

УДК 662.215.4

doi: [10.31474/1999-981X-2018-1-143-153](https://doi.org/10.31474/1999-981X-2018-1-143-153)В.І. Зазимко
В.В. Кулівар

ПРО ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕЧІЇ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ В ЗАРЯДАХ ВИБУХОВИХ РЕЧОВИН, ЗБУДЖЕНИХ СВІТЛОВИМ ІМПУЛЬСНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

Метою роботи є проведення досліджень фізико-хімічних особливостей механізму стимулювання ВР імпульсним випромінюванням оптичного квантового генератора.

Методика дослідження. У роботі використано методологію експериментальних і теоретичних досліджень, математичне моделювання із застосуванням рівнянь газової динаміки.

Результати дослідження. Проведено аналіз основних результатів, отриманих в області дослідження чутливості вибухових речовин, що ініціюють імпульсним світловим випромінюванням. У дослідженнях ініціювання вибухового перетворення бризантних вибухових речовин наносекундними лазерними імпульсами використані теоретичні оцінки фізичних параметрів. Чисельне моделювання здійснювалося з врахуванням реального процесу запалювання вибухової речовини інфрачервоним випромінюванням лазера.

Наукова новизна. Математична модель дозволяє досліджувати особливості ініціювання вибухового перетворення бризантних вибухових речовин короткими світловими імпульсами. На прикладі ТЕНу показано, що цей процес повністю визначається параметрами, які характеризують інтенсивність випромінювання і поглинальні властивості вибухової речовини. Залежно від значення цих величин можуть бути реалізовані якісно різні процеси ініціювання – на поверхні або у середині речовини. У останньому випадку виділення хімічної енергії призводить до утворення так званого «хімічного» піку тиску. До чинників, що впливають на ініціювання випромінюванням лазера, часто беруть до уваги початкову температуру зразка вибухової речовини. Встановлено, що початкова температура (до 420 К) на прикладі азиду свинцю не впливає на підвищення чутливості ВР у випадку, коли випромінювання лазера здійснюється у режимі наносекундного імпульсу.

Практичне значення одержаних результатів використовується при розробці світлочутливих композицій з наперед заданими вибуховими та фізико-хімічними властивостями, які мають певні обмеження умовами застосування.

Ключові слова: вибухові речовини, лазер, імпульсне випромінювання, чутливість, ініціювання детонації

Вступ.

Важливе місце в забезпеченні ефективності будь-яких підривних робіт займають системи ініціювання вибухових речовин (ВР). Під ефективністю в першу чергу слід розуміти здатність систем забезпечити високий рівень безпеки під час підготовки та виконання вибухових робіт, абсолютну відсутність реакції до дії зовнішніх електромагнітних наведень. Значний вплив на ступінь безпеки надають засоби ініціювання, що включають первинні ВР. Тому найбільш ефективний і майже чи не єдиний шлях вирішення проблеми – створення первинних ВР з чутливістю до механічних та теплових полів аналогічною такій, яка відповідає вторинним ВР (наприклад, ТЕНу).

До кінця 80-х років минулого століття були усі передумови для створення максимально безпечної, надійної і прецизійної, економічно і технологічно ефективною системи ініціювання зарядів вибухових речовин лазерним випромінюванням. Так було розроблено ряд

способів збудження детонації в зарядах ВР за допомогою кристалів циркону, металеві фольги і тяганини, вуглецевих нанотрубок, які вибухають при дії потужного лазерного моноімпульсу [1,2]. Проте цей шлях виявився не перспективним для вирішення проблеми лазерного ініціювання в цілому. Необхідно було створити такі первинні світлочутливі високоенергетичні композиції, які б дозволяли застосовувати лазерні системи при проведенні будь-яких видів підривних робіт та відрізнялися високою гнучкістю і здатністю задовольняти нові вимоги з боку новітніх технологій. Іншими словами, була потрібна нова система ініціювання з глибоким фізико-технічним потенціалом.

У зв'язку з цим, одним з найбільш актуальних напрямів в області хімії та фізики вибуху є дослідження закономірностей взаємодії ВР з лазерним імпульсним випромінюванням. Зокрема, для розуміння механізму збудження детонації важливе значення мають дослідження оптичних властивостей ВР. У цьому сенсі актуальність розуміння фізики процесу запалювання та

фундаментальні знання є важливою основою для створення нового класу первинних ВР з характеристикою аномально високої світлочутливості.

Аналіз останніх досягнень.

З матеріалів останніх публікацій заслуговують на увагу декілька результатів, що були одержані під час досліджень лазерного ініціювання сумішей ВР з частинками металів та інших інертних матеріалів в [3-7]. Так у роботі [3] розраховані залежності коефіцієнтів ефективності поглинання від розміру наночастинок алюмінію в матриці ТЕНа. Експериментально виміряні значення критичної щільності енергії лазерного ініціювання ТЕНа з алюмінієм. В [4] розрахунки показано, що у суміші гексогену з наночастинками нікелю мінімальна щільність енергії ініціювання відповідає частинкам нікелю діаметром 40-45 нм. Дослідження суміші гексогену з алюмінієм також виявили аналогічну залежність щільності критичної енергії ініціювання від розмірів частинок алюмінію. В роботі [5] автори встановили, що зміст добавки 0,1% Al у ТЕНі, зменшує чутливість до удару щодо зразків, що не містять добавки. Це дозволяє розглядати даний високоенергетичний сумішевий склад як перспективний матеріал для світлодетонаторів. Ще одна робота, на яку варто звернути увагу це вибухові композити, у яких наповнювачами полімерної матриці використані ВР з добавками наноалмазів детонаційного синтезу [1]. За останні 5 років з'явилися роботи теоретичного характеру, у яких автори пропонують розрахунковим шляхом робити оцінки параметрів взаємодії лазерного випромінювання з ВР, за допомогою імітаційного моделювання розраховувати критичні щільності енергії запалювання, прогнозувати принципіальні можливості управління порогом фото ініціювання енергетичних матеріалів за допомогою введення у ВР добавок розсіювачів світла ці таке інше [6]. Але такий шлях для досліджень властивостей та характеристик первинних ВР може бути хибним. Таким чином ініціювання вибухових речовин, прозорих до лазерного випромінювання, вимагає обов'язкового урахування оптичних ефектів, що для кожної ВР є вельми актуальними.

