

А.В. Елизаров, к.т.н., доцент, НУГЗУ

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ГОРЯЩЕМ ПОМЕЩЕНИИ

(представлено д.н. А. Мизерски)

В статье представлен метод расчёта изменения концентрации токсичных газов в горящем помещении в начальной стадии развития пожара. Данная способ позволяет оценить опасность нахождения спасателей в здании и состояние пострадавших к моменту прибытия подразделений.

Ключевые слова: газовая фаза, продукты горения, концентрация токсичных веществ, безопасность людей на пожарах, анализ тушения пожара.

Постановка проблемы. В продуктах горения, выделяющихся на пожарах, содержится от 50 до 100 видов химических соединений, которые могут оказывать токсическое воздействие на человека.

Продукты сгорания, выделяемые при пожарах, можно разделить на три основные группы: твёрдые частицы; нерастворимые газы; газы, растворимые в воде.

Таким образом, одной из проблем при выполнении оперативных действий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций является определение времени нарастания концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте.

Анализ последних исследований и публикаций. В доступных источниках большое внимание уделяется изучению среды, где возникают чрезвычайные ситуации, безопасности работы спасателей. В [1] полученные соотношения позволяют без использования сложного программного обеспечения, на основании конечных формул оценивать концентрацию продуктов горения в помещении во время пожара, что является важным при разработке рациональной тактики действий при ликвидации пожаров, а также для разработки оперативных документов на объекты. В [2, 4] предложен способ определения концентраций опасных факторов дыма для «горячей» и «холодной» зоны. Недостатком исследований является то, что не определялась концентрация токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте для оценки состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений оперативно-спасательной службы.

Постановка задачи и ее решение. Цель работы – определение концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте для оценки состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений оперативно-спасательной службы.

Основными опасными факторами пожара, приводящими к гибели людей, являются:

- открытый огонь;
- повышенная температура воздуха;
- токсичные продукты горения;
- понижение концентрации кислорода;
- обрушение повреждённых зданий и сооружений;
- взрывы веществ и материалов;
- комбинированное воздействие различных факторов.

При пожарах в зданиях гибель людей из-за обрушения конструкций происходит редко, так как условия, представляющие опасность для жизни человека на пожаре, появляются намного раньше, чем наступает предел огнестойкости строительных конструкций. Контакт человека с открытым пламенем даже при очень кратком промежутке времени приводит к гибели. Однако таких случаев на пожарах очень мало. По данным американского учёного Кауфмана, человек может выдержать температуру 90–120 °С в течение нескольких минут. Автор работы [3] утверждает, что для физически здоровых людей в повседневной одежде допустимым пределом является период 10 минут при температуре 80–100 °С, а температура 49–54 °С является высшим пределом температур, которым могут подвергаться пожарные в специальной одежде и снаряжении. Последствием воздействия высоких температур на организм человека являются термические травмы различной степени тяжести.

Во время пожара в здании наибольшую опасность представляют токсичные газы – такие как окись углерода, двуокись углерода, хлористый водород, цианистый водород, альдегиды и акролеин, – а также сопутствующий недостаток кислорода.

Окись углерода (СО) – продукт неполного горения. Опасность этого газа заключается в том, что он в 250 раз прочнее соединяется с гемоглобином крови, чем кислород, образуя при этом карбоксигемоглобин. Гемоглобин крови не может легко освободиться от окиси углерода в отличие от молекул кислорода. Если человек продолжает вдыхать воздух, насыщенный этим газом, то молекулы окиси углерода связываются с оставшимися молекулами гемоглобина. Образовавшийся карбоксигемоглобин не способен переносить кислород к органам и тканям организма, в результате чего наступает кислородное голодание. Нарушаются функции мозга, сердца, координация и появляются судороги, в дальнейшем наступает остановка дыхания (табл. 1).

Опасной для человека считается степень насыщения окисью углерода 50 % гемоглобина крови, при ней наблюдается потеря сознания, и самостоятельная эвакуация человека из горящего помещения становится невозможной.

Табл. 1. Воздействие окиси углерода на человека в зависимости от концентрации и продолжительности действия

Концентрация CO, %	Продолжительность воздействия, мин	Содержание карбоксигемоглобина в крови, %	Эффект
0,005	480	10	Нет эффекта
0,01	480	20	Слабый эффект
0,02	120	60-70	Летальный исход
0,08	60-120		
0,10	60	40	Сильное отравление
0,16	30	60-70	Летальный исход
0,50	20		
1,0	10	80	

В условиях пожара нарастает недостаток кислорода в горящем помещении. Нахождение человека в среде с низкой концентрацией кислорода приводит к недостаточному снабжению кислородом головного мозга, его повреждению.

