ДИНАМИКА ВЗРЫВА И ПОЖАРА, ЭНЕРГИЯ ПЛАМЕНИ, ВОСПРИНИМАЕМАЯ ДАТЧИКОМ

Л.А. Ничкова, А.С. Юрченко, И.Н. Лукьяненко, В.В. Севриков,
А.Н. Одинцов, А.К. Малышева

Севастопольский государственный университет,
РФ, г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: nichkova@sevsu.ru

В исследовании получены формулы потока излучения пламени взрывопожароопасных веществ; чувствительности датчика с учетом рассеянности энергии излучения; нечувствительности (инерционности) датчика. Эти характеристики очень важны при проектировании эргатических систем контроля окружающей среды и защиты взрывопожароопасных объектов. Установлено, что время развития взрыва и пожара является лимитирующим параметром в создании систем взрывоподавления и пожаротушения. Эти системы должны быть сверхбыстродействующими для взрывоподавления и быстродействующими для тушения быстроразвивающихся пожаров. Вводная часть данной статьи позволяет поставить вопросы дальнейшего теоретического и экспериментального исследования по оценке рассеяния энергии излучения пламени пожара в производственных условиях, создания болометрического датчика промышленного образца, и с использованием которого провести экспериментальные исследования.

Ключевые слова: возгорание, пламя, взрывопожароопасные объекты, горючие вещества, эргатические системы, датчик, чувствительность и нечувствительность датчика.

Поступила в редакцию: 21.01.2020. После доработки: 20.02.2020.

Введение. Согласно статистическим данным, из числа всех аварий, более 90% приходится на пожары, что свидетельствует о необходимости особого внимания, в первую очередь к проблеме пожарной безопасности.

На взрывопожароопасных объектах чаще всего происходят аварии, которые сопровождаются значительным экономическим ущербом и нередко ничем невозполнимыми человеческими жертвами. Для понимания трагичности последних достаточно привести только отдельные примеры. Взрыв паропылевоздушной смеси (пары растворителей, древесная пыль, кислород воздуха) в цехе футляров радиоаппаратуры Минского радиозавода в 1972 году, в результате которого погибла вся смена – 103 человека и полностью уничтожены здание и оборудование. Взрыв торпеды в отсеке на подводной лодке «Курск» в 2000 году с гибелью всей команды в составе 118 человек. Взрыв (шестой по счету) метано-пылевоздушной смеси с переходом в пожар на шахте им. А.Ф.

Засядько в Донецке в 2007 году с гибелью 111 шахтеров и горноспасателей. С такими же жертвами (91 погибший и 99 пострадавших) произошел взрыв на шахте Распадская в Кузбассе в 2010 году. Пожар в торгово-развлекательном центре города Кемерово в 2018 году с гибелью 64 человек, большая половина из которых дети.

Динамика роста пожаров и ущерба от них сохраняется как в нашей стране, так и в других индустриально развитых странах.

Наиболее опасными и менее предупрежденными являются взрывопожароопасные объекты. Они же являются и менее профилактико-защищенными. На этих объектах происходят пожары двух типов: первый, когда взрыв, даже маломощный, сопровождается пожаром; второй, когда пожар, даже небольшой сопровождается взрывом. Это свидетельствует о том, что на таких объектах должны располагаться системы взрывоподавления, которые срабатывают в начальной стадии развития взрыва. К

сожалению, в настоящее время таких систем, серийно выпускаемых, не имеется. Даже для пожароопасных объектов ныне серийно изготавливаемые АУП (автоматические установки пожаротушения) ожидаемого эффекта часто не обеспечивают по причине их большой инерционности и низкой надежности.

Автоматические системы взрывоподавления для взрывоопасных объектов и пожаротушения для пожароопасных объектов должны разрабатываться и проектироваться исходя из динамики развития взрыва и пожара. К сожалению, в настоящее время таких нормативных методик для разработчиков и проектировщиков сверхбыстродействующих (безинерционных) и быстродействующих систем подавления взрывов и быстро развивающихся пожаров не имеется.

