АНОТАЦІЯ

Кулівар В.В. Обґрунтування параметрів елементів лазерних систем ініціювання вибуху з використанням світлочутливих композитів при руйнуванні гірських порід. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 184 Гірництво – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2021.

Мета роботи – встановити закономірності ініціювання первинних світлочутливих вибухових композитів вузькими лазерними пучками для створення експериментального зразка оптичного детонатора лазерної системи ініціювання.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні процеси, що призводять до детонації світлочутливих вибухових композитів при дії лазерного випромінювання.

Предмет дослідження – лазерні системи ініціювання детонації зарядів вибухових речовин.

Методи досліджень. Параметри лазерної дії та часові характеристики процесу запалювання визначалися калориметричними й оптоелектричними методами вимірювання. При визначенні порогу запалювання вибухових речовин використовувалися ймовірнісні методи обробки результатів випробувань. Окрім цього застосовувалися методи колоїдної хімії та чисельний метод для вивчення випадкових процесів – метод Монте-Карло.

Були проаналізовані роботи, які присвячені проблемам ініціювання вибухових речовин лазерним моноімпульсом, та зроблені висновки, що: чутливість світлочутливих вибухових композитів (СВК) до дії ініціюючого лазерного моноімпульсу в декілька разів вища за чутливість чистих вибухових речовин; зниження порогу ініціювання СВК може бути здійснено збільшенням швидкості введення енергії лазерного випромінювання; при ініціюванні детонації СВК слід враховувати розмірний ефект – залежність порогу

ініціювання від геометрії лазерного пучка та довжини хвилі випромінювання; штатні ініціюючі вибухові речовини (ІВР) проявляють високу чутливість до дії лазерного імпульсу при високих тисках пресування (>10^8 Па), що унеможливлює використання їх як первинних речовин в оптичних детонаторах; роботи, спрямовані на підвищення чутливості штатних первинних ВР до лазерного випромінювання, на відміну від вторинних ВР, проводилися в незначній кількості досліджень; ефективне використання лазерних систем ініціювання зарядів ВР під час масових вибухів можливе при застосуванні світлочутливих вибухових композитів.

Виконаний аналіз фізико-математичної моделі розсіювання світла в середовищі де використовувався чисельний метод Монте-Карло для визначення закономірностей освітленості в дифузно-розсіюючому середовищі з великою щільністю розсіювачів. Завдяки цьому зроблено коротке формулювання фізичної моделі запалювання вибухових речовин лазерним моноімпульсом для створення оптичного детонатору: осередкове запалювання світлочутливих вибухових речовин здійснюється в умовах багатократного розсіювання фотонів на гранях кристалів ВР, яке значно підвищує об'ємну освітленість, а, отже, і ефективність введення енергії лазерного імпульсу в мікронеоднорідності речовини; підвищення освітленості в глибині ВР є одним з найефективніших способів зниження порогу запалювання вибухових речовин, що використовуються в оптичних детонаторах і свідчить на користь застосування в засобах підривання зарядів ВР первинними світлочутливими вибуховими композитами.

Були проведені експериментальні дослідження ініціювання детонації світлочутливих первинних вибухових композитів вузькими пучками лазерного моноімпульсу. Отримані результати, які свідчать, що при зменшенні розмірів лазерного пучка (зони взаємодії) підвищується оптична потужність СВК. Це пов'язано із зменшенням кількості поглинаючих мікронеоднорідностей критичної величини, і супроводжується різким збільшенням статистичного розкиду експериментальних даних. При зменшенні діаметру променя *d*

критична енергія ініціювання азиду свинцю зменшується і в цілому при $d \to 0$ критична енергія ініціювання W_k зменшується до мінімального значення $W_k \to W_{min}$. Статистичний розкид величини $W_к$ не залежить від площі опромінювання.

Встановлено, що при зменшенні діаметру лазерного пучка, критична щільність енергії ініціювання зарядів СВК на основі азиду свинцю зменшується. Починаючи з діаметру лазерного пучка 3×10^{-3} см спостерігається асимптотичне наближення цієї кривої до значення деякого мінімуму. При діаметрі променя 2×10^{-3} см щільність енергії ініціювання складає 18×10^{-3} Дж/см^2.

