

УДК 532.5, 621.372

## ИНИЦИИРОВАНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОПТОВОЛОКОННОЙ СИСТЕМОЙ ГОРЕНИЯ И ДЕТОНАЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

© 2009 Н.И. Лаптев, В.И. Мордасов, В.В. Пойлов, Н.А. Сазонникова

НИИ проблем конверсии и высоких технологий  
Самарского государственного технического университета

Поступила в редакцию 17.11.2009

При использовании относительно высоких плотностей мощности возможен быстрый нагрев малых доз вещества до критической температуры. Использование лазеров для инициирования воспламенения является перспективным, так как позволяет в больших диапазонах достаточно точно измерять, какое количество энергии затрачено для воспламенения и скорость, при которой данная энергия освобождается. Исследователь имеет возможность контролировать, какое количество вещества нагрето лазерным излучением. Важным преимуществом такой системы является возможность проконтролировать и измерить время срабатывания пиропатрона.

Ключевые слова: *оптическое волокно, полупроводниковый лазер, инициирование детонации*

Оптоволоконные системы с полупроводниковыми лазерами в качестве источников излучения являются перспективными средствами однократного применения в системах двигателей летательных аппаратов. Основными компонентами таких систем являются полупроводниковые лазеры, оптические волокна или кабели, устройства согласования источника излучения с волокном, оптические соединители, распределители и др. [1-3]. Применение элементов волоконной оптики в системах инициирования взрывной и пиротехнической автоматики исключает влияние помех. Данные системы позволяют формировать линии задержки в зависимости от длины волокна [1, 3, 4], осуществлять временное мультиплексирование сигналов и выделять полосы пропускания при использовании различных оптических элементов и создавать многоканальные системы инициирования. Для построения систем инициирования горения

и детонации использовался полупроводниковый лазер с мощностью излучения 5 Вт со встроенным отрезком оптического волокна. Для создания подобных систем требуется проведение дополнительных работ по исследованию зависимостей характеристик процессов взрыва от режимов генерации лазерных излучателей, выбору типа излучателя и обеспечению безопасных условий транспортировки лазерного излучения к поверхности взрывчатого вещества (ВВ). Для транспортировки лазерного излучения целесообразно использовать оптоволоконный кабель на основе многомодового волокна, так как указанный источник излучения имеет достаточно большие размеры активной области и достаточно высокую мощность излучения, которую сложно передать через единичное волокно. Преимуществом применения оптоволоконных кабелей являются их малые размеры и масса по сравнению с электрическими кабелями, механическая прочность и защиты от влияния окружающей среды, что существенно снижает потери при транспортировке излучения. Чтобы обеспечить минимальное ослабление сигнала в соединении оптоволоконных кабелей, нужно выдерживать очень жесткие допуски на положение соединяемых волокон [4, 5].

Переход света из одного волокна в другое, имеющее меньшую сердцевину или меньшую числовую апертуру, происходит с

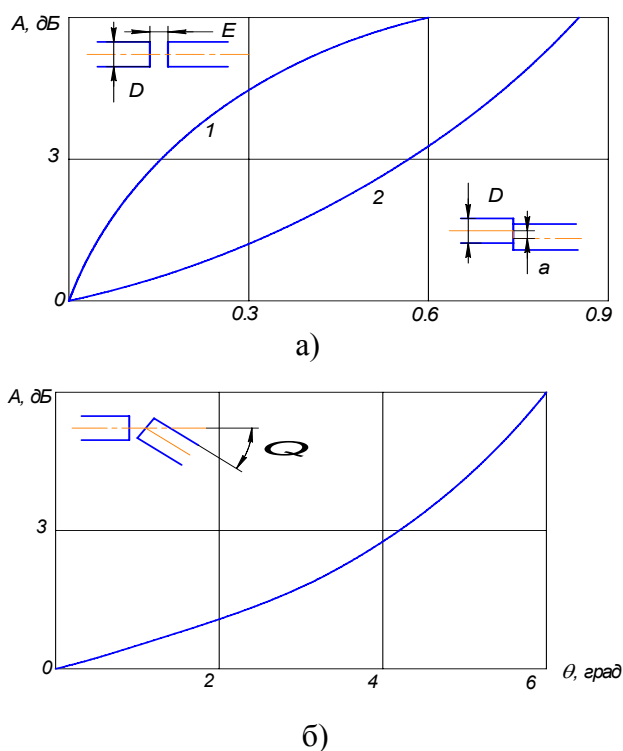
*Лаптев Николай Илларионович, доктор технических наук, профессор, директор. E-mail: postman@sstu.samara.ru*

*Мордасов Василий Иванович, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: СамГТУ, postman@sstu.samara.ru*

*Пойлов Вениамин Валентинович, кандидат технических наук, доцент, заведующий отделом. СамГТУ. E-mail: postman@sstu.samara.ru*