Очевидно, это вызвано недостаточной изученностью процессов горения и взрыва, а также быстродействующих элементов и устройств систем контроля и защиты взрывопожароопасных объектов. Отсутствие быстродействующих и безинерционных систем контроля окружающей среды, производственных и других значимых объектов приводят к крупномасштабным человеческим жертвам и значительному экономическому ущербу.

Материалы и методы. Исходным при разработке и проектировании эргатической системы является ее элемент – очаг возгорания (воспламенения, пламя), переходящий во взрыв или пожар. В основе характеристик взрыва или пожара находится динамика их развития, графическое отображение которой представлено на рис. 1а,б.

Рис. 1. Графики развития взрыва «а» и пожара «б» во времени: 1 – в закрытом объеме; 2 – подавленного взрыва; 3 – пожара в помещении
Fig. 1. Graphs of the development of explosion “a” and fire “b” in time: 1 – in a closed volume; 2 – suppressed explosion; 3 – fire indoors

Динамики взрыва и пожара подтверждена практическими наблюдениями, приведенными в справочнике сотрудников ВНИИПО А.Н. Баратова и др. [1], и монографии В.В. Севрикова [2].

Первоначальный период взрыва, равный примерно 0,2 от общего време-

ни взрыва ($\tau = 0,2 \tau_в$) для большинства газо-паровоздушных смесей и он составляет 15...30 мс в этом периоде времени.

Динамика развития взрыва. Развитие взрыва во времени рассматривается как самораспространяющаяся реакция горения газо-паро-пылевоздушной сме-

си, сопровождающаяся выделением значительного количества тепла и резким повышением давления. При определенном давлении, которое называется критическим $P_{кр}$, реакция становится трудноуправляемой и в этом случае наступает явление взрыва, приводящее к разрушительным действиям, если прочность стенок емкости (оборудования) или помещения окажется недостаточной по отношению к максимальному давлению взрыва. Время полного взрыва τ_v , начиная от момента воспламенения смеси до момента максимального давления в закрытом объеме, представляется, как показано на рис. 1а, двумя периодами: первоначальный τ_1 , в течение которого давление нарастает до критического $P_{кр}$ и конечным τ_2 , в течение которого давление достигает максимального значения P_{max} .

Первоначальный период времени, примерно равный 0,2 от общего времени взрыва ($\tau = 0,2 \tau_v$) для большинства парогазовоздушных смесей, составляет 15...30 мс. В этом периоде времени скорость нарастания давления низкая. Время первоначального периода взрыва принимается за критическое ($\tau_1 = \tau_{кр}$), в течение которого в закрытом объеме нарастает критическое давление $P_{кр} = 0,25...0,35 \text{ атм} = 25...35 \text{ кПа}$. За период критического времени сгорает не более 3% исходного объема горючей смеси. Опыт показывает, что абсолютное критическое давление $P_{аб}$, равное сумме избыточного $P_{из}$ и начального атмосферного давления P_a ($P_{из} + P_a = 125...135 \text{ кПа}$), а абсолютное максимальное давление P_{max} в закрытом объеме при полном взрыве не превышает 800...900 кПа.

Для более чувствительных ко взрыву смесей: водородовоздушных, ацетиленовоздушных и некоторых других, первоначальный период времени взрыва $\tau_1 = 10...15 \text{ мс}$.

В первоначальном периоде для всех смесей пламя от точечного источника воспламенения распространяется изотропно и имеет сферическую форму, которая сохраняется до достижения стенок (преград) емкости. Вблизи стенок пламя принимает полусферическую форму, вытягиваясь в свободном направлении.

