

УДК 536.46 : 614.841

РОЛЬ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА В ПАТОГЕНЕЗЕ ОТРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА НА ПОЖАРЕ

Пузач С.В.*, д.т.н., профессор, Смагин А.В.*, к.т.н.,
Лебедченко О.С.*, к.юр.н, доцент, Доан Вьет Мань*,
Полевада И.И.**, к.т.н, доцент, Полоз Д.А.**, Осяев В.А.**,
Кузьмицкий В.А.**, д.ф.-м.н, ст.н.с., доцент

* Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, г. Москва

** Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

*e-mail: puzachsv@rambler.ru, **e-mail: ip@kii.gov.by

Представлен анализ опасности токсичных газов, выделяющихся при сгорании горючей нагрузки. Выполнены расчеты динамики опасных факторов пожара в помещении с использованием интегральной и полевой моделей пожара. Подчеркнуто существенное влияние высокотоксических газов, в частности акролеина, как опасных факторов пожара. Отмечено, что существующая база данных по горючей нагрузке должна быть уточнена и расширена по выходу высокотоксичных газов. Указано на важность индивидуального подхода к оказанию медицинской помощи пострадавшим на пожарах от высокотоксических газов, зависящих от типа горючей нагрузки.

The analysis of toxic gases danger produced by combustion of burning load is presented. The calculations of dynamic of dangerous factors for indoors fire have been performed using both integral and field models. The sufficient influence of highly toxic gases, in particular, acrolein as dangerous factors of fire has been described. It is noted that existing database on burning load should be added with the highly toxic gases. It is emphasized the importance of individual approach in rendering of the medical care to fire victims demanded by highly toxic gases which depend on burning load type.

(Поступила в редакцию 15 июня 2009 г.)

Количество чрезвычайных ситуаций (ЧС), связанных с пожарами, в настоящее время остается на достаточно высоком уровне. Отмечено увеличение количества пожаров в административных зданиях, зданиях учебных заведений, зданиях общественного назначения, в жилом секторе, нередко сопровождающееся массовой гибелью людей. В 2008 г. на территории Российской Федерации произошло 200 386 пожаров, на которых погибло 15 165 человек, 12 800 человек получили травмы различной степени тяжести.

Тяжелые последствия от ЧС, в том числе и от пожаров, вызваны, главным образом, слабой подготовкой населения к действиям при угрозе и возникновении ЧС, низкой культурой безопасной жизнедеятельности и недостаточной обеспеченностью необходимыми средствами индивидуальной защиты. Одной из основных причин гибели людей при пожарах (более 80 % случаев) является отравление газообразными продуктами горения 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 для жизни и здоровья человека концентраций спустя незначительные промежутки времени, низкой температурой воспламенения и плавления, высокой скоростью распространения пламени, токсичностью и дымообразующей способностью [2, 3].

Работы по исследованию последствий пожаров ведутся многими специалистами в различных странах мира. Получено большое количество экспериментальных и теоретиче-

ских данных о параметрах пожаров, которые опубликованы в различных научно-технических источниках [4–7].

При горении 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 и другие летучие вещества. Токсичный эффект таких сложных смесей определяется содержанием токсичных компонентов, а также характером их комбинированного действия на живой организм [7].

В табл. 1 представлена сводная информация о возникновении наиболее опасных и распространенных токсичных газов и об их воздействии на организм человека.

