

УДК 621.797

Куливар В.В., аспирант,
*Национальный технический университет «Днепровская политехника»,
г. Днепр, Украина*

ПРИЧИНЫ ЗАДЕРЖКИ ЗАЖИГАНИЯ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Тенденция современного развития НСИ осуществляется главным образом в двух направлениях. Первое – научно-технические разработки, связанные с расширением физико-технического потенциала существующих образцов системы «Нонель» и ее аналогов. Второе – относительно новое, – работы по созданию лазерных (оптических) систем инициирования зарядов ВВ. Второе направление связано с исследованиями светочувствительных взрывчатых композиций и средств взрывания. Исследования нового класса первичных инициирующих ВВ – светочувствительных композитов [1], создания лазерных систем и соответствующих средств взрывания [2-4]. Исследования технических характеристик экспериментального образца лазерной системы ОПСИН (конструкция Национального технического университета «Днепровская политехника [1]) свидетельствуют о прецизионном срабатывании детонаторов, высокой безопасности в обращении и абсолютном безразличии к любым электромагнитным наводкам [5-9]. Система содержит только первичные светочувствительные взрывчатые композиты, которые отличаются высокой безопасностью в обращении, аномально высокой чувствительностью только к действию лазерного моноимпульсного излучения. Взрывная сеть, состоящая из световолоконных кабелей, не содержит взрывчатых веществ. Перечисленные преимущества лазерных систем перед другими НСИ свидетельствуют о потенциальной перспективе использования их во многих отраслях промышленного производства.

Однако широкое практическое применение прецизионных лазерных систем инициирования, особенно при производстве массовых взрывов, требует создания пиротехнических составов, способных к возгоранию под действием лазерного излучения и передачи инициирующего импульса вторичному ВВ, остаётся первостепенной проблемой.

Однако, для точности срабатывания средств замедления и увеличения эффективности разрушения горных пород необходима оптимизация рецептурного соотношения между компонентами этой пиротехнической смеси, а также плотности запрессовки для получения необходимых параметров по скорости горения и соответственно времени замедления детонатора неэлектрической системы инициирования.

В исследованиях закономерностей зажигания инициирующих ВВ (ИВВ) лазерным моноимпульсом использованы азид свинца, Тэн, ТНРС и первичные светочувствительные взрывчатые композиты [8-11], представляющие собой полимерную матрицу, насыщенную микрочастицами штатных ИВВ. Изготовленные композиты – флегматизированные ИВВ, инициировать которые не удавалось капсулом- детонатором №8. Однако к действию лазерного импульсного излучения эти композиты имели аномальную чувствительность. Исследования были частью работ, посвященных проблемам инициирования взрывчатых веществ лазерным импульсом для средств взрывания лазерных систем.

В качестве источника энергии использовался лазер на неодимовом стекле с длиной волны 1,06 мкм и длительностью импульса излучения 11 нс. Исследования проводились с использованием методик, описанных в работах [1, 3].

В результате ряда проведенных исследований, связанных с синтезом светочувствительных взрывчатых композиций, использования ОПСИН в различных видах взрывных работ [4-14] сделаны следующие наиболее важные выводы:

- инициирующие взрывчатые вещества проявляют большую чувствительность к действию лазерного моноимпульса, чем бризантные ВВ;
- увеличение скорости энерговода (уменьшение времени длительности импульса излучения) снижает порог энергии инициирования, следовательно, в лазерных системах следует использовать короткие лазерные импульсы;
- повышение начальной температуры ВВ не влияет на порог инициирования;
- введение поглощающих примесей в заряды инициирующие ВВ не способствует повышению их чувствительности;
- параметры инициирования ИВВ излучением 1,06 мкм и 0,69 мкм приблизительно равны, так как близки их оптические характеристики;
- при инициировании ВВ лазерным излучением проявляется размерный эффект, характеризующийся зависимостью порога инициирования от размера и геометрии зоны воздействия, и который не зависит от длины волны излучения, длительности и мощности воздействия;
- при уменьшении диаметра пучка статистический разброс порога инициирования ВВ не изменяется (в отличие от порога оптического пробоя прозрачных диэлектриков);
- увеличение концентрации поглощающих излучение микронеоднородностей повышает вероятность инициирования заряда ВВ;
- задержка инициирования зависит от природы ВВ, длительности воздействия, плотности мощности лазерного излучения, рис. 1.

Обобщая сделанные выводы, можно заключить следующее:

- не разработаны подходы или хотя бы общие принципы получения (синтеза) ИВВ для лазерных систем;
- работы, направленные на повышение чувствительности ИВВ, в отличие от бризантных ВВ, ранее практически не проводились;
- размерные эффект, статистические особенности инициирования основаны на представлениях о диффузном рассеянии излучения в среде ВВ, однако, теоретические модели этого процесса не разработаны.

