

**Б.И. Ворожцов, Ю.А. Галенко, В.П. Лушев, В.И. Марьяш, Б.Д. Олейников,
А.А. Павленко, М.Г. Потапов, Ю.В. Хрусталева, Б.М. Башунов**

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ПРИ СЖИГАНИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Выполнены экспериментальные исследования процесса формирования облака при сжигании промышленных взрывчатых веществ. Проведены тепловизионные, пирометрические, спектрометрические исследования облака продуктов сгорания. Определены температурные поля места сжигания. Оценены характерные размеры частиц.

Полученная информация может использоваться в качестве исходных данных для решения задач прогнозирования развития облака продуктов сгорания и создаваемых им загрязнений местности.

Уничтожение отходов производства взрывчатых веществ (ВВ) сопровождается рядом факторов, требующих контроля экологической обстановки места сжигания и прилегающих к нему районов. Основное вредное воздействие оказывают выбросы газов: CO, CO₂, NO, NO₂ и других, а также выбросы мелких (порядка 1 мкм) частиц углерода, окислов металлов и грунта, захваченного восходящим потоком продуктов сгорания.

Образующееся облако, содержащее указанные частицы и газы, опасно как для близлежащих территорий, в случае малой высоты подъема, так и для удаленных, где возможно выпадение образовавшихся химических соединений.

Анализ факторов, влияющих на экологическую обстановку в районе места сжигания, позволяет сделать вывод о необходимости контроля таких параметров, как состав и концентрация газообразных продуктов реакции, размер и концентрация частиц, условия формирования и перемещения облака газообразных и конденсированных продуктов, температура облака и окружающего воздуха, скорость и направление ветра.

Большой экспериментальный материал, полученный при отработке различных систем измерений, может быть проанализирован в новом аспекте – с точки зрения применимости для анализа экологической обстановки в непосредственной близости от места сжигания ВВ.

Интерес представляют результаты измерений: температуры продуктов сгорания как фактора, влияющего на развитие облака и высоту его подъема; размеров и концентрации частиц, содержащихся в восходящем потоке; спектра излучения продуктов сгорания в инфракрасной (ИК) области, поскольку по спектру определяется (качественно) их состав.

1. Исследование спектров излучения продуктов сгорания в инфракрасном диапазоне длин волн

Известно, что положение полос поглощения и излучения газов в спектре строго индивидуально. Наличие полосы излучения в определенном интервале длин волн однозначно свидетельствует о наличии газа. Наибольшее число полос излучения газов лежит в ИК-диапазоне длин волн. С целью определения качественного состава облака продуктов сгорания нами анализировались спектры излучения продуктов сгорания образцов ВВ в диапазоне от 1,5 до 5 мкм. Спектры были сняты в двух сечениях, на расстояниях 6 и 135 см от образцов, быстродействующим регистратором спектров БРС-1.

Характерные результаты съемки приведены на рис. 1. Кривая 1 соответствует расстоянию до образца 6 см, кривая 2 – 135 см. В верхней части рисунка для сравнения вертикальными линиями показаны положения полос излучения химических соединений, наиболее часто присутствующих в продуктах сгорания: CO, CO₂, NO и др. [1].

В результате анализа полученных спектров излучения отмечено следующее: 1) спектр зависит от расстояния до образца и от сжигаемого состава; 2) во всех спектрах на фоне излуче-

зонах $n = 1,6 \dots 2,0$ и $\kappa = 3,5 \cdot 10^{-3} \dots 3,0 \cdot 10^{-2}$. Установлено, что неопределенность задания m вносит погрешность в результаты определения размеров частиц, не превышающую 4% для частиц меньше 1 мкм и убывающую с увеличением размеров частиц.

Для оценки влияния неопределенности $f(a)$ на результат определения размеров частиц рассчитывалась зависимость \bar{Q} от $f(a)$. В качестве функции распределения использовалось обобщенное гамма-распределение

$$f(a) = A a^\alpha e^{-ba^\beta},$$

достаточно хорошо описывающее одномодальные распределения частиц, встречающиеся в физике дисперсных сред. Параметры распределения варьировались в пределах: $\alpha = 0,3 \dots 2,0$; $\beta = 0,5 \dots 2,0$; модальный размер $a_0 = 0,1 \dots 5,0$. Погрешность определения размеров частиц, вызванная неопределенностью $f(a)$, не превысила 9%.