Таблица 1 – Влияние токсичных газов на организм человека при пожаре

Токсичный газ	Источник токсичных газов	Реакция организма человека
Монооксид углерода	Органические материалы искусственного и природного происхождения	Головокружение, тошнота, рвота, слабость, поражение нервной и сердечнососудистой систем, потеря сознания, смерть
Цианистый водород	Азотсодержащие вещества: шерсть, шелк, пенополиуретан, полиакрилонитрил	Головная боль, тошнота, рвота, жжение в носу, слезотечение, кашель, потеря сознания, смерть
Диоксид азота	Древесина, шерсть, фетр, кожа, лен, полистирол, ПВХ, полисульфон, резиновые изделия	Бронхопневмония, отек легких, кислородная недостаточность, поражение верхних дыхательных путей, смерть
Сероводород	Серосодержащие материалы	Общетоксическое действие, раздражение глаз и дыхательных путей
Хлористый водород	ПВХ, древесина, ДСП, фанера, бумага, ППУ	Спазм дыхательных путей, обильное слезотечение, ожог слизистых оболочек, отек легких
Фтористый водород	Вещества содержащие фторированные углеводороды	Язвы на слизистых оболочках глаз и верхних дыхательных путей, носовые кровотечения, спазм гортани и бронхов, отек легких, кровоизлияние, поражение ЦНС
Аммиак	Шерсть, шелк, полиакрилонитрил, полиамид, полиуретан	Обильное слезотечение, боль в глазах, кашель, удушье, кашель, головокружение, рвота, отек голосовых связок, отек легких
Акролеин	Древесина, полипропилен, бумага, нефтепродукты	Кашель, слезотечение, рвота, боли в животе, синюшность губ, замедление пульса, отек легких, потеря сознания, возможна смерть
Фосген	ПВХ, хлорсодержащие материалы	Слезотечение, кашель, тошнота, раздражение верхних дыхательных путей и глаз, отек легких

Оценивая признаки отравления человека на пожаре, медицинский работник должен различать симптомы воздействия токсичных газов. Образование токсичных газов происходит в результате сложных, цепных химических реакций, которые протекают при различных температурах и других важных условиях, сопровождающих пожар, что может говорить о многостадийности процесса образования токсичных газов и, как следствие, процесса отравления человека. Наиболее интенсивное образование угарного газа (СО) наблюдается при температуре пожара 600 °С и недостатке кислорода, т.е. можно говорить о том, что пожар

имеет развившуюся стадию. Хлороводород, циановодород и акролеин выделяются при температуре пожара 100–215 °С, что свойственно начальной стадии пожара. Например, если пострадавший на пожаре жалуется на боли в горле (першение, жжение), то это ни в коем случае не говорит о том, что человек отравился угарным газом. В данном случае боли в верхних дыхательных путях и глазах могут быть вызваны термо-ингаляционной травмой, которая сопровождается вдыханием горячего дыма или воздуха, а также вдыханием токсичных газов раздражающего действия: акролеина, циановодорода, хлороводорода, фтороводорода, аммиака и др. Симптомы биологического действия на организм человека токсических газов представлены в табл. 1. Воздействие угарного газа вызывает слабость, дискомфорт, головокружение, тошноту, рвоту и т.д. Процесс отравления занимает некоторое время, зависящее от условий сгорания материала.

В целом, токсическая опасность определяется скорее не природой летучих продуктов горения, а скоростью их образования, которая, в свою очередь, зависит от воспламеняемости, интенсивности тепловыделения и скорости распространения пламени.

Важно учитывать, что токсичные газы на пожаре оказывают комбинированное воздействие на организм человека при одновременном повышении температуры в помещении и снижении концентрации кислорода в зоне горения, в результате чего могут образовываться новые, более сложные в химическом и токсикологическом отношении соединения, влияние которых на организм человека еще недостаточно изучено, но известно, что они оказывают синергическое (аддитивное или антагонистическое) действие.

При составлении медицинских справочников по оказанию первой медицинской помощи пострадавшим на пожаре внимание уделяется только отравлению угарным газом, другие высокотоксичные газы не удостоены внимания, хотя при пожаре, как уже было сказано ранее, выделяются сотни химических соединений, во многих случаях речь не идет даже об отравлении продуктами горения веществ и материалов.

Значительный объем исследовательской работы по изучению признаков отравления лиц, погибших на пожарах, и содержания токсикантов в их крови выполнен судебно-медицинскими экспертами в г. Санкт-Петербурге [3]. Результаты подтверждают и доказывают, что в 85 % случаев в крови погибших на пожарах может содержаться не только карбоксигемоглобин (НbСО), но и цианиды, нитрил акриловой кислоты (НАК), хлорсодержащие соединения, аммиак и другие высокотоксичные соединения. Это говорит о комбинированном воздействии агрессивной среды пожара. Установлено, что при комбинированном воздействии токсичных газов на пожаре в крови погибших концентрации НbСО и других токсичных компонентов могут быть значительно ниже смертельной дозы, что при некоторых условиях может привести к ошибкам при установлении причины смерти. Также отмечается, что при содержании в крови погибшего НbСО и цианидов отдельное выделение ведущего токсического агента нецелесообразно [3], т.е. в этом случае нельзя вести речь об отравлении только СО.