Проведені дослідження щодо спрацювання лабораторного зразку оптичного детонатора та встановлено, що чутливість дослідженого СВК на основі азиду свинцю залежить від масової концентрації полімеру: при збільшенні його вмісту щільність енергії запалювання зменшується і досягає мінімального значення, а потім зростає при подальшому збільшенні вмісту полімеру.

Встановлено, що чутливість СВК на основі азиду свинцю до дії лазерного моноімпульсного випромінювання залежить від радіусу лазерного пучка: чим менше радіус, тим більша щільність енергії потрібна для запалювання.

Найважливішими факторами, що визначають розвиток процесу запалювання СВК лазерним моноімпульсом, є освітленість в об’ємі СВК і хвилі розвантаження, що поширюються з боку вільної (відкритої) поверхні.

Уперше експериментально встановлено залежності чутливості до дії лазерного моноімпульсу світлочутливих вибухових композитів на основі азиду свинцю від масової концентрації полімеру.

Уперше встановлено, що затримка часу запалювання СВК на основі азиду свинцю збільшується як при зменшенні масової концентрації полімеру, так і при зменшенні товщини шару композиту.

Наукові положення, що виносяться на захист

1. Затримка часу запалювання нового СВК на основі азиду свинцю і полімеру ПМВТ-3М з концентрацією маси 5 – 25 % від початку дії лазерного імпульсного випромінювання складає (4–50) мкс, при цьому, зменшення вмісту полімеру від 25 до 5% для запалювання СВК потребує у двічі більшої енергії випромінювання, але, якщо вміст полімеру складає менше 5 %, то запалювання СВК не відбувається, що при застосуванні надає можливість виконувати кероване і прецизійне ініціювання детонації СВК в оптичному детонаторі.

2. Зі зменшенням діаметру лазерного променя з довжиною хвилі 1,06 мкм з тривалістю моноімпульса 22×10^{-9} с поверхнева щільність мінімальної поверхневої енергії ініціювання W_k нового світлочутливого вибухового композиту (СВК) на основі азиду свинцю зменшується, при цьому, починаючи з діаметру $1{,}5\times10^{-4}$ м, крива залежності асимптотично наближається до мінімального значення 18 мДж/см^2, а порогова щільність енергії ініціювання Ек становить 85 мДж/см^2 при діаметрі пучка 0,5 мм, що дозволяє вибрати раціональні параметри лазерного пучка для ініціювання СВК у засобах підривання.

Основні наукові результати та їх новизна

1. Отримала подальший розвиток чисельна модель поширення лазерного випромінювання в об’ємі світлочутливого вибухового композиту на основі азиду свинцю, що дозволило вперше отримати вірогідні результати розподілу освітленості по глибині вибухового композиту та зробити висновки щодо осередкового механізму запалювання СВК на основі азиду свинцю.

2. Уперше експериментально встановлено, що зменшення товщини зразків СВК на основі азиду свинцю або зменшення масової концентрації полімеру знижує освітленість в об’ємі шару СВК за рахунок втрати фотонів на протилежній границі композиту, тобто частка фотонів стає не задіяною в загальному процесі формування осередків запалювання, що потребує збільшення енергії лазерного випромінювання.

3. Уперше встановлено, що затримка часу запалювання СВК на основі азиду свинцю збільшується як при зменшенні масової концентрації полімеру, так і при зменшенні товщини шару світлочутливого вибухового композиту на основі азиду свинцю.

4. Уперше експериментально встановлено, що гарантований підрив первинного світлочутливого вибухового композиту в засобах підривання лазерних систем здійснюється за умов обов'язкового перевищення певних мінімальних значень товщини шару первинного СВК, масової концентрації полімеру в СВК та енергетичних і геометричних характеристик лазерного пучка.

Практичні результати роботи

Розроблено експериментальну технологію отримання первинного ініціюючого світлочутливого вибухового композиту на основі азиду свинцю для використання в засобах підривання зарядів вибухових речовин лазерними системами.

