

## НАГРЕВ И ВОСПЛАМЕНЕНИЕ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА\*

А. К. Дмитриев<sup>1</sup>, В. И. Колесов<sup>2</sup>, А. Н. Коновалов<sup>3</sup>, В. С. Тюрина<sup>4</sup>, В. А. Ульянов<sup>5</sup>, Н. В. Юдин<sup>6</sup>

**Аннотация:** Изучен процесс нагрева и воспламенения пиротехнических композиций  $\text{KClO}_4/\text{Pb}(\text{CNS})_2/\text{PbCrO}_4$  и  $\text{Pb}_3\text{O}_4/\text{Si}$  лазерами с непрерывной накачкой и волоконной доставкой излучения на длинах волн ближнего инфракрасного (ИК) диапазона: 0,98 и 1,56 мкм с диаметром лазерного пятна 600 мкм. Исследована динамика прогрева и воспламенения данных материалов при разной мощности лазерного излучения — от 0,1 до 10 Вт. Установлено, что время задержки воспламенения зависит от состава пиротехнической композиции, мощности и длины волны лазерного излучения. Композиция  $\text{Pb}_3\text{O}_4/\text{Si}$  прогревается до воспламенения в 5–8 раз быстрее, чем  $\text{KClO}_4/\text{Pb}(\text{CNS})_2/\text{PbCrO}_4$ . Время задержки воспламенения обратно пропорционально мощности лазерного излучения в степени 1,4–1,5. При длине волны 0,98 мкм время воспламенения меньше в 2–3 раза.

**Ключевые слова:** лазерный нагрев; лазерное инициирование; пиротехнические композиции; средства инициирования; воспламенение; воспламенительный состав

**DOI:** 10.30826/CE18110313

### Литература

1. Бриш А. А., Галеев И. А., Зайцев Б. Н., Сбитнев Е. А., Татаринцев Л. В. О механизме инициирования конденсированных ВВ излучением ОКГ // Физика горения и взрыва, 1969. Т. 5. № 4. С. 475–480.
2. Куратов С. Е., Серёжкин А. А., Чесноков А. А. Физико-математическая модель лазерного детонатора // Физико-химическая кинетика в газовой динамике, 2015. Т. 16. № 1. 9 с.
3. Веселов А. В., Фуфачев Н. С., Назаров В. П. Лазерное зажигание в ЖРД // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2013. Т. 1. № 9. С. 50–51.
4. Вудс С., Дака М., Флин Г. Волоконные лазеры средней мощности и их применение // Фотоника, 2008. № 4. С. 6–10.
5. Минаев В. П., Жилин К. М. Современные лазерные аппараты для хирургии и силовой терапии на основе полупроводниковых и волоконных лазеров. Рекомендации по выбору и применению. — М.: Издатель И. В. Балабанов, 2009. 48 с.
6. Ewick D. W., Beckman T. M., Holy J. A., Thorpe R. Ignition of HMX using low energy laser diodes // 14th Symposium on Explosives and Pyrotechnics Proceedings. — Oaks, PA, USA: Franklin Applied Physics, Inc., 1990. P. 2-1.
7. McGrane S. D., Moore D. S. Continuous wave laser irradiation of explosives // Propell. Explos. Pyrot., 2011. Vol. 36. P. 327–334.
8. Stacy S. C., Pantoya M. L. Laser ignition of nanocomposite energetic loose powders // Propell. Explos. Pyrot., 2013. Vol. 38. P. 441–447.
9. Akhmetshin R., Razin A., Ovchinnikov V., et al. Effect of laser radiation wavelength on explosives initiation thresholds // J. Phys. Conf. Ser., 2014. Vol. 552. No. 1. P. 012015.
10. Герасимов С. И., Илюшин М. А., Кузьмин В. А. Возможность инициирования полимерсодержащего энергонасыщенного состава комплексного перхлората ртути лучом лазерного диода // Письма в ЖТФ, 2015. Т. 41. Вып. 7. С. 66–72.
11. Бачурин В. Н., Дмитриев А. К., Коновалов А. Н., Кортунов В. Н., Ульянов В. А., Юдин Н. В. Нагрев и воспламенение пороха непрерывными лазерами ближнего ИК диапазона // Черноголовка, 2016. С. 114–119.
12. Бачурин Л. В., Колесов В. И., Коновалов А. Н., Ульянов В. А., Юдин Н. В. Нагрев и воспламенение  $\varepsilon$ -ГНИВ непрерывными лазерами ближнего ИК диапазона // Горение и взрыв, 2017. Т. 10. № 3. С. 76–81.
13. Бачурин Л. В., Колесов В. И., Коновалов А. Н., Ульянов В. А., Юдин Н. В. Нагрев энергетических материалов непрерывным лазерным излучением ближнего

\* Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 16-29-01072-офи.

<sup>1</sup> Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, dmitriev\_a62@mail.ru

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО РХТУ им. Д. И. Менделеева, kolesov2116@mail.ru

<sup>3</sup> Федеральное научно-исследовательское учреждение «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, ank27.ift@mail.ru

<sup>4</sup> ФГБОУ ВО РХТУ им. Д. И. Менделеева, nika.turina159357@mail.ru

<sup>5</sup> Федеральное научно-исследовательское учреждение «Кристаллография и фотоника» Российской академии наук, vaul595@mail.ru

<sup>6</sup> ФГБОУ ВО РХТУ им. Д. И. Менделеева, yudin@rctu.ru

- ИК-диапазона // Физика горения и взрыва, 2018. Т. 54. № 4. С. 84–95.
14. *Ahmad S. R., Russell D. A.* Studies into laser ignition of confined pyrotechnics // Propell. Explos. Pyrot., 2008. Vol. 33. No. 5. P. 396–402.
15. *Кутузов Б. Н.* Разрушение горных пород взрывом. — 3-е изд. — М.: МГИ, 1992. 516 с.
16. *Граевский М. М.* Справочник по электрическому взрыванию зарядов ВВ. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Рандеву-АМ, 2000. 448 с.

*Поступила в редакцию 06.08.18*