Используя современные методы математического моделирования опасных факторов пожара (ОФП) [1, 8] в помещении, авторы статьи провели расчеты критической продолжительности пожара по достижении предельно допустимых значений (ПДЗ) повышенной температурой (70 °С), пониженной концентрацией кислорода ($226 \cdot 10^3$ мг/м³), потерей видимости в дыму (20 м), монооксидом углерода (1 160 мг/м³), хлороводородом (23 мг/м³), акролеином (10 мг/м³) циановодородом (100 мг/м³) для помещения объемом 500 м³, оснащенного различными видами комбинированных горючих нагрузок (67 вариантов). Фрагмент выполненных расчетов по [1] представлен в табл. 2.

Полученные расчетом временные характеристики достижения ОФП своих ПДЗ показывают, что:

1. В первую очередь, для эвакуирующихся людей будут представлять опасность дым и снижение видимости в помещении, что в значительной степени влияет на ориентацию человека в пространстве и, как следствие, на скорость его перемещения в безопасную зону или к эвакуационному выходу. Термин «дым» используется для упрощенного обозначения паро-

газоаэрозольного комплекса, в составе которого будут присутствовать и нагретые пары токсичных газов.

2. Помимо опасности от снижения видимости в помещении спустя незначительный промежуток времени от начала возникновения модельного пожара появляются опасные для жизни и здоровья человека концентрации акролеина и циановодорода, далее, как правило, достигает своего предельного значения температура и пониженная концентрация кислорода воздуха, и только потом угарный газ достигает своего ПДЗ, что говорит о многостадийности процесса отравления человека на начальной стадии развития пожара.

Результаты анализа расчетов представлены в табл. 3.

Таблица 2 – Критическая продолжительность пожара по отдельным ОФП и необходимое время эвакуации людей из помещений различного функционального назначения объемом 500 м³ и высотой $h = 4$ м

Токсичный газ	τ_1 , с	T_1 , °С	$\tau_{кр}^I$, с	$\tau_{кр}^O$, с	$\tau_{кр}^{дым}$, с	НВЭ, с
1	2	3	4	5	6	7
1. Мебель + бытовые изделия						
СО	113	50,5	142	168	53	31
HCl	Нет данных					
Акролеин	39	21,2				
HCN	Нет данных					
2. Мебель + ткани						
СО	113	52,7	139	171	79	31
HCl	Нет данных					
Акролеин	39	21,3				
HCN	Нет данных					
3. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)						
СО	54	51,6	68	84	40	15
HCl	–					
Акролеин	19	21,3				
HCN	Нет данных					
4. Общественное здание: мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1)						
СО	96	54,8	116	143	78	26
HCl	Нет данных					
Акролеин	33	21,4				
HCN	–					
5. Верхняя одежда: ворс, ткани (шерсть + нейлон)						
СО	–		32	45	18	5
HCl	6	20,4				
Акролеин	Нет данных					
HCN	9	21,5				
6. Химическое вещество: этиловый спирт						
СО	4,1	69,4	4,2	4,6	3	3
HCl	0					
Акролеин	Нет данных					
HCN	Нет данных					
7. Радиоматериалы: полиэтилен, полистирол, полипропил, гетинакс						
СО	136	414,9	77	89	38	62
HCl	79	74				
Акролеин	Нет данных					
HCN	Нет данных					

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
8. Упаковка: бумага + картон + полиэтилен + полистирол (0,4 + 0,3 + 0,15 + 0,15)						
СО	307	175,5	220	248	123	47
НСІ	251	97				
Акролеин	59	21				
HCN	–					

Примечания. Временные показатели рассматриваемых ОФП получены для высоты 1,7 м от уровня пола (средняя высота расположения органов дыхания человека).

Прочерк означает, что токсичный газ выделяется при горении, но его концентрация не достигает предельного значения за все рассматриваемое время развития пожара.