Створено експериментальні зразки оптичних детонаторів миттєвої дії, проведені випробування ініціюючої спроможності за методикою випробування штатного капсуля-детонатора.

Рекомендовано при використанні технології отримання світлочутливих вибухових композитів застосовувати вихідні мікрокристали азиду свинцю з дефектами кристалічної будови і мікронеоднорідностями та мікровключеннями різного походження, оскільки при цьому збільшується вірогідність ініціювання лазерним імпульсом із заданою енергією.

Отримані в роботі результати можуть бути використані у таких галузях як гірничовидобувна, космічна, машинобудівна, військова, будівельна, а також і в таких, де застосування традиційних систем ініціювання або принципово неможливе, або пов'язане з великими труднощами практичного характеру.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій роботи підтверджені коректністю застосування фундаментальних законів фізики, у тому числі, хімічної фізики, імітаційно-

математичного моделювання, результатами експериментальних досліджень і задовільному збігу результатів чисельного моделювання з експериментальними.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей поширення лазерного імпульсного випромінювання в об’ємі світлочутливого вибухового композиту на основі азиду свинцю, а також у встановленні фізико-хімічного механізму утворення осередків запалювання, що призводить до ініціювання стійкої детонації.

Практичне значення роботи полягає у встановленні та обґрунтуванні фізико-технічних параметрів і геометричних характеристик лазерного променя та ініціюючого світлочутливого композиту, використання яких дозволило створити й випробувати принципово новий зразок оптичного детонатору до лазерних систем ініціювання зарядів вибухових речовин.

Ключові слова: світлочутливі вибухові композити, оптичний детонатор, лазерна система ініціювання, затримка часу запалювання, лазерний промінь, фізико-технічні параметри, полімер.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові результати дисертації опубліковані в наступних працях

Наукометрична база Scopus

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

2. Kulivar Viacheslav, Usyk Ihor , Shepel Nina, and Kravchenko Kostiantyn. Features of initiating the light-sensitive explosive composites for safe blasting of borehole charges in coal mines. E3S Web of Conferences 123. 2019.

3. Sobolev V.V., Kulivar V.V., Kyrychenko O.L., Kurliak A.V., Balakin O.O. Evaluation of blast wave parameters within the near-explosion zone in the process of rock breaking with borehole charges. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 2, P. 47-52.

Фахові видання

4. Кириченко А.Л., Куливар В.В., Соболев В.В. Взрывчатые композиты, высокочувствительные к импульсному лазерному излучению. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. 32 (41). С. 138–146.

5. Зазимко В.І., Кулівар В.В. Про деякі особливості течії хімічних реакцій в зарядах вибухових речовин, збуджених світловим імпульсним випромінюванням. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2018. № 1. С. 143-153.

6. Зазимко В.І., Куліивар В.В., Кириченко О.Л. Скобенко О.В. Вплив утворення тріщин на процес осередкового запалювання вибухових речовин. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2019. №1. С. 170-177.

Збірники доповідей та тез, що засвідчують апробацію

7. Соболев В.В., Куливар В.В., Романова А.С., Зазимко В.И. Некоторые технические особенности оптического модуля лазерной системы

инициирования зарядов взрывчатых веществ. XIII Всеукраїнська наук.-техн. конф. «Сучасні технології ведення буровибухових робіт та безпека застосування гранульованих і емульсійних вибухових речовин. Їх економічна ефективність і техногенна безпека»: матеріали конференції. Кременчук: КрНУ. 2016. С. 13-16.

8. Романова А.С., Куливар В.В., Соболев В.В. Элементы оптической системы инициирования и некоторые их характеристики. XIII Всеукраїнська наук.-техн. конф. «Сучасні технології ведення буровибухових робіт та безпека застосування гранульованих і емульсійних вибухових речовин. Їх економічна ефективність і техногенна безпека»: матеріали конференції. Кременчук: КрНУ. 2016. С. 26-29.