Одним із ефектів такої конструкції вибухового композиту є затримка підривання, час якої знаходиться в залежності від розмірів та концентрації наноалмазного порошку. Ідея, що об'єднує вище цитовані [1-6] та й інші подібні роботи складається з практичних міркувань: актуальним завданням для практики є створення надійних первинних світлочутливих ВР з добавками розсіювачів з різних матеріалів. Це один шлях. Другий шлях створення світлочутливих ВР ґрунтується на ідеї композитних ВР – полімерній матриці, насиченій мікрочастинками ВР [1].

У дослідженнях механізму запалення були виміряні спектри поглинання ряду бризантних ВР на спеціально підготовлених для цих цілей зразках. Так, азид срібла використовувався у вигляді тонких прозорих пластинок завтовшки 0,1–0,01 мм. Результати вимірів показали, що при кімнатній температурі ця речовина сильно поглинає світло з довжиною хвилі менше $\lambda = 0,35$ мкм. Коефіцієнт поглинання при $\lambda = 0,3$ мкм складає приблизно 10^5 м^{-1} і різко збільшується при подальшому зменшенні довжини хвилі. При $\lambda > 0,385$ мкм аж до ближньої інфрачервоної області спектру поглинання невелике. Подібні результати отримані і для інших вибухових речовин, таких як азиди талія, свинцю, фульмінат срібла, стифнат свинцю, ТЕН [7].

Дані виміру спектральних коефіцієнтів поглинання ВР стали основою теплового механізму запалення, який полягає в тому, що світло синьої та ультрафіолетової частини спектру коли поглинається в тонкому шарі ВР (завтовшки $10^{-5} - 10^{-6}$ м), викликає його розігрівання, достатнє для ініціювання хімічної реакції. На важливу роль короткохвильового випромінювання в запаленні ВР вказують експерименти з запалення стифнату свинцю світлом від іскрового розряду [1]. Висновок відносно визначальної ролі в процесі запалення тонкого поверхневого шару речовини підтверджується рядом інших результатів. Наприклад, повідомляється [8], що ініціювання азиду свинцю не залежить від чистоти матеріалу, дисперсності, щільності зразка. Крім того, в цій роботі помічений вплив розльоту продуктів розкладання речовини на параметри запалювання, що характерно для великих показників

поглинання ВР.

Активність розвитку досліджень в цьому напрямі значно зростає з початком використання лазерів [9-16]. Експерименти проводилися з використанням наносекундних (тривалість імпульсу $\tau = (2-5) \cdot 10^{-8}$ с), мікросекундних ($\tau = (0,5-0,7) \cdot 10^{-6}$ с) і мілісекунд ($\tau \sim 10^{-3}$ с) імпульсів неодимового і рубінового лазерів [17-24]. Аналізуючи отримані результати, акцентуємо увагу на питаннях, що мають відношення до проблем механізму запалення ВР і практичного застосування методу лазерного ініціювання. Найбільш важливою властивістю бризантних ВР є чутливість до дії лазерного імпульсу

Попри те, що більшість досліджених ВР слабо поглинають випромінювання неодимового (довжина хвилі $\lambda = 1,06$ мкм) і рубінового ($\lambda = 0,69$ мкм) лазерів, отримані у ряді робіт значення критичної щільності енергії запалення виявилися порівнянними або меншими відповідних енергій, виміряних при ініціюванні джерелами світла суцільного спектру (табл.). Як і слід було чекати, результати досліджень показують, що чутливість до дії лазерного імпульсу ВР, що ініціюють, значно вища, ніж чутливість вторинних ВР. Іншими словами, загально визнаний ряд чутливості ВР, в основному, корелює з чутливістю до лазерної дії.

З табл. витікає, що чутливість ВР залежить від тривалості лазерного імпульсу. Для усіх досліджених речовин помічено, що збільшення тривалості імпульсу приводить до зростання порогу запалювання [17-20, 23]. На жаль, це питання вивчене недостатньо повно. Тільки у роботі [19] проведений вимір порогової щільності енергії ініціювання азиду свинцю при плавній зміні тривалості імпульсу в діапазоні (7,5-100) нс. Експеримент показав, що збільшення тривалості дії призводить до підвищення порогу запалювання. Вказаному діапазону зміни тривалості дії відповідає діапазон щільності енергії 50-300 Дж/м².

Створені потужні лазерні системи значно розширили діапазон ВР, потенційно чутливих до дії лазерного випромінювання. Дослідження показали, що флегматизований ТЕН може бути ініційований імпульсом неодимового лазера тривалістю 4 нс з щільністю енергії 10^7-10^8 Дж/м² [18]. У цій роботі запропонований наступний механізм ініціювання: в результаті абляції матеріалу в твердій речовині збуджується ударна хвиля, що переходить в детонаційну. Результати досліджень підтвердили зроблений раніше [9] висновок про те, що витрати лазерної енергії на випар і розліт речовини є потужним джерелом енергетичних втрат в процесі лазерного ініціювання бризантних вибухових речовин.

Таблиця 1 – Критичні щільності енергії запалення деяких ВР, що ініціюють

Найменування ВР	Довжина хвилі випромінювання λ , мкм	Тривалість імпульсу τ , с	Порогова щільність енергії $E_{кр}$ Дж/см ²	Коментар	Джерело інформації
1	2	3	4	5	6
Азид срібла	1,06	10^{-3}	2,1	Вільна поверхня; тиск пресування $P_{пр} = 5 \cdot 10^7$ Па	[17]
Азид кадмію	-"	$5 \cdot 10^{-3}$	0,015		
Азид кадмію	-"	10^{-3}	4,0		
Гримуча ртуть	-"	$5 \cdot 10^{-8}$	1,0		
ТНРС	-"	$5 \cdot 10^{-8}$	0,4		
ТНРС	-"	10^{-3}	2,2		
Азид свинцю	-"	10^{-3}	0,8	$P_{пр} = 15 \cdot 10^8$ Па	[18]
Азид свинцю	-"	$3 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-8}$		[19]
Азид свинцю	-"	$6 \cdot 10^{-7}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$		[20]
Азид свинцю	-"	10^{-7}	0,8	Насипна щільність	
β -азид свинцю	0,69	$8 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	монокристали 40 мкм, 200 мкм і 10 мм	[21]

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
ТЕН	"-	$4 \cdot 10^{-9}$	$4 \cdot 10^{-2}$	Тиск притиснення: $P_{BH} = 20 \cdot 10^8$ Па	[22]
ТЕН	"-	"-	10^{-3}	$P_{BH} = 10^7$ Па	
ТЕН	0,69	$3 \cdot 10^{-8}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$P_{BH} = 14 \cdot 10^6$ Па	
ТЕН	"-	$3 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^3$	$P_{BH} = 10^7$ Па	
Октоген	0,69	"-	15		
Гексоген	"-	"-	30		
Піроксилін	1,06	"-	60		
$0,45\text{Si}+0,55\text{P}_3\text{O}_4$	"-	10^{-3}	10,6		
"-	"-	10^{-3}	2,9		
$0,25\text{Al}+0,75\text{KClO}_4$	"-	10^{-3}	6,6		
"-	"-	$2 \cdot 10^{-8}$	5,0		
					[23]

Методики досліджень.