Обозначения. τ_1 – критическая продолжительность пожара по достижении токсичным газом своего ПДЗ, с;

T_1 – среднеобъемная температура в помещении на момент достижения токсичным газом своего ПДЗ, °С;

$\tau_{кр}^t$, $\tau_{кр}^O$, $\tau_{кр}^{дым}$ – критическая продолжительность пожара по достижении повышенной температурой, пониженной концентрацией кислорода воздуха, снижающейся видимостью в дыму своих ПДЗ, с;

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.

Для подтверждения полученных результатов выполним моделирование выделения монооксида углерода при сгорании различных видов горючих нагрузок в зданиях различного функционального назначения с отличающимися объемно-планировочными решениями, используя методику моделирования, изложенную в [9]. Данная методика в настоящий момент является самой современной и учитывает большинство особенностей термогазодинамических процессов, протекающих при пожаре. Данный расчет выполнен на современном компьютере, который 1 минуту развития пожара считает 5 часов. Фрагмент полученных результатов представлен на рис. 1 и 2.

Таблица 3 – Статистика расчетов для табл. 2

Параметр	ОФП, количество / %					
	СО	НСІ	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	–	6/8,95	–	–

Данные рис. 1, 2 показывают, что через 6 минут после 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 СО может достигнуть своего ПДЗ и превысить его.

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 [8] является одним из основных для прогнозирования ОФП в помещениях и в своих методиках учитывает опасность на пожаре только от СО, СО₂ и хлороводорода, что не соответствует реальной токсикологической обстановке на пожаре.

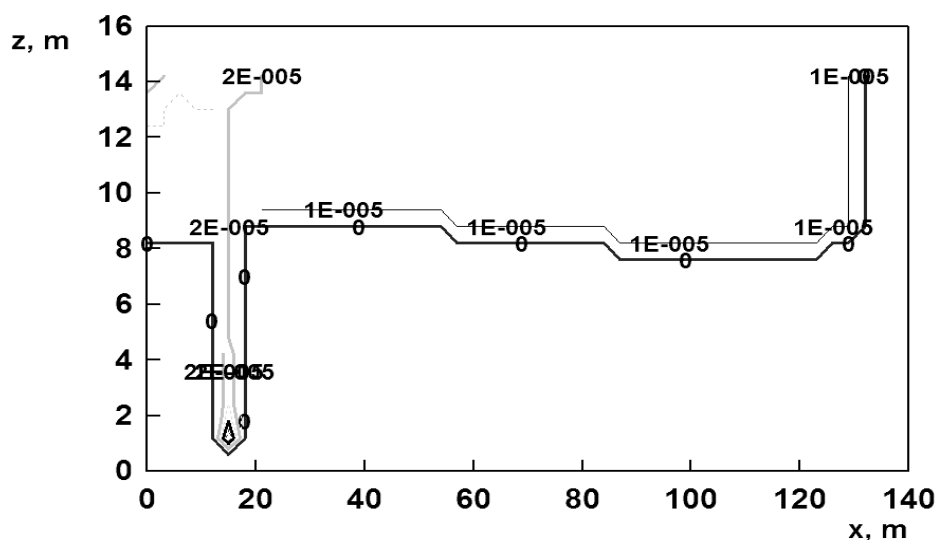


Рисунок 1 – Поле массовых концентраций окиси углерода в продольном сечении атриума терминала «Шереметьево-1» через 360 с после начала пожара

