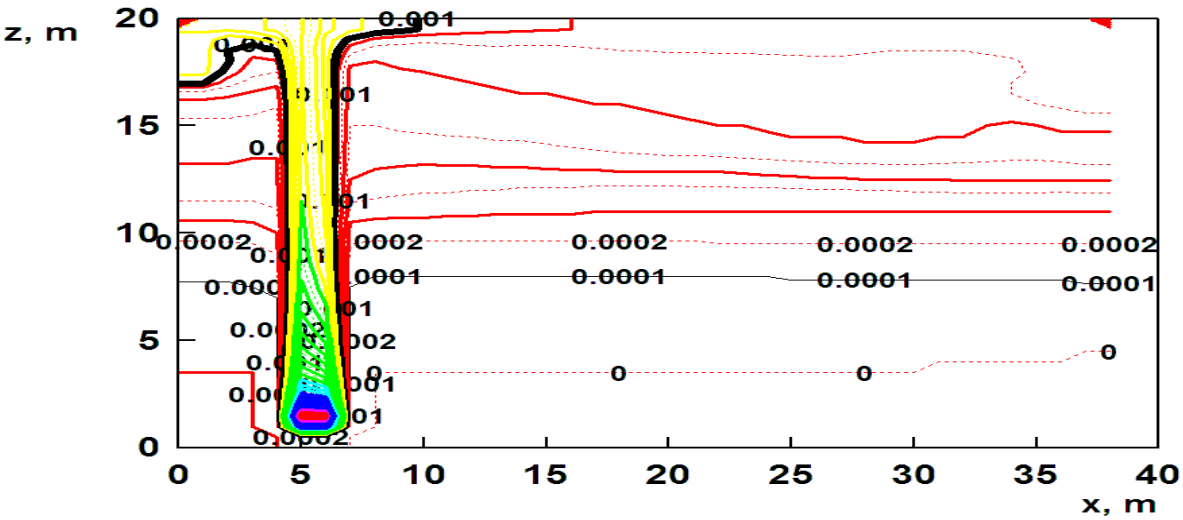

Рис. 2. Поля массовой концентрации окиси углерода в продольном сечении через 360 *с* от начала пожара в зрительном кинозале комплекса придорожного развития в деревне Барвиха

Данные рисунков 1, 2 показывают, что через 6 минут от начала пожара (люди уже покинули помещение) в атриумах зданий опасные для жизни и здоровья человека концентрации монооксида углерода не образуются даже под перекрытием здания, хотя в процессе дальнейшего развития пожара концентрация CO может достигнуть ПДЗ и более высоких уровней.

Принимая во внимание полученную статистику, результаты экспериментальных исследований специалистов противопожарной службы и судебно-медицинских экспертов, необходимо сказать о несовершенстве нормативных документов в области обеспечения пожарной безопасности. В частности, нормативный документ [14] является одним из основных для прогнозирования ОФП в помещениях и в своих методиках учитывает опасность на пожаре только от CO, CO_2 и хлороводорода, что не соответ-

ствует реальной токсикологической обстановке на пожаре. В таблице 2 впервые даны оценки критической продолжительности пожара по таким высокотоксичным соединениям как акролеин и циановодород. Полные результаты исследований представлены в [1, 2].

Нормативный документ [16] регламентирует процедуру проведений испытания полимерных материалов на воспламеняемость, дымообразующую способность, распространение пламени и токсичность для последующего получения сертификата качества по пожарной безопасности.

В методике проведения испытаний на токсичность сказано, что в зависимости от состава продуктов горения материала должен определяться количественный выход оксида углерода, диоксида углерода, цианистого водорода, оксидов азота, альдегидов и других веществ. Для оценки вклада оксида углерода в токсический эффект измеряют содержание HbCO в крови подопытных животных [16]. На самом деле, в п. 4.20.1.5 [16] замеры газовоздушной среды в камере сгорания предписывается проводить газоанализатором ГИАМ-5М, который позволяет измерять только CO, CO_2 и кислород воздуха, что также не соответствует реальной токсикологической обстановке на пожаре. У подопытных животных – белых мышей в случае их смерти, забор крови не производится, т.к. в соответствующих лабораториях проводится наблюдение за мышами в течение определённого срока, где оцениваются реакция и симптоматика у животных. Опасность комбинированного воздействия токсичных газов в камере сгорания при испытании образца в конечном итоге оценивается путём подсчёта выживших и погибших особей по истечению срока наблюдения за ними.