Табл. 2. Влияние понижения концентрации кислорода в воздухе на человека

Концентрация кислорода, %	Реакция организма на гипоксию
17	Ухудшение двигательной функции, нарушение координации, внимания, мышления
15	Затруднение дыхания, головокружение и головная боль, потеря мускульного контроля
12	Учащение пульса и числа вдохов, утомляемость, бессилие, необратимые процессы в мозге
10	Рвота, паралич движения, состояние опьянения
6	Нарушение сознания, повреждение центральной нервной системы, судороги, потеря сознания

Для определения времени нарастания концентрации токсичных газов в объёме помещения на определённой высоте необходимо произвести следующие расчёты:

1. Площадь пожара в характерные моменты времени в горящем здании.
2. Поверхность теплообмена в помещении, где происходит горение

$$S_{\text{то}} = S_{\text{пол}} + S_{\text{пер}} + S_{\text{стр}} + S_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{пол}}$, $S_{\text{пер}}$, $S_{\text{стн}}$, соответственно, площадь пола, перекрытия и стен помещения, а $S_{\text{п}}$ – площадь пожара в помещении, м^2 .

3. Масса сгоревшей пожарной нагрузки на определённый момент времени развития пожара

$$M_{cm} = S_{п} \cdot \mathcal{G}_m \cdot \tau_{п}, \quad (2)$$

где \mathcal{G}_m – массовая скорость выгорания пожарной нагрузки, кг/м²·ч; $\tau_{п}$ – время от момента возникновения пожара до определённого момента времени его развития.

4. Параметр Φ , характеризующий теплообмен в горящем помещении

$$\Phi = \frac{\eta \cdot M_{cm} \cdot Q_n^p}{C_{рн} \cdot T_n \cdot \rho_n \cdot W_{пом}}, \quad (3)$$

где η – коэффициент полноты сгорания пожарной нагрузки, равный 0,95-0,97; Q_n^p – низшая теплота сгорания пожарной нагрузки, кДж/кг; $C_{рн}$ – теплоёмкость воздуха в помещении до пожара, кДж/кг; T_n – начальная температура воздуха в помещении до пожара, °К; ρ_n – начальная плотность воздуха в помещении до пожара, кг/м³; $W_{пом}$ – объём помещения, в котором происходит горение, м³.

5. Удельная теплоёмкость тепловыделения в горящем помещении

$$Q_{уд}^{тв} = \frac{\eta \cdot M_{cm} \cdot Q_n^p}{S_{то} \cdot \tau_{п} \cdot 60}, \quad (4)$$

где $Q_{уд}^{тв}$ – удельная теплоёмкость тепло - выделения в горящем помещении, кВт/м²; $\tau_{п}$ – продолжительность пожара с момента его возникновения до определённого времени развития, мин.

6. Среднеобъёмная концентрация наиболее токсичного газа в горящем помещении на определённый момент времени

$$C_{т} = C_n + \frac{M_{co} \cdot M_{cm} \cdot \beta}{10^3 \cdot \rho_n \cdot W_{пом}}, \quad (5)$$

где C_n – начальная концентрация токсичного газа СО в помещении до пожара, г/м³; M_{co} – количество СО, выделяемое при горении в помещении, равное 0,015; β – коэффициент, который определяется по графику в зависимости от величины Φ (рис. 1).

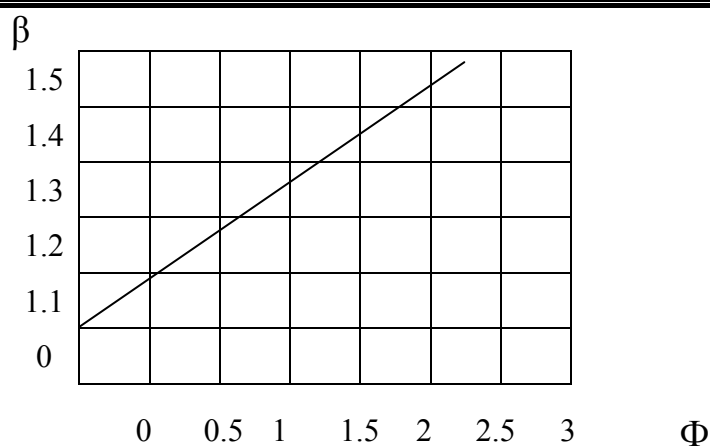


Рис. 1. Зависимость коэффициента β от величины Φ

7. Концентрация токсичного газа CO на уровне рабочей зоны спасателя, где a и b – коэффициенты, которые определяются по формулам

$$C_y = C_T + \frac{1 + ab}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (6)$$

где a и b – коэффициенты, которые определяются по формулам

$$a = \frac{18,76}{H_{\text{пом}}} \ln(Q_{\text{уд}}^{\text{ТВ}} + 1), \quad (7)$$

где $H_{\text{пом}}$ – высота помещения, в котором происходит горение, м

$$b = \frac{H_{\text{пом}}}{2,16 Q_{\text{уд}}^{\text{ТВ}} + 17,27}. \quad (8)$$

8. Значение безразмерного параметра y определяется по формуле

$$y = \frac{H_{\text{рз}}}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (9)$$

где $H_{\text{рз}}$ – высота рабочей зоны, равная 1,5-1,8 м.