9. Куливар В.В., Соболев В.В., Кириченко А. Л. Использование явления взаимодействия лазерного излучения с высокоэнергетическими веществами в технике взрывного дела. Матеріали II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2017. С. 162.

10. Соболев В.В., Куливар В.В., Кириченко А.Л. Первичные взрывчатые вещества для лазерных систем инициирования. Матеріали II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничо добувної галузі», Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2017. С. 166.

11. Кириченко А.Л., Соболев В.В., Куливар В.В. Некоторые физические особенности лазерного зажигания светочувствительных взрывчатых веществ. Матеріали II Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі», Кривий Ріг: Криворізький національний університет, 2017. С. 156.

12.Соболев В.В., Куливар В.В., Ищенко Б.С, Зазимко В.И. Высокоэнергетические взрывчатые композиты светочувствительные к лазерному излучению. Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. [присвячена 80-ти річчю пам'яті

Івана Степановича Новосильцева] / редкол.: О.М. Шашенко [та ін.]– Д.: Національний гірничий університет. 2017. С.92-.95.

13.Соболев В.В., Ищенко Б.С., Куливар В.В., Романова А.С. Физико-технические особенности оптической системы инициирования зарядов взрывчатых веществ. Перспективи розвитку будівельних технологій [Текст]: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. [присвячена 80-ти річчю пам'яті Івана Степановича Новосильцева] / редкол.: О.М. Шашенко [та ін.]– Д.: Національний гірничий університет. 2017. С. 126-128

14. Соболев В.В., Куливар В.В., Кириченко А.Л., Зазимко В.И. Возможные механизмы зажигания взрывчатых веществ лазерным импульсным излучением. Форум гірників- 2017: матеріали міжнар. конф. 4-7 жовтня 2017, м. Дніпро: Національний гірничий університет. 2017. С. 219-228.

15. Соболев В.В., Ищенко Б.С., Куливар В.В., Романова А.С. Способ возбуждения плоских детонационных волн в тонкослойных зарядах взрывчатых веществ. Перспективи розвитку будівельних технологій: матеріали 11-ї міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 26–27 квітня 2017 р. [присвячена 80-ти річчю пам'яті Івана Степановича Новосильцева] / редкол.: О.М. Шашенко [та ін.] – Д.: Національний гірничий університет. 2017. С. 112-114.

16. Куливар В.В., Курляк А.В. О формировании плоских ударних волн с применением лазерного способа взрывания светочувствительных ВВ. Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука ті інновації». 2018. С.7 -12 –7-13.

17. Куливар, В.В., Кириченко, А.Л. Расчет оптических характеристик микроразмерных неоднородностей взрывчатых веществ с использованием теории МИ. Форум гірників - 2018: матеріали міжнар. наук.-техн. конф.,10-13 жовтня 2018 р., м. Дніпро, С. 84-89.

18. Куливар, В.В., Деревягина, Н.И., Кириченко, А.Л. Методика измерения чувствительности взрывчатых веществ к действию лазерного импульсного излучения. 14-та Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. 2020. С. 82-84.

19. Соболев В.В., Куливар В.В., Кириченко А.Л., Зазимко Ю.И. Способ формирования сходящихся цилиндрических ударных волн. 12-та міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. Перспективи розвитку будівельних технологій. Дніпро. НГУ.2018. С.136-141.

20. Кириченко А.Л., Куливар В.В. Об основных результатах исследования инициирования светочувствительных взрывчатых композитов лазерным излученим. Матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молодь: наука та інновації». Дніпро.2018. Том 7 – Будівництво, геотехніка і геомеханіка. с.7-10 – 7-11.

21. Скобенко О.В. Кулівар В.В., Дараган Т. В., Пост Л.В. Закономірності ініціювання світлочутливих вибухових композитів. 14-та Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів , 2020. С.94-96.

22. Кириченко А.Л., Куливар В.В. Исследование инициирующих взрывчатых композитов для создания безопасных средств взрывания лазерных систем. 14-та Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. 2020. С.75-77.

23. Куливар В. В. Причины задержки зажигания взрывчатых веществ лазерным излучением. 14-та Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених, аспірантів та студентів. 2020. С. 78-81.