Все эти недостатки и несоответствия процедуры сертификации в значительной степени недооценивают и занижают реальную опасность материала, с точки зрения токсичности, при термической деструкции на пожаре, в результате чего в условиях реального пожара материал, прошедший сертификацию, может послужить причиной отравления и гибели людей.

На основании вышеизложенного сделаны следующие выводы:

1.Опасность, представляемая монооксидом углерода при сгорании веществ и материалов, значительно преувеличена.

2. При сгорании материалов, составляющих доминирующую горючую нагрузку зданий и сооружений, в опасных для жизни и здоровья человека концентрациях будут выделяться монооксид углерода, акролеин, циановодород, хлороводород, аммиак, фтороводород. В крови погибших людей на пожарах, помимо карбоксигемоглобина, в опасных для жизни и здоровья концентрациях могут находится цианиды, акриловые и хлорные соединения, что полностью соответствует проводимым исследованиям пожарных и судебно-медицинских экспертов.

3. Судебно-медицинская экспертиза лиц, погибших при пожарах, должна проводится с использованием широкого спектра судебно-химических исследований для количественного определения наиболее токсичных компонентов газовой среды пожара, образующихся при горении и термическом разложении веществ и материалов.

4. С целью снижения количества отравлений и гибели людей во время пожаров необходимо:

а) проведение специализированного обучения населения мерам пожарной безопасности в быту, на рабочем месте и в общественных зданиях;

б) проведение учебных тренировок по эвакуации из зданий в случае возникновения пожара;

в) обеспечение зданий и сооружений средствами защиты органов дыхания и зрения изолирующего и фильтрующего типа.

5. Необходимо совершенствование нормативных документов как в области обеспечения пожарной безопасности, так и в области судебной медицины: ориентирование норм на доминирующую опасность монооксида углерода может повлечь, с одной стороны, судебные ошибки, а с другой – занижение возможной токсикологической опасности веществ и материалов при пожаре в помещении.

Литература

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

2. Смагин А.В. Моделирование выделения и распространения токсичных газов при пожарах в зданиях и сооружения для обоснования их объёмно-планировочных решений с целью обеспечения безопасной эвакуации людей // Дис-я на соискание уч. степени к.т.н. - М., 2008. - 269 с.

3. Щеглов П.П. Исследование состава газообразных продуктов термоокислительного разложения некоторых полимерных строительных материалов // Дис-я на соискание уч. степени к.т.н. 1967. - 124 с.

4. Матюшин А.В. Исследование начальной стадии развития пожара в помещении с целью обоснования необходимого времени эвакуации людей из торговых залов универмагов // Дис-я на соискание уч. степени к.т.н. - М., 1982. - 289 с.

5. Веселы В. Исследование состава продуктов термоокислительного разложения и горения некоторых синтетических текстильных волокон с целью обоснования допустимого времени эвакуации людей из зданий при пожаре // Дис-я на соискание уч. степени к.т.н. - М., 1978. - 213 с.

6. Исаева Л.К. Экологические последствия пожаров. Диссертация в виде научного доклада на соискание уч. степени д.т.н. - М., 2001. - 107 с.

7. Иличкин В.С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения. - М.: Химия, 1993.- 136 с.

8. Белешников И.Л. Судебно-медицинская оценка содержания цианидов в органах и тканях людей, погибших в условиях пожара // Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.м.н. Санкт-Петербург. 1996 г.

9. Петров Л.В. Судебно-медицинская характеристика комбинированных отравлений в условиях пожара // Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.м.н. – С.-Пб., 1993.

10. Мурзаев А. М. Судебно-медицинская характеристика отравлений продуктами горения азотсодержащих полимерных материалов // Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.м.н. – С.-Пб., 1998.

11. Гахнапетян А.П. Судебно-медицинские аспекты отравлений продуктами горения полимерных материалов // Автореферат диссертации на соискание уч. степени к.м.н. – С.Пб., 1997.

12. Агеева Н.М., Белынцева В.И., Долова И.А., Родина С.М., Тутевич Л.Н., Шварц Р.Л. К вопросу о влиянии некоторых факторов на концентрацию карбоксигемоглобина в трупной крови // Вопросы судебно-медицинской экспертизы и криминалистики. – Горький, 1979.

13. Чекин Б.П., Сафронова Л.Г. Значение места забора и характера хранения трупной крови для определения количества карбоксигемоглобина // Актуальные вопросы судебной медицины и экспертной практики. - Ростов-на Дону, 1985.

14. ГОСТ* 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования. - М.: Госстандарт России, 1992. - 78 с.

15. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. монография. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. - 336 с.

16. ГОСТ 12.1.044-89* ССБТ. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. (ИСО 4589-84).