У роботі використано методологію експериментальних і теоретичних досліджень, математичне моделювання з використанням рівнянь газової динаміки.

Мета досліджень.

Метою досліджень є проведення досліджень фізико-хімічних особливостей механізму стимулювання ВР імпульсним випромінюванням оптичного квантового генератора.

Виклад основного матеріалу та обговорення результатів.

Напівпростір $x \geq 0$ зайнятий ТЕНом, на який падає випромінювання постійної інтенсивності q . Напівпростір $x < 0$ – вакуум. В процесі ініціювання коефіцієнти поглинання K і відбивання A вважаються постійними.

Поглинання енергії відбувається за експоненціальним законом. Рух хімічно активного середовища, що стискається, описується рівняннями газової динаміки

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial t} - \frac{\partial u}{\partial m} = 0,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(e + \frac{u^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial m} (pu) = q(1-A) \exp(-\alpha m) + QL;$$

хімічної кінетики

$$\frac{\partial a}{\partial t} = -L(a, e);$$

і рівнянням стану

$$P = p(v, e).$$

Тут e, u, p, v, a – внутрішня енергія, швидкість, тиск, питомий об'єм і концентрація ВР відповідно; $\alpha = K_v$ – масовий коефіцієнт поглинання; t – час; m – масова координата; Q – калорійність ТЕНу.

Вираз для L в кінетичному рівнянні застосовувався у формі Арреніуса

$$L = a z \exp(-E_a C_v / R \cdot e_T),$$

де z – предекспонент; E_a – енергія активації; R – газова постійна; e_T – теплова складова внутрішньої енергії.

У розрахунках використовувалося напівемпіричне рівняння стану [20], що описує властивості ТЕНу і продуктів розпаду

$$p = \frac{p_0 c_0^2}{n-k} (y^n - u^k) + \Gamma(y, e_T) \rho e_T.$$

Тут $\Gamma = (1,5 + \frac{dy}{1+by}) (\frac{1+\mu e_T}{1+\epsilon e_T})$ коефіцієнт Грюнайзена; p – щільність ВР; p_0 – початкова щільність; c_0 – швидкість звуку за нормальних умов; c_v – теплоємність; $y = p/p_0$ – стискування; $n = 6,21$, $k = 3,40$, $d = 5,35$, $b = 1$, $\mu = 2,136 \cdot 10^{-3}$ кг/кДж, $\epsilon = 6,4 \cdot 10^{-3}$ кг/кДж – емпіричні константи, отримані з експериментальних даних по ударній стисливості ТЕНу і довідкових даних про його фізико-хімічні властивості.

Розрахунок розшарування на фази проводився за правилом Максвелла. Суміш фаз передбачалася рівноважною, яка описується одношвидкісною моделлю.

В результаті введення безрозмірних змінних були отримані наступні параметри задачі:

$\lambda_1 = \frac{Q_n}{c_0^2}$, $\lambda_2 = \frac{Q}{c_0^2}$, $\lambda_3 = z t_L$ приймалися постійними, а параметри $\delta = q(1-A) \alpha e_T /$

$Q_{\text{д}}$ й $\tau = t_q/t_r$ змінювалися відповідно до зміни q , b , α ; $Q_{\text{д}}$ – теплота випару; t_q – тривалість лазерного імпульсу, $t_r = K^{-1}c_0^{-1}$ характерний час поширення звукових збурень по шару речовини одиничної оптичної товщини.

При $\tau \gg 1$ за час роботи оптичного квантового генератора (ОКГ) хвиля розрідження повністю охопить увесь поглинаючий шар. В цьому випадку зростання теплової енергії в поглинаючому об'ємі обмежується енерговитратами на газодинамічний рух речовини. Якщо $\tau \ll 1$, то хвиля розрідження пошириться по шару ВР оптичної товщини, набагато меншої одиниці. Тому можливе швидке зростання енергії у внутрішніх областях ВР. У розрахунках параметр τ приймався рівним 1-10. Коефіцієнти поглинання деяких ВР, виміряні в роботах [7, 17, 27], потрапляють в інтервал 10^4 – 10^5 м^{-1} , який відповідає вказаному діапазону зміни τ .

У діапазоні $\delta=3$ – 10 можна чекати, що коефіцієнт поглинання ВР в процесі ініціювання буде приблизно постійним.

Результати дослідження та їх обговорення. На рис. 1 представлені залежності часу ініціювання ТЕНу від τ , що відповідають різним значенням параметра δ . Видно, що при постійному δ час ініціювання зростає пропорційно τ , тобто зростання коефіцієнта поглинання ВР при незмінній швидкості енерговведення веде до зростання "газодинамічних витрат, що і передбачалося вище. Крім того, нахил кривих до осі абсцис зменшується зі збільшенням δ . Це означає, що вплив коефіцієнта поглинання (розльоту речовини) в цьому випадку стає менш значим. Таким чином, при збільшенні інтенсивності випромінювання коефіцієнт корисного використання променистої енергії збільшується.

Розвиток в часі процесу ініціювання ТЕНу при $\delta=5$ і $\tau=1$ показано на рис. 2, а. Щільність поглиненої енергії світлового випромінювання $E_{\text{д}}$ і масовий коефіцієнт поглинання α , що відповідають даним δ і τ , рівні відповідно до $19 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$ і $7,59 \text{ м}^2/\text{кг}$.

У момент часу $t=10,8$ нс залежність теплової енергії від оптичної товщини близька до експоненціальної, за винятком поверхневої області, де нахил кривої до осі t дещо знижується. Це пов'язано з витратами внутрішньої енергії на випар і рух речовини.

Подальший нагрів призводить до швидшого зростання енергії внутрішніх областей речовини і ініціювання хімічної реакції усередині ВР. У даному випадку ініціювання відбувається у момент часу $t = 20,6$ нс в площині $m \approx 0,15$.