Процесс горения в стадии распространения сферического пламени происходит адиабатически, газовый поток перед фронтом пламени движется ламинарно. При постоянстве распространения пламени давление в закрытом объеме нарастает пропорционально радиусу сферы пламени в кубе ($P = R_{пл}^3$), а время нарастания критического давления пропорционально кубическому корню из объема емкости ($\tau_{кр} = \sqrt[3]{V}$).

Для менее чувствительных ко взрыву смесей и при больших объемах емкостей, время первоначального периода развития взрыва может составлять 150...200 мс и более. Это увеличивает возможность управления реакцией взрыва, т.е. его активного подавления при изменении соответствующих эффективных огнетушащих веществ. При этом подавление взрыва должно достигаться в первоначальном периоде его развития.

Отмеченные особенности динамики развития взрыва должны быть положены в основу разработки и проектирования эргатических систем защиты взрывоопасных объектов, и в первую очередь, при создании датчиков контроля и пламяподавителей.

Динамика развития пожара. Развитие пожара в помещении (рис. 1б) характеризуется кривой температуры во времени. Процесс развития пожара включает в себя пять стадий: I-воспламенение (загорание); II-начальное развитие пламени; III-прогрессивное горение; IV-выгорание; V-затухание пожара.

На первой стадии происходит воспламенение и формирование пламени. Продолжительность горения 1..3 минуты, температура в зоне горения помещения 50...250°C.

Вторая стадия характеризуется развитием загорания, ростом температуры примерно до 400°C, продолжительность горения 3...6 мин.

Третья стадия – процесс бурного прогрессивного горения. Помещение полностью охватывается огнем. Среднеобъемная температура достигает 800...900°C. Продолжительность горения на этой стадии составляет 5...15 мин.

Четвертая стадия характеризуется выгоранием горючего материала. Длительность этой стадии составляет 15...25 мин.

На пятой стадии происходит снижение интенсивности горения, горючий материал выгорает и происходит самозатухание пожара.

Поскольку на первой стадии происходит спокойное линейное расширение огня, то очевидно, что в период этой стадии должны срабатывать автоматические системы пожаротушения и включаться в действие мобильные подразделения. За критическое время $\tau_{кр}$ быстроразвивающегося пожара при оснащении объекта эргатической системой защиты, рекомендуется время ее срабатывания $\tau_{ср} \leq \tau_{кр} \leq \tau_{н}$. Допустимо, что критическое время развития пожара соизмеримо с нормативным временем $\tau_{н}$ тушения быстрогорящих веществ и материалов в конкретных условиях, принимаемого из рекомендаций [3].

Датчики. Анализ динамики развития взрыва и пожара свидетельствует о том, что системы защиты взрывопожароопасных как и пожаровзрывоопасных объектов должны обладать наименьшей инерционностью срабатывания и включаться в действие на начальных этапах развития загорания.

Поскольку эргатические системы трехзвенные, включающие в себя: подсистему контроля загорания, подсистему исполнения (тушения загорания) и человека оператора, то главенствующее начало принадлежит подсистеме контроля, в которой самым ответственным элементом является датчик. Согласно ГОСТ 15986-70 в пожарной и пожарно-охранной сигнализации контролируемые элементы называются извещателями. Применительно к быстродействующим средствам взрывоподавления и локального тушения эти устройства правильнее называть датчиками, так как они выполняют функции не только контроля и включения в действие световых и звуковых сигнальных устройств, но и выполняют функции включения в действие подсистемы тушения загорания. Слово «датчик» происходит от слова давать. Поэтому датчик дает сигналы включения

извещательных устройств и устройств тушения загорания.

Другим важнейшим элементом в эргатической системе является человек-оператор. Какого бы уровня не были автоматические системы взрывопожарозащиты, включая теперешние автоматические установки (АУП), при любом уровне их автоматизации, в них присутствует действие человека, как собирательного образа, начиная от разработчика и заканчивая посторонним прохожим мимо кнопки аварийного пуска, увидевшего признаки загорания.