ABSTRACT

Kulivar V.V. Substantiation of the parameters of certain components of the blast-initiation laser systems involving light-sensitive composites in the process of rock breaking. - Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 184 Mining. - Dnipro Polytechnic National Technical University, Dnipro, 2021.

The purpose of the work is to establish the regularities of initiation of primary light-sensitive explosive composites by narrow laser beams to create an experimental sample of a laser initiation system optical detonator.

The object of study - physico-chemical processes that lead to the detonation of light-sensitive explosive composites under the action of laser radiation.

The subject of research - laser systems to initiate detonation of explosive charges.

Research methods. Laser action parameters and time characteristics of the ignition process were determined by calorimetric and optoelectric measurement methods. While determining the ignition threshold of explosives, probabilistic methods of processing test results were used. In addition, the methods of colloid chemistry and the numerical method for studying random processes - the Monte Carlo method - were used.

The works devoted to the problems of initiating explosives by laser monopulse were analyzed, and it was concluded that: the sensitivity of light-sensitive explosive composites (LSEC) to the action of the initiating laser monopulse is several times higher than the sensitivity of pure explosives; lowering the initiation threshold of the LSEC can be done by increasing the rate of energy input of laser radiation; when initiating the detonation of the LSEC should take into account the dimensional effect - the dependence of the initiation threshold on the laser beam geometry and the wavelength radiation; standard initiating explosives (SIE) show a high sensitivity to the action of the laser pulse at high compression pressures (> 10^8 PA), which makes it impossible to use them as primary substances in optical detonators; work aimed at

increasing the sensitivity of regular primary explosives to laser radiation, in contrast to secondary explosives, was carried out in a small number of studies; effective use of laser systems to initiate explosive charges during mass explosions is possible with the use of light-sensitive explosive composites.

An analysis of the physico-mathematical model of light scattering in a medium where the numerical Monte Carlo method was used to determine the patterns of illumination in a diffuse-scattering medium with a high density of scatterers was also performed. Due to this, a brief formulation of the explosives ignition physical model with a laser monopulse to create an optical detonator was performed: focal ignition of light-sensitive explosives is carried out under conditions of photons multiple scattering on the faces of explosive crystals, which significantly increases the bulk illuminance and, consequently, the laser pulse energy efficiency in the matter microhomogeneity. Increasing the illumination in the depth of explosives is one of the most effective ways to reduce the ignition threshold of explosives used in optical detonators and in favour of the use in means of detonating explosive charges with primary light-sensitive explosive composites.

Experimental studies of initiation of light-sensitive primary explosive composites detonation by narrow beams of a laser monopulse were carried out. The results obtained show that when the size of the laser beam (interaction zone) decreases, the optical power of the LSEC increases. This is due to a decrease in the number of absorbing microhomogeneities of critical magnitude, and is accompanied by a sharp increase in the statistical scatter of experimental data. As the beam diameter d decreases, the critical initiation energy of lead azide decreases, and in general at $d \to 0$ the critical initiation energy W_k decreases to the minimum value $W_k \to W_{min}$. The statistical scatter of W_k does not depend on the irradiation area.

It is established that as the diameter of the laser beam decreases, the critical initiation density energy of lead-based azide charges decreases. Starting from the diameter of the laser beam 3×10^{-3} cm, an asymptotic approach of this curve to the value of some minimum is observed. With a beam diameter of 2×10^{-3} cm, the initiation energy density is 18×10^{-3} J/cm^2.

Studies on the operation of an optical detonator laboratory sample and found that the sensitivity of the studied LSEC based on lead azide depends on the polymer mass concentration: with increasing its content, the ignition energy density decreases and reaches a minimum value, and then increases with further increase in the polymer content.

It is established that the sensitivity of lead-based azide to the action of laser monopulsed radiation depends on the radius of the laser beam: the smaller the radius, the greater the energy density required for ignition.

The most important factors that determine the development of the process of ignition of the LSEC by a laser monopulse are the illumination in the volume of the LSEC and the unloading waves propagating from the free (open) surface.