9. Средняя температура в горящем помещении определяется по формуле

$$T_{\text{ср}} = T_n \frac{1 + ab}{1 + ae^{-y(2-y)}}, \quad (10)$$

Так как опасность токсичных газов при возникновении пожара резко возрастает в течение первых 10 минут его развития, все расчёты необходимо проводить за этот промежуток времени. Целесообразно про-

вести расчёты по двум или трём токсичным газам, которые могут выделяться в горящем помещении. По результатам этих расчётов необходимо построить графики изменения концентрации токсичного газа в горящем помещении в начальной стадии развития пожара (рис. 2).

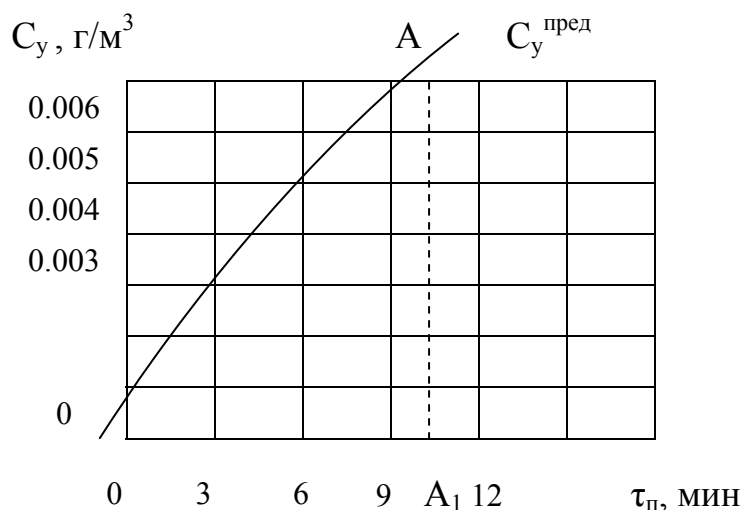


Рис. 2. Изменение концентрации окиси углерода (CO) в горящем помещении: A-A₁ – момент наступления смертельной концентрации окиси углерода в горящем помещении; C_y^{пред} – предельная концентрация токсичного газа на уровне рабочей зоны спасателя

Из графика можно определить момент наступления опасной концентрации токсичного газа, когда надо обязательно защищать органы дыхания спасателей при тушении пожара в данном помещении.

Для определения темпа нарастания концентрации токсичного газа во времени необходимо провести не менее трёх расчётов по определению величины C_y.

Выводы. Приведённый в статье метод определения концентрации токсичных газов во времени является одним из этапов анализа тушения пожара и даёт возможность оценить состояние людей в горящем помещении к моменту прибытия подразделений ГСЧС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елизаров А.В. Учет химического состава горючего вещества при расчете распространения продуктов горения при пожаре в помещении [Электронный ресурс] / А.В. Елизаров // Проблемы пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 38. – Харьков: НУГЗУ. – 2015. – С. 69-72. – Режим доступа: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol38/Elizarov.pdf>.

2. Елизаров А.В. Оперативный способ определения степени опасности дыма и токсичных продуктов горения для жизни людей при пожаре в помещении большого объема [Текст] / А.В. Елизаров // Проблемы

пожарной безопасности: Сб. научн. тр. Вып. 3. – Харьков: ХИПБ. – 1998. – С. 65-68.

3. Кузнецов Е.И. Определение границ переносимости тепловых нагрузок у человека / Е.И. Кузнецов // Космическая биология и авиакосмическая медицина. – 1968. – № 4. – С. 11-17.

4. Елизаров А.В. Оперативное определение основных характеристик образования и распространения дыма при пожаре в помещении: дис. канд. техн. наук: 21.06.02 / Елизаров Александр Викторович. – Х., 2001. – 129 с.

Получено редколлегией 10.03.2017

О.В. Єлізаров

Метод визначення концентрацій токсичних речовин в палаючому приміщенні

У статті представлений метод розрахунку зміни концентрації токсичних газів у палаючому приміщенні в початковій стадії розвитку пожежі. Дана методика дозволяє оцінити небезпеку знаходження рятувальників в будівлі і стан людей до моменту прибуття підрозділів.

Ключові слова: концентрація токсичних речовин, безпеку людей на пожежах, аналіз гасіння пожежі.

A.V. Elizarov

Method for the determination of concentrations of toxic substances in the burning pomesheniya

The article presents the method of calculation changes the concentration of toxic gases in the burning room in the early stages of fire development. This technique allows to assess the risk of a finding of rescuers in the building and the condition of the people by the time of arrival of units.

Key words: concentration of toxic substances, the safety of people in fires, analysis of fire extinguishing.