Важнейшее свойство эргатических систем взрывопожарозащиты это их надежность. В настоящее время при разработке этих систем надежность человека-оператора никак не учитывается. Это связано, в первую очередь, с недостаточной изученностью данной проблемы и отсутствием нормативной методики решения данной задачи. Наглядным примером этого является последствие пожара в торгово-развлекательном центре города Кемерово.

Если даже допустить, что данный центр был оборудован установкой пожарно-охранной сигнализации с надежностью технической ее части согласно требованию стандарта ГОСТ 27.310-95 $P_{т.ч}=0,999$, но с отсутствием кнопки аварийного пуска, надежность установки в целом равна нулю, так как любой человек, увидевший задымленность не мог дать сигнал пожарной тревоги из-за отсутствия этой кнопки. Это значит что надежность человека в этом случае равна нулю. Поскольку действие технической части установки и человека события случайные, последовательные и независимые между собой, то по теории произведения их вероятностей $P_y = P_{т.ч} * P_{ч} = 0,999 * 0 = 0$. Последствия явились трагическими, так как в полной задымленности помещения посетители не могли сориентироваться с направлением выхода, расположением дверей и окон. Поэтому возникла паника среди взрослых и тем более детей. Люди бросались в противоположные стороны от дверей и окон, теряли сознание, отравленные продуктами горения, что и повлекло

массовую гибель детей и взрослых посетителей данного центра.

Всякий пожар характеризуется временем развития τ , температурой T , тепловым потоком ϕ и скоростью распространения пламени v_n по горящему материалу. Кривые изменения скоростей температуры и теплового потока во времени приведены на рис. 2 [4]. При рас-

пространении пожара за время τ_p скорости повышения среднеобъемной температуры среды и теплового потока возрастают прямо пропорционально времени. Скорость теплового потока увеличивается прямо пропорционально увеличению площади горения или количеству сгораемого материала.

Рис. 2. Изменение скорости температуры (1) и скорости теплового потока (2) при пожаре в помещении

Fig. 2. Change in temperature (1) and heat flux (2) in case of fire in the room

Наиболее успешная борьба с огнем достигается в начале первой стадии. При полном его развитии, когда облегченные параметры достигнут наибольших значений, погасить пламя трудно. Это характерно для крупных пожаров. Крупные пожары – следствие локальных. Автоматические средства локального тушения со временем подачи огнетушащего вещества, в зону горения от момента начала воспламенения не превышающим 3 с, условно [2] относятся к быстродействующим, а со временем подачи не более 0,1с – к сверхбыстродействующим. Последние для определенных условий могут классифицироваться и как средства взрывоподавления.

Из изложенного выше следует, что время развития взрыва и пожара является лимитирующим параметром в создании систем взрывоподавления и пожаротушения. Ясно, что эти системы должны быть сверхбыстродействующими для взрывоподавления и быстродействующими

для тушения быстроразвивающихся пожаров. Они должны срабатывать на первых стадиях возникновения загорания (рис. 1а, б), и быть, соответственно, безинерционными и малоинерционными.

Достижение этого требования начинается с выбора датчика, как главного элемента в подсистеме контроля и в целом в эрготической системе. Наиболее целесообразная классификация датчиков в пожарной защите по воспринимаемым ими параметрам [2]. По этому признаку датчики делятся на тепловые, реагирующие на изменение температуры контролируемой среды под воздействием возникшего загорания; датчики давления, воспринимающие изменения давления продуктов горения или скорости нарастания давления; датчики излучения, воспринимающие энергию излучения нагретых тел, преобразующие ее в электрический сигнал, концентрационные датчики, реагирующие на изменения концентрации продуктов горения (дыма

или газов); ионизационные датчики, основанные на использовании ионизирующего эффекта некоторых видов излучения.