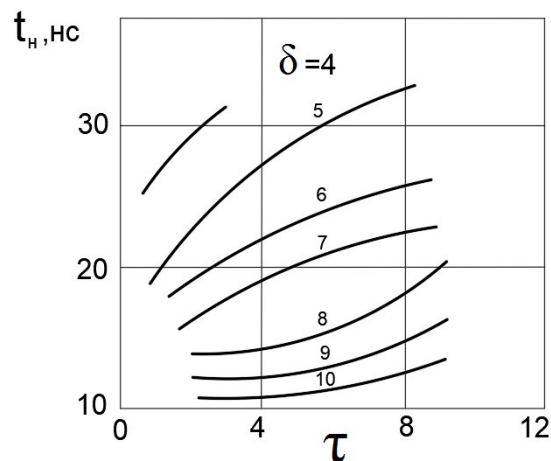


Рис. 1. Залежність часу ініціювання ТЕНу від параметрів δ і τ

При поглинанні світлової енергії утворюється пік тиску з експоненціальним переднім фронтом. На рис. 2, а можна спостерігати рух цього збурення в глибокій речовині, швидкість поширення якого близька до нормальної швидкості звуку. Розвиток хімічної реакції призводить до появи "хімічного" піку тиску (крива Г)

На рис. 2, б показані аналогічні залежності при іншому значенні τ і $E_{\text{д}} = 2,17 \cdot 10^4 \text{ Дж/м}^2$, $\alpha = 68,3 \text{ м}^2/\text{кг}$. Видно, що до моменту часу 10 нс ВР практично не випаровується, тому залежність теплової енергії від оптичної товщини близька до експоненціальної.

Оскільки $\tau \gg 1$, то хвилі розвантаження, що поширюються від меж речовини, що нагрівається, устигають до цього часу знизити тиск в області світлової дії (рис. 2, б, крива 4). Це призводить до зменшення енергетичних витрат на газодинамічний рух, а отже, до подальшого зростання теплової енергії і тиску (див. криві 3). Оскільки швидкість енерговведення на поверхні ВР максимальна, то внутрішня енергія росте дещо швидше, ніж в довколишніх шарах речовини. До кінця світлового імпульсу ($t = 30$ нс) досягнута на поверхні щільність енергії достатня для подальшого самоприскорення хімічної реакції (криві 1,

рис. 2,б). Природно, що "хімічний" пік тиску в даному випадку відсутній. Рух обурення, утвореного в результаті поглинання енергії лазера, на рис. 2, б спостерігати неможливо, оскільки вже до моменту $t = 10$ нс воно поширилося на відстань, що перевищує вказані.

За даними робіт, опублікованих впродовж останніх 10 років, ініціювання ТЕНу при більш високій щільності потоку випромінювання носить такий же характер, як і в розглянутих вище випадках. При малих значеннях δ самоприскорення хімічної реакції не відбувається. Так, наприклад, при $\delta = 4$ ініціювання досягається, якщо $\tau \leq 3$ (рис.

1). При $\tau > 3$ "газодинамічні втрати" гасять розвиток хімічної реакції, попри те, що щільність енергії поглинання за час роботи лазера в 4 рази перевищує теплоту випару. У разі $\delta = 4$ і $\tau = 4$ до моменту часу $t = 30$ нс (кінець дії імпульсу) досягається максимальна щільність енергії в площині $m \sim 0,28$. Надалі тепла енергія і тиск поверхневого шару зменшуються. Пониження щільності енергії в області оптичної товщини $m > 0,6$ відбувається повільніше, ніж в поверхневому шарі. Це пов'язано з тим, що запас енергії недостатній для подальшого випару і розльоту речовини.

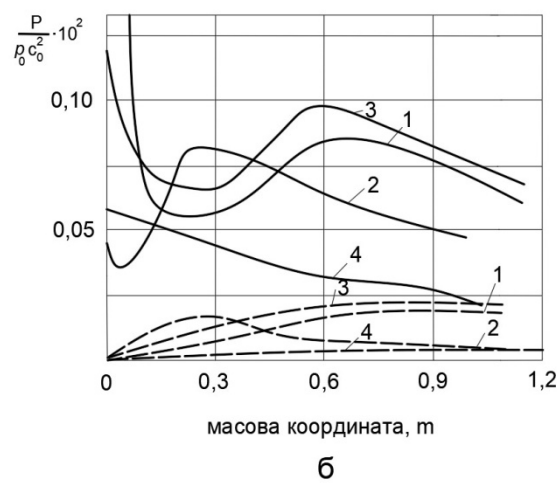
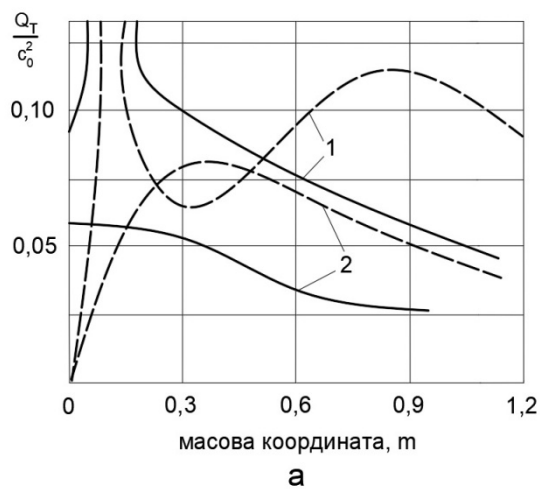


Рис. 2. Еволюція теплової енергії (суцільні лінії) і тиску (штрихові лінії) в поверхневому шарі ТЕНу в процесі лазерного ініціювання:

- а) $\delta=5$, $\tau=1$, t , нс: 1 – 20,6; 2 – 10,8;
б). $\delta=5$, $\tau=9$, нс: 1 – 31,4, 2 – 30, 3 – 20, 4 – 10

З досвіду створення першої у світовій практиці оптичної системи ініціювання [28-30] необхідно враховувати залежність порогу ініціювання від розміру опромінюваної зони (розмірний ефект). Характер відомих залежностей свідчить про існування граничної плями опромінювання, при зменшенні якої порогова щільність енергії запалювання починає зростати, а енергія ініціювання зменшується [31, 32]. При прагненні радіусу лазерного пучка до нуля енергія запалювання прагне до кінцевої значення. Так, наприклад, енергія запалювання пресованого тиском $2 \cdot 10^9$ Па азиду свинцю лазерним пучком $\varnothing 40$ мкм складає 6 мкДж і, практично, не змінюється при подальшому зменшенні діаметру [26]. Цей ефект пояснюється умовами освітлення

в об'ємі вибухової речовини, яка є типовим дифузно розсіювальним середовищем з щільною упаковкою розсіювачів [27, 28].