*Сазонникова Надежда Александровна, кандидат технических наук, доцент. E-mail: nasazonnikova@yandex.ru*

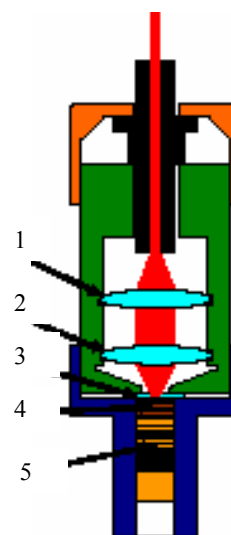
потерями, связанными с уменьшением геометрических площадей (рис. 1). В настоящее время возможно осуществить ввод излучения в волокно с потерями на уровне 1 дБ, температурная погрешность составляет 0,1 дБ. Оптоволоконный детонатор (рис. 2) включает в свой состав узел фокусирующей оптики и узел запала. Фокусирующая система коллимирует световой пучок, выходящий из сердцевины волокна диаметром 100 мкм и затем фокусирует в пятно требуемого размера на поверхности ВВ. Запал соединен с узлом фокусирующей оптики, и воспламеняемое вещество напрессовано в центре сапфирового окна, которое соединено с узлом фокусирующей оптики.



**Рис. 1.** Экспериментальные зависимости величины ослабления сигнала при согласовании волокон от зазора (а, зависимость 1), осевого рассогласования (а, зависимость 2), углового смещения (б).

Проведены экспериментальные измерения диода IDL 1000 М 808 С, серийно выпускаемого НПО «Полюс» (г. Москва) с целью определения основных режимов эксплуатации и излучательных характеристик. Указанный лазерный диод имеет квантово-размерную структуру на основе тройной системы AlGaAs, что позволяет обеспечить высокую стабильность

диаграммы направленности. Установлено, что отличительными особенностями лазерного диода IDL 1000 М 808 С являются узкие диапазоны рабочих значений тока и напряжения на р-п переходе, что связано с высоким значением дифференциальной эффективности (угла наклона ватт-амперной характеристики). Это обеспечивает высокую стабильность заданной величины выходной мощности лазерного излучения. Недостатками данного лазерного диода являются отсутствие возможности строгого регулирования мощности, степени когерентности и модового состава излучения, которые определяют уровень потерь при распространении излучения в оптическом волокне и ограничивают область применения лазерного диода [4].



**Рис. 2.** Схема лазерного детонатора: 1 – коллимирующая линза, 2 – фокусирующая линза, 3 – сапфировое окно, 4 – первичное инициирующее вещество, 5 – детонирующий компонент

Вопрос об очаговом воспламенении ВВ возникает в связи с проблемой их чувствительности к механическим воздействиям и лазерному излучению. При механических воздействиях в ВВ возникают очаги разогрева. В определенных условиях ВВ в местах этих очагов разогрева может воспламениться и вызвать детонацию всей массы ВВ. В задаче об очаговом воспламенении ВВ пути и механизмы образования очагов разогрева не рассматриваются, а рассматривается готовый единичный очаг разогрева ВВ идеальной П-образной формы [2, 4, 5]. Температура очага воспламенения  $T_0$ , его размер

2г, температура окружающей среды  $T_\infty$  определяются критическими условиями и периодом индукции лазерного воспламенения. Так как размеры очагов разогрева обычно намного меньше размера массы ВВ, то окружающая очаг холодная масса ВВ. принимается бесконечной. Тепловое воспламенение при воздействии мощных лазерных потоков на ВВ применительно к задаче об очаговом воспламенении для реакции нулевого порядка в безразмерном виде описывается уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \exp \frac{\theta}{1 + \beta \theta} + \frac{1}{Fk} \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} + \frac{n}{\xi} \frac{\partial \theta}{\partial \xi} \right) \quad (1)$$

$$\theta(\xi, 0) = \begin{cases} 0 \text{ при } \xi \leq 1, \\ -\theta_0 \text{ при } \xi > 1 \end{cases}$$

Безразмерные переменные:

$$\theta = \frac{E}{RT_0^2} (T - T_0), \quad \xi = \frac{x}{r}, \quad \tau = t \frac{Qk_0}{c} \frac{E}{RT_0^2} \exp \left( -\frac{E}{RT_0} \right) \quad (2)$$

Безразмерные параметры:

$$Fk = \frac{Q\rho k_0}{\lambda} \frac{E}{RT_0^2} \exp \left( -\frac{E}{RT_0} \right), \quad \theta_0 = \frac{E}{RT_0^2} (T_0 - T_\infty), \quad \beta = \frac{RT_0}{E} \quad (3)$$

Здесь введены обозначения:  $Q$  – удельная энергия взрыва,  $k_0$  – показатель адиабаты,  $Fk$  – параметр Франк-Каменецкого.