В наших исследованиях приняты болометрические датчики излучения. Они бывают металлические, на основе черни золота, сурьмы и никеля; полупроводниковые, выполненные из окисей металлов; диэлектрические, основанные на зависимости диэлектрической проницаемости некоторых диэлектриков от температуры. Болометры обычно включаются в мостовую схему – рабочий, воспринимающий излучение, и компенсационный, изолированный от лучей. Наибольшей чувствительностью при малой инерционности обладают полупроводниковые болометры. Из металлических – лучшими характеристиками обладают болометры с чувствительным элементом из черни золота, имеющие постоянную времени, 3,8 мс. Ведутся работы по дальнейшему снижению инерционности болометров, что дает возможность применения их в датчиках систем не только тушения быстроразвивающихся пожаров, но и в системах взрывоподавления. Преимуществом датчиков с болометрами является и то, что они могут выполнять свои функции в запыленных средах. Датчики излучения относятся к бесконтактным источникам температуры. Принцип действия их основан на восприятии и преобразовании в электрический сигнал энергии теплового излучения.

При описании энергии излучения пламени и потока излучения, воспринимаемого датчиком, используются выражения законов Стефана-Больцмана, Планка и Голицина-Вина.

Результаты исследования. Датчик, воспринимающий поток излучения, способен включаться в действие при свободном развитии горения только тогда, когда величина энергии излучения будет равна величине входного порогового сигнала срабатывания датчика. В этом случае свободное развитие горения ха-

рактеризуется временем нечувствительности датчика τ_n , т.е. тем промежутком времени, в течение которого система еще не в состоянии обнаружить свободно развивающееся пламя. Размер пламени характеризуется радиусом распространения во времени τ .

При скорости распространения пламени

$$v_n(\tau) = dr_n/d\tau \quad (1)$$

в момент появления на входе датчика порогового сигнала радиус фронта пламени достигает величины

$$r_n = \int_0^{\tau_n} v_n d\tau. \quad (2)$$

Величина порогового сигнала численно равна порогу чувствительности датчика. Этот порог выбирается в зависимости от возможных помех, воздействующих на вход датчика. Для обеспечения необходимой помехоустойчивости порог чувствительности находится из условия

$$\Phi_{np} = F_{max} X_{\phi}, \quad (3)$$

где F_{max} – максимально возможная величина помех; X_{ϕ} – коэффициент помехоустойчивости.

С другой стороны, исходя из условия быстрого действия, необходимо, чтобы порог чувствительности не превышал определенной величины входного сигнала $\Phi_{вх}$, соответствующего времени нечувствительности датчика.

С учетом отмеченного, условие чувствительности датчика имеет вид

$$\Phi_{вх} \geq \Phi_{np}. \quad (4)$$

Величина входного сигнала $\Phi_{вх}$ определяется физическим свойством информации (сигнала) и параметрами канала связи, по которому эта информация передается от источника к датчику.

Схема передачи лучистой энергии пламени от источника О к устройству датчика с центром в точке D по расстоянию L имеет вид, представленный на рис. 3.

Рис. 3. Схема распространения лучистой энергии от точечного источника к датчику
Fig. 3. Radiation energy distribution pattern from a point source to a sensor

Так как тушение огня с помощью автоматической системы предусматривается в начальный период его возникновения, то, согласно литературным сведениям [2, 5-7], принимаются следующие допущения: пламя от точечного источника распространяется изотропно и имеет сферическую форму; процесс горения в стадии сферического распространения пламени в закрытом объеме происходит адиабатически и газовый поток движется ламинарно; реакция горения во фронте пламени происходит при значениях ($T = \text{const}$), а следовательно и плотность энергии излучения пламени ($E = \text{const}$), а также скорость распространения пламени постоянны.