Важливе значення має питання, що стосується залежності затримки запалювання від величини щільності енергії лазерного випромінювання. Це питання досліджувалося в [32, 35] при вивченні особливостей запалювання азиду свинцю моноімпульсом тривалістю 30 нс. Показано, що при збільшенні щільності енергії затримка запалювання зменшується і при трьох, чотирикратному перевищенні критичної величини стає менше тривалості лазерного імпульсу. Цей факт представляється дуже важливим з практичної точки зору, оскільки він вказує на те, що лазерною дією можна добитися великої точності

спрацьовування заряду ВР [15, 16, 36].

Висновки.

Чисельне моделювання здійснювалося з використанням фізичних параметрів вибухової речовини з імпульсним випромінюванням лазера на неодимовому склі з довжиною хвилі 1,06 мкм. Математична модель дозволяє досліджувати особливості ініціювання вибухового перетворення бризантних вибухових речовин короткими світловими імпульсами. На прикладі ТЕНу показано, що цей процес повністю визначається параметрами, які характеризують інтенсивність випромінювання і поглинальні властивості вибухової речовини. Залежно від значення цих величин можуть бути реалізовані якісно різні процеси ініціювання – на поверхні або у середині речовини. У останньому випадку виділення хімічної енергії призводить до утворення так званого «хімічного» піку тиску. До чинників, що впливають на ініціювання вибухової речовини випромінюванням лазера, часто беруть до уваги початкову температуру зразка вибухової речовини. За даними деяких досліджень відома залежність чутливості вибухової речовини до дії лазерного випромінювання від початкової температури. Експериментально спостерігалось незначне підвищення чутливості зразків азиду свинцю при збільшенні початкової температури на 420 К, якщо використовується лазер в режимі вільної генерації (імпульс до 1 мс). Але у режимі велетенського імпульсу ($\tau = 30$ нс) вплив температури нагріву зразка на чутливість не виявлено

Ця стаття – данина пам'яті про доктора фізико-математичних наук, професора Національного гірничого університету Анатолія Володимировича Черная, який був організатором і безпосереднім виконавцем досліджень, який виказував бажання опублікувати отримані результати.

Список літератури

1. Илюшин М., Шугалей И., Судариков А. Высокоэнергетические металлокомплексы: синтез, свойства, применение. Saarbrücken: LAP LAMBERT academic publishing GmbH&CO.KG, 2017. 268 с.
2. Сазонникова Н. А. Лазерное инициирование детонации высокоэнергетических веществ. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&CO.KG, 2013. 257 с.

3. Взрывная чувствительность композитов тэн-алюминия к действию импульсного лазерного излучения / Каленский А. [и др.]. *Вест. КемГУ*. 2014. № 3-3(59). С. 211–217.
4. Ананьева М. В., Зыков И. Ю. Лазерное инициирование композитов гексоген-алюминий. *Молодой ученый*. 2015. № 9 (89). С. 65–70.
5. Фурегга Р. И., Адуев Б. П., Нурмухаметов Д. Р. Лазерное инициирование смеси тетранитропентаэритрита и энергоемких наночастиц металлов и соединений. *Вест. КемГУ*. 2013. Т. 3, №3 (55). С. 113–116.
6. Митрофанов А. Ю., Зверев А. С., Мальцев Д. А. Влияние рассеяния света в образце на эффективность. *Бутлеровские сообщения*. 2012. Т. 31, № 9. С. 126–129.
7. Боуден Ф., Иоффе А. Быстрые реакции в твердых телах. Москва Иностранная литература, 1962. 244 с.
8. Roth J. Initiation of Lead Azide by High-Intensity Light. *The Journal of Chemical Physics*. 1964. 41. P. 1929.
9. Черная А. В. Об инициировании химической реакции в тэне. *Физика горения и взрыва*. 1982. № 6. С. 48–53.
10. Chernaj A., Sobolev V., Pyushin M. The method of obtaining mechanical loading pulses based on a laser initiation of explosion of explosive coatings. *Fizika Goreniya i Vzryva*. 1994. Vol. 30, No. 2. P. 106–111.
11. Chernaj A. V., Sobolev V. V., Ilyushin M. A. Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating. *Combustion, Explosion, and Shock Waves*. 1994. Vol. 30, No. 2. P. 239–242.
12. Sobolev V. V., Gubenko S. I. Some features of the distribution of elements in the structure of pressure-treated cast iron. *Metal Science and Heat Treatment*. 1995. Vol. 37, No. 11. P. 446–449.
13. Chernaj A. V., Sobolev V. V. Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials. *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*. 1995. No. 5. P. 120–123.
14. On the mechanism of ignition of energetic materials by a laser pulse / Chernaj A. V., Sobolev V. V., Pyushin M. A., Zhitnev N. E., Petrova N. A. *Chemical Physics Reports*. 1996. Vol. 15, No. 3. P. 457–462.
15. Laser initiation of charges on the basis of di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazol)-copper (II) perchlorate / Chernaj A. V., Sobolev V. V., Chernaj V. A., Pyushin M. A., Dlugashek A. *Fizika Goreniya i Vzryva*. 2003. Vol 3. P. 105–110.
16. Laser ignition of explosive compositions based on di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazole)-copper(II) perchlorate / Chernaj A. V., Sobolev V. V., Chernaj V. A., Pyushin M. A., Dlugashek A. *Combustion, Explosion and Shock Waves*. 2003. Vol. 39, No. 3. P. 335–339.
17. Карабанов Ю. Ф., Боболов Б. К. Зажигание инициирующих взрывчатых веществ импульсным лазерным излучением. *Доклады АН СССР*. 1981. Т. 256, № 5. С. 1152–1154.
18. Александров Е. И., Вознюк А. Г. Иницирование азидов свинца лазерным излучением. *Физика горения и взрыва*. 1978. Т. 14, № 4. С. 86–91.
19. Александров Е. И., Ципилев В. П. Исследование влияния длительности возбуждающего импульса на чувствительность азидов свинца к действию лазерного излучения. *Физика горения и взрыва*. 1984. Т. 20, № 6. С. 104–108.

20. Бриш А. А., Галеев И. А., Зайцев Б. Н. Возбуждение детонации конденсированных ВВ излучением оптического квантового генератора. *Физика горения и взрыва*. 1966. Т. 2, № 3. С. 132–133.