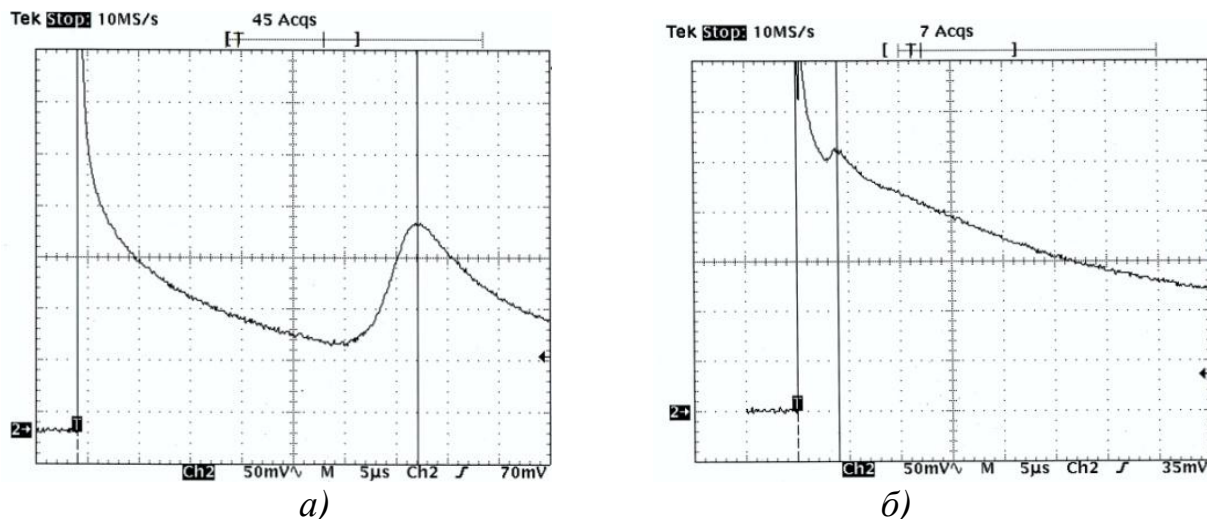


Рис. 1. Осциллограмма времени задержки зажигания светочувствительных взрывчатых композитов: а) – задержка 170 мкс; б) а – 20 мкс

На осциллограммах первый пик соответствует лазерному излучению. Второй пик – световому излучению в момент зажигания ИВВ.

Выводы. Анализ результатов исследования чувствительности ИВВ и светочувствительных взрывчатых композитов к действию моноимпульса лазерного излучения показал, что в качестве первичного ИВВ в оптических детонаторах следует использовать светочувствительный композит с минимальной энергией зажигания.

Можно относительно точно управлять временем задержки зажигания ИВВ в диапазоне от десятков до нескольких сотен микросекунд, что особенно важно соблюдать в некоторых физических экспериментах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chernai A.V., Sobolev V.V., Ilyushin M.A., Zhitnev N.E., Petrova N.A. (1996) On the mechanism of ignition of energetic materials by a laser pulse // Chemical Physics Reports Volume 15, Issue 3, 1996, Pages 457-462.
2. OPSIN – A new system of blasthole and deep-hole charges blasting in explosives / V.V. Sobolev, A.V. Chernay, N.M. Studinsky // 5th – International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Sao Paulo, Brazil, 22-25 October 1996. – Sao Paulo, 1996. – P. 441-443.

3. Chernaj, A.V., Sobolev, V.V. (1995) Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials // *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*. Issue 5, September 1995, Pages 120-123.

4. Sobolev V. V., Ustimenko E.B., Nalisko N.N., Kovalenko I.L. (2018) The macrokinetics parameters of the hydrocarbons combustion in the numerical calculation of accidental explosions in mines // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, – 2018– №1– P. 89-98.

5. Chernaj, A.V., Sobolev, V.V., Chernaj, V.A., Ilyushin, M.A., Dlugashek, A. (2003) Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate // *Fizika Goreniya i Vzryva*. Volume 39, Issue 3, 2003, P. 105-111.

6. Sobolev V.V., Shiman L.N., Nalisko N.N., Kirichenko A.L. (2017) Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. – 2017. – №6. – P. 53-60.

7. Sobolev V., Bilan N., Kirichenko O. (2014) Mechanism of additional noxious fumes formation when conducting blasting operations in rock mass // *Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining*. Published by CRC Press/Balkema, The Netherlands, 2014. - 521 p. - P. 471-477. ISBN: 978-1-138-02699-5 (Hbk), ISBN: 978-1-315-74031-7.

8. Mykola Nalisko, Valerii Sobolev, Dmytro Rudakov and Nataliia Bilan (2019) Assessing safety conditions in underground excavations after a methane-air mixture explosion // *E3S Web of Conferences* 123, 0 0 (2019) Ukrainian School of Mining Engineering.

9. Sobolev V.V., Baskevich A.S., Shiman L.N., Usherenko S.M. (2016) Mechanism of thick metal walls penetration by high-speed microparticles // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2016, – №6.–P. 74-82.

10. Чернай А.В., Соболев В.В., Чернай В.А., Илюшин М.А., Длугашек А. Лазерное инициирование взрывчатых составов на основе ди (3-гидразино-4-амино-1,2,3-триазол) медь (II) перхлора // *Физика горения и взрыва*. – 2003. – №3. – С.105-110.

11. Kyrychenko O.L., Kulivar V.V., Skobenko O.V., Khalymendyk O.V. (2019) A technique to measure sensitivity of explosives to the effect of laser pulse radiation // *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2019, № 4, P. 11-15.

12. Viacheslav Kulivar, Ihor Usyk, Nina Shepel, Kostiantyn Kravchenko (2019) Features of initiating the light-sensitive explosive composites for safe blasting of borehole charges in coal mines // *E3S Web of Conferences*, 2019, p. 01009.

13. Соболев В.В. Образование новых фаз в измельченном кальците с добавками кремния при нагревании и пропускании электрического тока // *Минералогический журнал*. – 2008. – №4. – С. 25–32.

14. Sobolev V., Taran Y., Gubenko S. Shock Wave Use for Diamond Synthesis // *Journal de Physique IV. Colloque*. – C.3. – 1997. – 7. – P.73-75.