Измерения размеров частиц модифицированным методом спектральной прозрачности проводились при помощи лазерной установки, схема которой представлена на рис. 2. Оптическая толщина исследуемых потоков τ составила от 6,7 до 13,8.

Результаты измерений среднего размера частиц, по результатам сжигания четырех составов, лежат в пределах 2,8 ... 3,7 мкм. Очевидно, это обусловлено попаданием в восходящий поток частиц грунта, на которых при выпадении на местность могут конденсироваться вредные химические соединения.

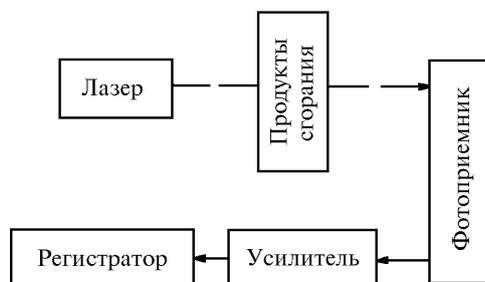


Рис. 2. Схема измерения размера частиц

3. Измерение температуры продуктов сгорания

Измерения температуры продуктов сгорания, образующихся при сжигании промышленных взрывчатых веществ, выполнялись бесконтактно, методом пирометрии спектрального отношения (цветовой пирометрии) [3]. Использовались оптические пирометры спектрального отношения «Спектропир-10», установленные на расстоянии 8 ... 12 м от места сжигания ВВ на сканирующей платформе. Пирометры имели диапазоны измерений от 500 до 2800°C, показатели визирования от 1/25 до 1/500, погрешность не более 1,5%, быстродействие 0,05 с. Сканирующая платформа обеспечивала возможность вращения пирометра вокруг горизонтальной и вертикальной осей на 90°.

Результаты измерений температуры при сканировании восходящего потока продуктов сгорания лежат в диапазоне от 2100°C вблизи области горения до 800°C в наиболее удаленных участках потока. Флуктуации температуры имеют случайный характер и возрастают по мере удаления от сжигаемого вещества. Температура продуктов сгорания является одним из важнейших факторов, определяющих протекание химических процессов, развитие и перемещение облака. Поэтому полученные результаты измерений могут применяться в качестве исходных данных для прогноза эволюции облака и оценки создаваемых на пути его перемещения загрязнений.

4. Определение температурных полей места сжигания взрывчатых веществ

Оценка температурных полей места сжигания ВВ (огневого двора) выполнялась двумя методами. В процессе сжигания температура измерялась с помощью термоиндикаторных красок и термоиндикаторов плавления. Через 15 ... 20 мин после сжигания измерения проводились термоэлектрическими термометрами.

Определение температуры термоиндикаторными красками основано на изменении цвета краски, нанесенной на поверхность твердого тела, при достижении «температуры перехода», строго определенной для каждой краски. У термоиндикаторов плавления изменение цвета происходит в результате плавления термочувствительного вещества и абсорбции его цветным пигментом.

Использовались семь термоиндикаторов, перекрывающих диапазон температур от 84 до 475°C. Термоиндикаторы были проградуированы в лабораторных условиях с погрешностью 2°C.

Корректируя места установки термоиндикаторов, по результатам трех сжиганий ВВ, имеющих массу порядка нескольких тонн, получены температурные поля места сжигания в диапазоне температур 100 ... 400°C на расстояниях до 60 м от места сжигания.

Через 15 ... 20 мин после сжигания ВВ измерения выполнялись термоэлектрическими термометрами (термопарами) градуировки ХК с диапазоном 0 ... 800°C и регистрировались потенциометром КСП-4 с диапазоном 0 ... 200°C. Погрешность регистратора не более 1%. Результаты измерений температур лежали в пределах 20 ... 50°C.

Данные о температуре поверхности почвы позволяют судить об уровне теплового загрязнения окружающей среды и тепловых нагрузках в местах сжигания ВВ.

5. Измерение температуры облака продуктов сгорания

Для измерения температуры газопылевого облака в процессе и после сжигания ВВ использовался тепловизор АГА-780. Съемка производилась с двух площадок, обеспечивающих поле зрения 800x800 и 200x200 м².

Ниже приведены максимальные температуры в облаке в зависимости от времени с момента начала сжигания.