Наиболее корректное решение задачи об очаговом воспламенении получено путем численного счета на ЭВМ. Развитие воспламенения удобнее всего наблюдать по изменению во времени температуры в центре очага. При небольших значениях  $Fk$  происходит быстрое остывание очага без разогрева. При большем значении  $Fk$  температура в очаге сначала растет, затем уменьшается. При очень больших значениях  $Fk$  температура растет взрывным образом. Условие воспламенения при лазерном инициировании выполняется для значений  $Fk$ , превышающих некоторое критическое значение  $Fk^*$ . С другой стороны параметр  $\theta_0$  характеризует температурный напор очага разогрева. Его величина выбирается в интервале  $4 < \theta_0 < 25$ . Температуру очага  $\theta_0 < 4$  нельзя рассматривать из условия, что реакция в окружающей массе вещества становится соизмеримой с реакцией в очаге. Зависимость  $\theta_0(T_0)$  имеет максимум, который для типичных значений  $E$  не может быть больше 25 для возможных значений температуры  $T_0$  [4, 5].

Отметим, что вышеизложенные результаты относятся к задаче о воспламенении вещества лазерным излучением только в очаге разогрева. Распространение воспламенения из очага разогрева в окружающую холодную массу ВВ здесь не рассматривается. Но знание закономерностей такого распространения имеет важное значение. Очаг может воспламениться, выгореть, но не воспламенить окружающую массу. Приближенное условие распространения горения за пределы воспламенившегося очага разогрева имеет вид [5]

$$r \geq (n+1) \frac{a}{u} \frac{Q}{c(T_0 - T_\infty)} \quad (5)$$

где  $u$  — линейная скорость горения.

В заключении отметим, что при построении лазерных систем инициирования воспламенения ВВ с использованием оптоволоконна потери энергии лазерного излучения определяются следующими факторами: тип излучателя (модовый состав излучения, диаметр пятна, расходимость излучения, диаграмма направленности); сос-

тояние поверхности волокна, числовая апертура волокна, диаметр сердцевины. Эффективность ввода падает с понижением диаметра волокна. При построении лазерных детонаторов целесообразно использование полупроводниковых лазеров с мощностью излучения не менее 1 Вт при непрерывном режиме работы со встроенным отрезком оптоволоконка. Для транспортировки лазерного излучения необходимо использовать оптические шнуры, изготовленные на основе оптоволоконка с диаметром сердцевины не менее 50 мкм. В этом случае достигается потери мощности в системе на уровне 1 дБ

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Ципилев, В.П.* Стенд для исследования кинетики взрывного разложения конденсированных сред при воздействии импульсов лазерного излучения // Изв. Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306, №4. – С. 99-103.
2. *Таржанов, В.И.* Предвзрывные явления при быстром инициировании бризантных взрывчатых веществ // Физика горения и взрыва. – 2003. – Т. 39, №6. – С. 3-11.
3. *Бутусов, М.М.* Волоконная оптика и приборостроение / *М.М. Бутусов, С.Л. Галкин, С.П. Оробинский, Б.П. Пал;* под общ. ред. *М.М. Бутусова.* – Л.: Машиностроение, Ленинградское отд., 1987. – 328 с.
4. *Калашников, В.В.* Инициирование излучением полупроводникового лазера горения и детонации высокоэнергетических веществ / *В.В. Калашников, Н.И. Лантев, В.И. Мордасов, В.В. Пойлов.* – Самара: Самарский государственный технический университет, 2006 – 112 с.
5. *Андреев, К.К.* Теория взрывчатых веществ / *К.К. Андреев, А.Ф. Беляев, А.И. Гольбиндер, А.Г. Горст;* под ред. *К.К. Андреева.* – М.: Гос. научно-техн. изд. Оборонгиз, 1963. – 578 с.

## HIGH ENERGY MATERIALS IGNITION AND DETONATION PRIMING BY LASER OPTICAL FIBER SYSTEM

© 2009 N.I. Laptev, V.I. Mordasov, V.V. Poylov, N.A. Sazonnikova

Scientific Research Institute of Conversion Problems and High Technologies of Samara State Technical University

By using relatively high laser power densities, it is possible to quickly heat this small portion of the explosive to the critical temperature. The application of lasers to initiate explosives is advantageous because it allows the researcher to closely control and measure how much energy is delivered to the explosive and the rate at which that energy is delivered. The researcher has some degree of control over how much of the explosive material is heated by the laser. This is accomplished primarily by varying the spot size produced by the laser, as control over the penetration depth of the laser light into the explosive is much more limited and difficult to measure.

Key words: *optical fiber, semiconductor laser, detonation priming*

---

*Nikolay Laptev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director. E-mail: postman@sstu.samara.ru*  
*Vasiliy Mordasov, Doctor of Technical Sciences, Leading Research Fellow. E-mail: postman@sstu.samara.ru*  
*Veniamin Poylov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; Chief of the Scientific Unit. E-mail: postman@sstu.samara.ru*  
*Nadezhda Sazonnikova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: nasazonnikova@yandex.ru*