For the first time, the sensitivity dependences to the action of a light-sensitive explosive composites laser monopulse based on lead azide on the mass concentration of the polymer were experimentally established.

It was found for the first time that the ignition time delay of LSEC based on lead azide increases both with a decrease in the mass concentration of the polymer and with a decrease in the thickness of the composite layer.

Scientific statements submitted for defense

1. The delay of the ignition time of a new LSEC based on lead azide and polymer ПМВТ-3М with a mass concentration 5 – 25 % from the onset of action of laser pulsed radiation is (4–50) μs, while reducing the polymer content from 25 to 5 % requires to ignite the LSEC twice as much the radiation energy, but, if the polymer content is 5 % or less, the ignition of the LSEC does not occur, which in use makes it possible to perform controlled and precise initiation of the detonation of the LSEC in the optical detonator.

2. With decreasing diameter of the laser beam with a wavelength of 1.06 μm with a monopulse duration 22×10^{-9} s, the surface density of the minimum threshold energy of initiation W_k of a new light-sensitive explosive composite (LSEC) based on lead azide decreases, while starting from a diameter of $1{,}5\times10^{-4}$ m, the dependence curve asymptotically approaches the minimum value of 18 mJ/cm^2, and the threshold

energy density of initiation E_k is 85 mJ/cm^2 with a beam diameter of 0,5 mm, which allows you to choose the rational parameters of the laser beam to initiate the LSEC in the means of detonation.

Main scientific results and their novelty

1. Numerical model of laser radiation propagation in the volume of light-sensitive explosive composite based on lead azide has been further developed, which allowed for the first time to obtain reliable results of light distribution along the depth of the explosive composite and to draw conclusions about the focal mechanism of ignition of LSEC based on lead azide.

2. For the first time it was experimentally established that reducing the thickness of the LSEC samples based on lead azide or reducing the mass concentration of the polymer reduces the illumination in the volume of the layer due to loss of photons at the opposite boundary of the composite, that is, the fraction of photons becomes not involved in the overall process of ignition cells formation, which requires an increase in the laser radiation energy.

3. It was found for the first time that the ignition delay time of lead azide-based LSEC increases both when the mass concentration of the polymer decreases and when the layer thickness of the light-sensitive explosive composite based on lead azide decreases.

4. For the first time it was experimentally established that guaranteed detonation of primary light-sensitive explosive composite in means of laser systems detonation is carried out under obligatory exceeding conditions of certain minimum values of primary layer thickness, mass polymer concentration in LSEC and energy and laser beam geometric characteristics.

Practical results of research

An experimental technology for obtaining a primary initiating light-sensitive explosive composite based on lead azide for use in means of detonating explosive charges by laser systems has been developed.

Experimental samples of instantaneous optical detonators were created, tests of initiating ability were carried out according to the testing a standard detonator capsule method.

It is recommended to use the source microcrystals of lead azide with defects of crystal structure and microhomogeneities and microinclusions of different origin when using the technology of obtaining light-sensitive explosive composites, as this increases the probability of initiation by a laser pulse with a given energy.

The results obtained in this work can be used in such areas as mining, space, engineering, military, construction, as well as in those where the use of traditional initiation systems is either fundamentally impossible or associated with great practical difficulties.

The validity and reliability of scientific statements, conclusions and recommendations are confirmed by the correct application of the fundamental laws of physics, including chemical physics, simulation and mathematical modelling, the results of experimental research and the satisfactory coincidence of the results of numerical modelling with data of experiments.

The scientific significance of the work is to establish the patterns of propagation of laser pulsed radiation in the volume of light-sensitive explosive composite based on lead azide, as well as to establish the physicochemical mechanism of ignition centres, which leads to the initiation of stable detonation.

The practical significance of the work is to establish and substantiate the physical and technical parameters and geometric characteristics of the laser beam and the initiating light-sensitive composite, the use of which allowed creating and testing a fundamentally new model of optical detonator for laser systems initiating of explosives.

Key words: light-sensitive explosive composites, optical detonator, laser initiation system, ignition time delay, laser beam, physical and technical parameters, polymer.