21. Hagan J. T., Chaudhri M. M. Low energy laser initiation of single crystals of β -lead azide. *J. Mater. Sci.* 1981. Vol. 16. P. 2457–2466.

22. Карабанов Ю. Ф., Афанасьев Г. Т., Боболев В. К. Зажигание твердых вторичных ВВ коротким импульсом ОКГ. *Химическая физика процессов горения и взрыва. Горение конденсированных систем*. Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1977. С. 5–8.

23. Барановский А. М. Зажигание пресованных смесевых составов лазерным излучением. *Физика горения и взрыва*. 1983. № 3. С. 95–96.

24. Иницирование ТЭНа мощным лазерным излучением / Быхало А.И. [и др.]. *Физика горения и взрыва*. 1986. Т. 24, № 4. С. 110–113.

25. Исследование особенностей воспламенения конденсированных сред с поглощающими добавками при концентрированном подводе лучистой энергии / Александров В.Е. [и др.]. *Физика горения и взрыва*. 1983. № 4. С.17–20.

26. Волкова А. А., Куропатенко В. Ф., Першина А. В. Математическое моделирование инициирования ТЭНа лазерным излучением. *Детонация. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах*. Черноголовка: ОИХФ АН СССР, 1978. С. 46–50.

27. Страковский Л. Г., Уляков П. И., Фролов Е. И. Роль испарения в процессе зажигания взрывчатых веществ. *Физика горения и взрыва*. 1980. № 6. С. 59–64.

28. Sobolev V., Chernay A., Studinski N. OPSIN – a new system of blast-hole change blasting in explosives. *5-th International symposium on mine planning and equipment + selection*. San Paulo. Brazil, 1996. P. 441–443.

29. Соболев В. В., Чернай А. В., Кашуба О. И. Новая оптическая система за иницииране на сондажни взривни заряды. *Минно дело и геология*. 1996. № 9. С. 16–18.

30. К вопросу о разработке системы лазерного взрывания зарядов ВВ / Соболев В. В. [и др.] *Высокоэнергетическая обработка материалов*. Днепропетровск: АРТ ПРЕСС, 1997. С. 63–67.

31. Чернай А. В., Соболев В. В. К вопросу о механизме зажигания взрывчатых материалов лазерным моноимпульсом. *Физика и техника высоких давлений*. 1994. № 2. С. 111–115.

32. Ініціювання світлочутливих вибухових речовин вузькими лазерними пучками / Чернай А. В., Соболев В. В., Чернай В.А., Білан Н.В. Матеріали міжнародної конференції “Форум гірників 2007”. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. 2007. С. 168–173.

33. Кириченко А. Л., Куливар В. В., Соболев В. В. Взрывчатые композиты, высокочувствительные к импульсному лазерному излучению. *Вісті Донецького гірничого інституту*. 2017. №2. С. 138–146.

34. Соболев В. В. Использование метода Монте-Карло для решения задачи возбуждения детонации в заряде ВВ лазерным моноимпульсом. *Информационный бюллетень Украинского союза инженеров-взрывников*. 2013. № 1. С. 3–8.

35. Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation / Sobolev V. V.,

Shiman L. N., Nalisko M. M., Kyrychenko O. L. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*. 2017. No. 6. P. 53–60.

36. Илюшин М. А., Судариков А. М., Целинский И.В. Металлокомплексы в высокоэнергетических композициях. Санкт-Петербург: ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2010. 188 с.

References

1. Ilyushin M., Shugaley I., Sudarikov A. (2017), "High-energy metal complexes: synthesis, properties, applications", ["Vysokoenergeticheskiye metallokompleksy: sintez, svoystva, primeneniye"], *Saarbrucken: Lap Lambert academic publishing GmbH&CO.KG*, 268 p. (in Russian).

2. Sazonnikova N. A. (2013), "Laser initiation of detonation of high-energy substances", ["Lazernoye initsirovaniye detonatsii vysokoenergeticheskikh veshchestv"], *Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&CO.KG*, 257 p. (in Russian).

3. Kalensky A. V. et al. (2014), "Explosive sensitivity of PETN-aluminum composites to the action of emulsion laser radiation", ["Vzryvnaya chuvstvitel'nost' kompozitov ten-alyuminiya k deystviyu impul'snogo lazernogo izlucheniya"], *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, No. 3-3(59), pp. 211-214 (in Russian).

4. Ananieva M. V., Zykov I. Yu. (2015), "Laser initiation of hexogen-aluminum composites", ["Lazernoye initsirovaniye kompozitov geksozen — alyuminiy"], *Molodoy uchenyi*, No. 9 (89), pp. 65-70 (in Russian).

5. Furega R. I. Aduyev B. P., Nurmukhametov D. R. (2013), "Laser initiation of mixtures of nitropentaerythritol and energy-intensive nanoparticles of metals and compounds", ["Lazernoye initsirovaniye smesey nitropentaeritrita i energoyemkikh nanochastits metallov i soyedineniy"], *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta*, Vol. 3, No. 3 (55), pp. 113-116 (in Russian).

6. Mitrofanov A. Yu., Zverev A. S., Maltsev D. A. (2013), "Effect of light scattering in a sample on the efficiency of photoinitiation", ["Vliyaniye rassyaniya sveta v obraztse na effektivnost' fotoinitsirovaniya"], *Butlerovskiye soobshcheniya*, Vol. 31, No. 9, pp. 126-129 (in Russian).

7. Bouden F., Yoffe A., (1962), "Fast reactions in solids", ["Byistryie reaktsii v tverdyih telah"], *Moskva: Inostrannaya literatura*, pp. 244 (in Russian).

8. Roth J. (1964), "Initiation of Lead Azide by High-Intensity Light", *The Journal of Chemical Physics*, 41, pp. 1929.

9. Chernaj A. V. (1982) "On the initiation of a chemical reaction in PETN", ["Ob initsirovaniy himicheskoy reaktsii v TENE"], *Fizika gorennya i vzryva*, No. 6, pp. 48-53 (in Russian).

10. Chernaj A. V., Sobolev V. V., Ilyushin M. A., Zhitnik N. E. (1994), "The method of obtaining mechanical loading pulses based on a laser initiation of explosion of explosive coatings", *Fizika Gorennya i Vzryva*, Vol. 30, No. 2, pp. 106-111.

11. Chernaj A. V., Sobolev V. V., Ilyushin M. A., Zhitnik N. E. (1994), "Generating mechanical pulses by the laser blasting of explosive coating", *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, Vol. 30, No. 2, pp. 239-

242.