Если приемное устройство датчика имеет круглую форму с радиусом $r_{\text{пр}}$ и лежит в плоскости, которая образует с нормалью плоскости распространения излучения угол α , то оно будет воспринимать часть энергии, излучаемую фронтом пламени и телесный угол ω , образованный конической поверхностью с вершиной в точке O и контуром приемного устройства. Поток излучения в направлении приемного устройства в момент времени $\tau = \tau_u$ равен

$$\Phi_u = E_u \cdot S_u. \quad (5)$$

Так как энергетическая плотность излучения $E_u = \text{const}$, то величина Φ_u зависит только от площади излучителя S_u , а следовательно, от радиуса фронта пламени r_n .

Для очень малых значений ω , что имеет место на практике, криволинейную поверхность излучения можно заменить плоскостью, касательной к фронту пламени и расположенной перпендикулярно к линии OD и ограниченной конической поверхностью телесного угла ω .

Если радиус приемной поверхности датчика $r_{\text{пр}}$ значительно меньше расстояния L , можно считать лучистый поток параллельным. На основании принятых допущений и геометрического подобия

$$S_u = S'_{\text{пр}} r_n^2 / L^2 = S_{\text{пр}} r_n^2 / L^2 \cos \alpha, \quad (6)$$

где $S'_{\text{пр}}$ – площадь проекции приемной поверхности датчика на плоскость, параллельную к оси OD; $S_{\text{пр}}$ – площадь приемной поверхности датчика.

В уравнении (6) переменной величиной является радиус фронта пламени, который в момент $\tau = \tau_n$ при постоянной скорости выражается

$$r_n = v_n \tau_n. \quad (7)$$

Энергетическая плотность излучения пламени в зависимости от температуры определяется законом Стефана-Больцмана

$$E_u = \varepsilon_T \sigma T^4, \quad (8)$$

где T – температура пламени; ε_T – коэффициент лучеиспускания пламени; σ – постоянная Стефана-Больцмана, равная $5,6687 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°K}^4$. С учетом (6), (7), (8) поток излучения пламени описывается формулой

$$\Phi_u = \varepsilon_T \sigma T^4 (v_n^2 \tau_u^2 / L^2) S_{np} \cos \alpha. \quad (9)$$

Поскольку некоторая часть энергии рассеивается (теряется) по отношению к датчику и в самом датчике, то входной сигнал, воспринимаемый датчиком, будет меньше потока излучения на величину этих потерь, т.е.

$$\Phi_{вх} = \Phi_u \varepsilon_{к.с} \varepsilon_d, \quad (10)$$

где $\varepsilon_{к.с}$ – коэффициент потерь в канале связи; ε_d – коэффициент потерь в датчике, зависящей от конструкции и атмосферы датчика.

Произведение этих коэффициентов дает общий коэффициент рассеяния энергии излучения

$$\varepsilon = \varepsilon_{к.с} \varepsilon_d.$$

Принимая во внимание (4–10), получаем условие чувствительности датчика следующего вида

$$\Phi_{np} \leq \varepsilon_T \sigma T^4 (v_n^2 \tau_u^2 / L^2) S_{np} \cos \alpha. \quad (11)$$

При заданном пороге чувствительности датчика из уравнения (11) можно записать формулу нечувствительности датчика в следующем виде

$$\tau_n \geq L/T^2 v_n \sqrt{\Phi_{np} / \varepsilon_T \sigma \varepsilon S_{np} \cos \alpha}. \quad (12)$$

Из условия (11) с учетом (7) формула радиуса пламени до момента обнаружения датчиком имеет вид

$$\tau_n \geq L/T^2 v_n \sqrt{\Phi_{np} / \varepsilon_T \sigma \varepsilon S_{np} \cos \alpha}. \quad (13)$$

Расчетные формулы (11–13) получены с учетом всей энергии излучения. С незначительной погрешностью они применимы к датчикам, срабатывающим на ближнюю и среднюю части спектра инфракрасного излучения, так как мощность энергии излучения при $X > 0,4$ мкм ничтожно мала [8], а при $X > 25$ мкм, согласно нашим расчетам, не превышает 1% мощности энергии излучения всего спектра при достаточно больших температурах, которые свойственны пламени.