Время, с	30	60	120	180	240
T, °C	220	120	110	110	фон

Поскольку сжигание проводилось в светлое время суток, полученные данные содержат погрешность, обусловленную рассеянным солнечным излучением, величина которой, по нашим оценкам, не превышает 50°C.

Типовые термограммы, снятые с экрана тепловизора на фотопленку через 30 и 60 с после начала сжигания, приведены соответственно на рис. 3 и 4.

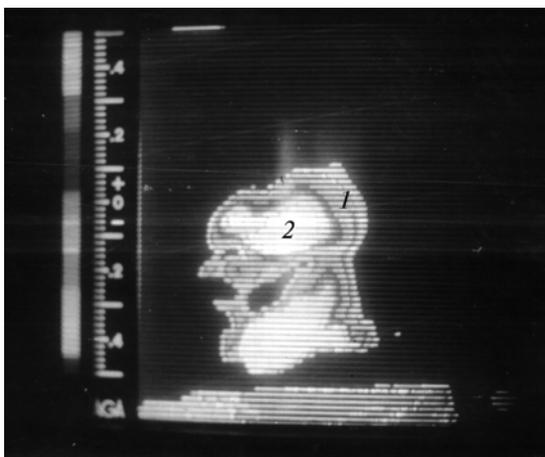


Рис. 3. Термограмма газопылевого облака через 30 с после начала сжигания

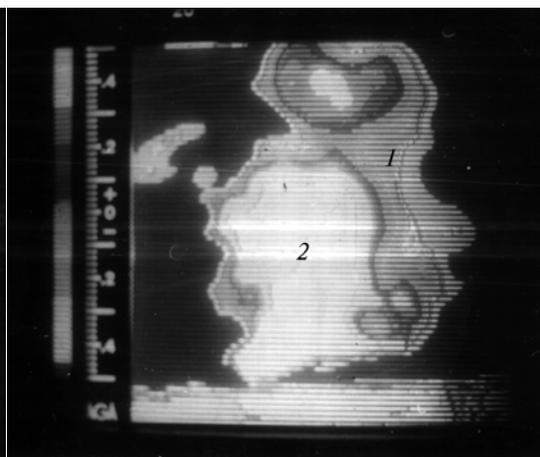


Рис. 4. Термограмма газопылевого облака через 60 с после начала сжигания

Облако на рис. 3 только начинает формироваться, его температура от 160 (область 1) до 220°C (область 2). На рис. 4 облако занимает все поле зрения тепловизора (в данном случае 200x200 м²). Температурное поле облака выравнивается (область 1 имеет температуру около 100°C). Центральная часть облака (область 2) нагрета до 120°C.

Через 2 мин после начала сжигания облако начинает выходить за пределы поля зрения тепловизора, температура его приближается к температуре окружающего воздуха. Основная

часть облака имеет температуру около 50°C, а небольшие участки – 70°C. На третьей минуте температура облака не отличается от фоновой.

Представленные результаты разработки методик и выполнения измерений свидетельствуют о том, что разработанные методики и аппаратура могут успешно применяться для получения информации об экологической обстановке в местах уничтожения отходов производства.

1. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. М.: Сов. радио, 1978. 400 с.
2. Павленко А.А., Потапов М.Г., Ворожцов Б.И. // III Межд. конф. «ИКАПП-94»: Сборник статей. Барнаул: Изд-во АГПУ, 1994. С. 62–64.
3. Галенко Ю.А., Потапов М.Г., Ворожцов Б.И. // III Межд. конф. «ИКАПП-94»: Сборник статей. Барнаул: Изд-во АГПУ, 1994. С. 87–88.

Научно-производственное объединение «Алтай»,
г. Бийск

Поступила в редакцию
16 января 1997 г.

V.I. Vorozhtsov, Ju.A. Galenko, V.P. Lushev, V.I. Maryash, B.D. Oleinikov, A.A. Pavlenko, M.G. Potapov, Ju.V. Khrustalev, B.M. Bashunov. **Experimental Study of Combustion Products Propagation when Burning Industrial Explosive Agents.**

An experimental investigations of the process of a cloud formation under burning of industrial explosive substances were fulfilled by authors. Teplovisional, pyrometrical, spectrometrical investigations of the clouds as products of burning were made. Temperature fields of the place of burning were determined. Typical size of particles was estimated.

The information was obtained, which can be used as initial data for prediction of development of the clouds and pollution of a locality.