12. Sobolev V. V., Gubenko S. I. (1995), "Some features of the distribution of elements in the structure of pressure-treated cast iron", *Metal Science and Heat Treatment*, Vol. 37, No. 11, pp. 446-449.

13. Chernaj A. V., Sobolev V. V. (1995), "Laser method of profiled detonation wave generation for explosion treatment of materials", *Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov*, No. 5, pp. 120-123.

14. 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*, Vol. 15, No. 3, pp. 457-462.

15. 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*, Vol. 3, pp. 105-110.

16. Chernai A. V., Sobolev V. V., Chernai V. A., Ilyushin M. A., Dlugashek A. (2003), "Dlugashek, Laser ignition of explosive compositions based on di-(3-hydrazino-4-amino-1,2,3-triazole)-copper(II) perchlorate", *Combustion, Explosion and Shock Waves*, Vol. 39, No. 3, pp. 335-339.

17. Karabanov Yu. F., Bobolev V. K. (1981), "Ignition of initiating explosives by pulsed laser radiation", ["Zazhiganiye initsiiroyuschiy vzryvchatykh veschestv impulsnyim lazernym izlucheniem"], *Doklady AN SSSR*, Vol. 256, No. 5 pp.1152-1155 (in Russian)].

18. Aleksandrov E.I., Voznik A.G. (1978), "Initiation of lead azide with laser radiation", ["Initsirovanie azida svintsa lazernym izlucheniem"], *Fizika goreniya i vzryva*, Vol. 14, No. 4, pp. 86-91 (in Russian)].

19. Aleksandrov E. I., Tsipilev V. P. (1984), "Investigation of the influence of the duration of the exciting pulse on the sensitivity of lead azide to the action of laser radiation", ["Issledovanie vliyaniya dlitelnosti vzbuzhdayushchego impulsa na chuvstvitelnost azida svintsa k deystviyu lazernogo izlucheniya"], *Fizika goreniya i vzryva*, Vol. 20, No. 6, pp.104-109 (in Russian)].

20. Brish A. A., Galeev I. A., Zaytsev B. N. (1966), "The initiation of detonation of condensed explosives by radiation from an optical quantum generator", ["Vzbuzhdeniye detonatsii kondensirovannykh VV izlucheniem opticheskogo kvantovogo generatora"], *Fizika goreniya i vzryva*, Vol. 2, No. 3. pp. 132-133 (in Russian)].

21. Hagan J. T., Chaudhri M. M. (1981), "Low energy laser initiation of single crystals of β -lead azide", *J. Mater. Sci.*, Vol. 16, P. 2457-2466.

22. Karabanov Yu. F., Afanasev G. T., Bobolev V. K. (1977), "Ignition of solid secondary explosives by a short laser pulse OKG", ["Zazhiganiye tverdykh vtorychnykh VV korotkim impul'som OKG"], *Khimicheskaya fizika protsessov goreniya i vzryva. Goreniye kondensirovannykh system, Chernogolovka, OIHF AN SSSR*, pp. 5-8 (in Russian)].

23. Baranovskiy A.M. (1983), "Ignition of pressed mixture formulations by laser radiation", ["Zazhiganiye pressovannykh smesevykh sostavov lazernym izlucheniem"], *Fizika goreniya i vzryva*, No. 3, pp. 95-96 (in Russian)].

24. Bykhalo A.I. et al. (1986), "Initiation of the PETN by strong laser radiation", ["Initsirovaniye tena

moshchnym lazernym izlucheniem"], *Fizika goreniya i vzryva*, Vol. 24, No. 4, pp.110-113 (in Russian)].

25. Aleksandrov V. E. et al. (1983), "Investigation of the peculiarities of ignition of condensed media with absorbing additives by the concentrated supply of radiant energy", ["Issledovaniye osobennostey vosplamneniya kondensirovannykh sred s pogloshchayushchimi dobavkami prikontsentrirovannom podvode luchistoy energii"], *Fizika goreniya i vzryva*, No. 4, pp. 17-20 (in Russian)].

26. Volkova A. A., Kuropatenko V. F., Pershina A. V. (1978), "Mathematical modeling of the initiation of the tan by laser radiation", ["Matematicheskoye modelirovaniye initsirovaniya tena lazernym izlucheniem"], *Detonatsiya. Kriticheskiye yavleniya. Fiziko-khimicheskiye prevrashcheniya v udarnykh volnakh, Chernogolovka: OIHF AN SSSR*, pp. 46-50 (in Russian)].

27. Strakovsky L. G., Ulyakov P. I., Frolov E. I. (1980), "The role of evaporation during the ignition of explosive", ["Rol' isparennya v protsesse zazhiganiya vzryvchatykh veshchestv"], *Fizika goreniya i vzryva*, No. 6, pp. 59-64 (in Russian)].

28. Sobolev V., Chernai A., Studinski N. (1996), "OPSIN – a new system of blast-hole change blasting in explosives", *5-th International symposium on mine planning and equipment + selection. San Paulo, Brazil*. pp. 441-443.

29. Sobolev V. V., Chernai A. V., Kashuba O. I. (1996), "The new optical system for initiating drilling explosive charges", ["Novaya opticheskaya sistema za initsirovanie na sondazhni vzrivni zaryady"], *Minno delo i geologiya*, No. 9, pp.16-18 (in Bulgarian)].

30. Sobolev V. V. et al. (1997), "To the question of the development of a laser explosion system for explosive charges", ["K voprosu o razrabotke sistemy lazernogo vzryvaniya zaryadov VV"], *Vysokoenergeticheskaya obrabotka materialov. Dnepropetrovsk: Art Press*, pp.63-67 (in Russian)].

31. Chernai A. V., Sobolev V. V. (1994), "To the question of the mechanism of ignition of explosive materials by a laser monopulse", ["K voprosu o mekhanizme zazhiganiya vzryvchatykh materialov lazernym monoimpul'som"], *Fizika i tekhnika vysokikh davleniy*, No. 2, pp.111-115 (in Russian)].

32. Chernai A. V., Sobolev V. V., Chernai V. A., Bilan N. V. (2007), "Initiation of photosensitive explosives with narrow laser rays", ["Initsiyuvannya svitlochutlyvykh vybukhovykh rehovyn vuz'kymy lazernymi puchkami"], *Materialy mizhnarodnoyi konferentsiyi "Forum hirnykiv – 2007", Dnipropetrovsk: Natsionalnyi himichiy universitet*, pp. 168-173 (in Ukrainian)].