В случае использования узкой части спектра в пределах длин волн X_1 до X_2 , например при применении в датчиках фильтров, «вырезающих» часть спектра, плотность энергии излучения, воспринимаемая датчиком, представляет собой интегральную величину и исходная формула (8) должна записываться с учетом зависимости

$$E_u = \int_{X_1}^{X_2} e(X) dX, \quad (14)$$

которая может быть определена согласно закону Планка [8].

Заключение. Вводная часть данной статьи позволяет поставить вопросы дальнейшего теоретического и экспериментального исследования по оценке рассеяния энергии излучения пламени пожара в производственных условиях, создания болометрического датчика промышленного образца, и с использованием которого провести экспериментальные исследования.

Экспериментальные исследования энергии излучения пламени и ее рассеяния (потерь) можно проводить с помощью спектрометров по абсолютным характеристикам в зависимости от длины волны излучения.

Однако постановка таких экспериментов в промышленных условиях представляет определенную сложность как в применении необходимых приборов, так и в методике. Есть возможность экспериментального исследования потерь

энергии излучения по косвенным характеристикам более простых и удобных в применении измерителей, например более простых и удобных в применении измерителей, например по выходному напряжению болометрического датчика $U_{\text{вых}}$ и его максимального сигнала U_{max} . В этом случае коэффициент потерь энергии излучения пламени $\varepsilon = U_{\text{вых}} / U_{\text{max}}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баратов А.Н. Справочник. Пожарная безопасность / А.Н. Баратов, Б.Н. Иванов, А.Я. Корольченко [и др.]. М.: Химия. 1987. С. 102–106.
2. Севриков В.В. Автономная автоматическая противопожарная защита промышленных сооружений. Киев-Донецк. Вища школа. 1979. С. 123–129.
3. Баратов А.Н. Средства и нормы тушения: Рекомендации. М.: ВНИИПО. 1985. 8 с.

4. Иванов Е.Н. Автоматическая пожарная защита. М.: Стройиздат, 1971. С. 95–98.

5. Абдурагимов И.М. Огнетушащие средства и способы их применения. Журнал Всесоюзного химического общества им. Д.И. Менделеева. М., Т. 21. № 4. 1976. С. 302–310.

6. Похил П.Ф., Мальцев В.М., Зайцев В.М. Методы исследования процессов горения и детонации. М.: Наука. 1969. С. 125–126.

7. Розловский А.И. Научные основы техники взрывобезопасности при работе с горючими газами и парами. М.: Химия. 1972. С. 98–102.

8. Лазарев Л.П. Инфракрасные и световые приборы. М.: Машиностроение. 1970. С. 265–267.

EXPLOSION AND FIRE DYNAMICS, FLAME ENERGY PERCEIVED BY THE SENSOR

L.A. Nichkova, I.N. Lukyanenko, A.S. Yurchenko, V.V. Sevrikov, A.N. Odinzov, A.K. Malycheva

Sevastopol State University, RF, Sevastopol, Universitetskaya St., 33

In the study, the formulas of the radiation flux of a flame of explosive and fire hazardous substances are obtained; sensitivity of the sensor, taking into account the dispersion of radiation energy; insensitivity (inertia) of the sensor. These characteristics are very important in the design of ergatic environmental control systems and the protection of explosive and fire hazardous objects. It is established that the time of explosion and fire development is a limiting parameter in the creation of explosion suppression and fire extinguishing systems. these systems must be ultra-fast for extinguishing suppression and high-speed for extinguishing rapidly developing fires. The introductory part of this article allows us to raise questions of further theoretical and experimental research on the assessment of the dispersion energy of the radiation of a fire flame under industrial conditions, the creation of a bolometric sensor for an industrial design, and conducting experimental research with its using.

Keywords: fire, flame, explosive objects, combustible substances, ergatic systems, radiation energy, radiation flow, sensor, sensor sensitivity and insensitivity.