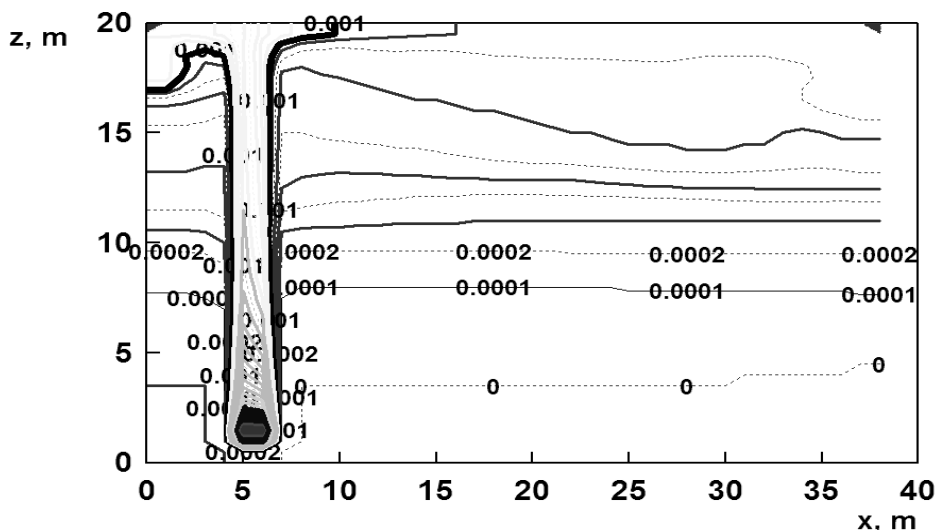


Рисунок 2 – Поле массовой концентрации окиси углерода в продольном сечении через 360 с после начала пожара в зрительном зале

Обеспечить наиболее высокий уровень защиты людей от воздействия токсичных газов и других ОПП помогут следующие способы:

- 1) устройство в зданиях и сооружениях высокоэффективных систем дымоудаления;
- 2) использование при эвакуации портативных фильтрующих самоспасателей;
- 3) использование при отделке и оснащении помещений веществ и материалов с низкой дымообразующей способностью и токсичностью.

Необходимо отметить, что современное состояние нормативной базы в области обеспечения пожарной безопасности не позволяет обеспечивать наиболее высокий уровень защиты людей от воздействия ОПП, следовательно, смертность и травмирование людей на пожарах на протяжении ближайших лет будут оставаться на достаточно высоком уровне.

Выводы

1. Доминирующий вклад угарного газа в патогенез отравления несомненен, но также необходимо учитывать пагубное влияние других высокотоксичных соединений.
2. При сгорании материалов, составляющих основную горючую нагрузку зданий и сооружений, в опасных для жизни и здоровья человека концентрациях будут выделяться

монооксид углерода, акролеин, циановодород, хлороводород, аммиак, фтороводород и другие вещества. В крови погибших и пострадавших людей на пожарах, помимо карбоксигемоглобина, в опасных для жизни и здоровья концентрациях могут находиться цианиды, акриловые и хлорные соединения.

3. Первая медицинская помощь пострадавшему на пожаре должна проводиться с учетом отравления не только угарным газом, но и другими высокотоксичными соединениями. Необходимо опросить пострадавшего и осмотреть его для установления симптомов отравления и выбора метода лечения человека.

4. Необходимо совершенствовать нормативные документы как в области обеспечения пожарной безопасности, так и в сфере оказания первой медицинской помощи. Ориентация на доминирующую опасность от монооксида углерода может повлечь, с одной стороны, врачебные ошибки, а с другой, занижение возможной токсической опасности веществ и материалов при пожаре в помещении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые представления о расчете необходимого времени эвакуации людей и об эффективности использования портативных фильтрующих самоспасателей при эвакуации на пожарах / С.В. Пузач [и др.]; под общ. ред. С.В. Пузача. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2007. – 222 с.
2. Смагин, А.В. Моделирование выделения и распространения токсичных газов при пожарах в зданиях и сооружениях для обоснования их объемно-планировочных решений с целью обеспечения безопасной эвакуации людей : дис. ... канд. технич. наук : 05.26.03 / А.В. Смагин. – М., 2008. – 269 с.
3. Оценка опасности акролеина, синильной и соляной кислоты при пожаре / С.В. Пузач [и др.] // Вестник командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. – 2009. – № 1 (9). – С. 71–75.
4. Матюшин, А.В. Исследование начальной стадии развития пожара в помещении с целью обоснования необходимого времени эвакуации людей из торговых залов универмагов : дис. ... канд. технич. наук : 05.26.01 / А.В. Матюшин. – 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. ... канд. технич. наук : 05.26.01 / В. Веселы. – М., 1978. – 213 с.
6. Исаева, Л.К. Экологические последствия пожаров : дис. ... доктора технич. наук : 05.26.03 / Л.К. Исаева. – М., 2001. – 107 с.
7. Иличкин, В.С. Токсичность продуктов горения полимерных материалов. Принципы и методы определения / В.С. Иличкин. – М. : Химия, 1993. – 136 с.
8. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования : ГОСТ 12.1.004-91. – Введ. 01.07.92. – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР : Издательство стандартов, 1992. – 78 с.
9. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожарозрывобезопасности / С.В. Пузач. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.