33. Kirichenko A. L., Kulivar V. V., Sobolev V. V. (2017), "Explosive composites, highly sensitive to pulsed laser radiation", ["Vzryvchatyye kompozity, vysokochuvstvitel'nyye k impul'snomu lazernomu izlucheniyu"], *Visti Donets'koho hirnychoho instytutu*, No. 2, pp. 138-146. (in Russian)].

34. Sobolev V. V. (2013), "The use of the Monte Carlo method for solving the problem of exciting detonation in an explosive charge by a laser monopulse", ["Ispol'zovaniye metoda monte-karlo dlya resheniya zadachi vzbuzhdeniya detonatsii v zaryade VV lazernym monoimpul'som"], *Informatsionnyy byulleten' Ukrainskogo soyuza inzhenerov-vzryvnikov*, No. 1, pp. 3-8 (in Russian)].

35. Sobolev V. V., Shyman L. N., Nalisko M. M. Kyrychenko O. L. (2017), "Computational modeling in research of ignition mechanism of explosives by laser radiation", *"Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu"*, No. 6, pp. 53-60.

36. Pyushin M. A., Sudarikov A. M., Tselinsky I. V. (2010), "Metal Complexes in Energetic

Formulations". A.S. Pushkin Leningrad State University, St. Petersburg ["Metallokompleksy v vysokoenergeticheskikh kompozitsiyakh. Sankt-Peterburg: LGU im. A. S. Pushkina"], pp. 188 (in Russian)].

Надійшла до редакції 03.06.2018

Рецензент д-р. техн. наук, проф. С.В. Подкопаєв.

Зазимко Віталій Іванович кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та будівництва Донецького національного технічного університету (м. Покровськ Донецької обл., пл. Шибанкова, 2).

E-mail: velo1947@ukr.net

Кулівар Вячеслав Вячеславович, аспірант кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро 49005, пр. Д. Яворницького, 19).

E-mail: kulivarslavik@gmail.com

О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ТЕЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В ЗАРЯДАХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ, ВОЗБУЖДЕННЫХ СВЕТОВЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Целью работы является проведение исследований физико-химических особенностей механизма стимулирования взрывчатых веществ импульсным излучением оптического квантового генератора.

Методика исследований. В работе использована методология экспериментальных и теоретических исследований, математическое моделирование с применением уравнений газовой динамики.

Результаты. Проведен анализ основных результатов, полученных в области исследования чувствительности взрывчатых веществ, которые инициируют импульсным световым излучением. В исследованиях инициирования взрывчатого превращения бризантных взрывчатых веществ наносекундными лазерными импульсами использованы теоретические оценки физических параметров. Численное моделирование осуществлялось с учетом реального процесса зажигания взрывчатого вещества ϵ импульсным инфракрасным излучением лазера.

Научная новизна. Математическая модель позволяет исследовать особенности инициирующего взрывчатого превращения бризантных взрывчатых веществ короткими световыми импульсами. На примере ТЕНа показано, что этот процесс полностью определяется параметрами, которые характеризуют интенсивность излучения и поглощающие свойства взрывчатого вещества. В зависимости от значения этих величин могут быть реализованы качественно разные процессы инициирования – на поверхности или в середине вещества. В последнем случае выделение химической энергии приводит к образованию так называемого «химического» пика давления. К факторам, которые влияют на инициирование излучением лазера, часто принимают во внимание начальную температуру образца взрывчатого вещества. Установлено, что начальная температура (до 420 K) на примере азида свинца не влияет на повышение чувствительности ВВ в случае, когда излучение лазера осуществляется в наносекундном режиме.

Практическое значение полученных результатов используется при разработке светочувствительных композиций с заранее заданными взрывчатыми и физико-химическими свойствами, которые имеют определенные ограничения по условиям применения.

Ключевые слова: взрывчатые вещества, лазер, импульсное излучение, чувствительность, инициирование детонации.

Зазимко Віталій Іванович кандидат технічних наук, доцент кафедри геодезії та будівництва Донецького національного технічного університету (г. Покровськ Донецької обл., пл. Шибанкова, 2).

E-mail: velo1947@ukr.net

Кулівар Вячеслав Вячеславович, аспірант кафедри будівництва, геотехніки і геомеханіки, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (г. Дніпро, 49005, пр. Д. Яворницького, 19).

E-mail: kulivarslavik@gmail.com

ABOUT SOME FEATURES OF RUNNING CHEMICAL REACTIONS IN EXPLOSIVES CHARGES EXCITED BY A LIGHT PULSE

The purpose of the work is realization of researches of physical and chemical features of explosives stimulation mechanism with the help of impulse radiation of optical quantum generator.

Methodology of researches. Methodology of experimental and theoretical researches as well as mathematical design with the use of equalizations of gas dynamics are used in the work.

The results. There is conducted the analysis of the basic results, got in area of research of sensitiveness of explosives that is initiated by impulse light radiation. The theoretical estimations of physical parameters are used in researches of initiation

of explosive transformation of brisant explosives with the help of nanosecond laser impulses. A numeral design was carried out taking into account the real process of lighting of explosive with the help of impulse infrared laser radiation.

Scientific novelty. *A mathematical model allows to investigate the features of initiating explosive transformation of brisant explosives with the help of short light impulses. The pattern of PETN shows that the process is fully determined by parameters, characterizing intensity of radiation and absorptive properties of the explosive. Depending on the value of these data there can be realized qualitatively different processes of initiation on a surface or in the middle of the substance. In the last example the isolation of chemical energy results in formation of the so-called chemical peak of pressure. To the factors that influence initiation with the help of laser radiation, the set temperature of the explosive sample is often taken into account. It is set that a set temperature (to 420 K) on the lead azide sample does not influence the sensitiveness of the explosive in the case when the radiation of laser is carried out in the nanosecond mode.*

Practical value *of these results is used for the development of photosensitive compositions with the set explosive as well as physical and chemical properties that have certain limitations according to the terms of application.*

Key words: *explosives, laser, impulse radiation, sensitiveness, initiation of detonation.*

V. Zazimko – candidate of technical sciences, associate professor the Department of Geodesy and Construction of Donetsk National Technical University (2, Shybankova Square, 85300 Pokrovsk Donetsk Region).

E-mail: velo1947@ukr.net .

V. Kulivar – postgraduate student of the department of construction, Geotechnics and Geomechanics, National Technical University Dnipro Polytechnic (49005, Dnipro, D.Yavornitskogo Ave, 19).

E-mail: kulivarslavik@gmail.com