

## ВИСНОВОК

Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» щодо дисертації **Кулівара Вячеслава Вячеславовича** на тему: «**Обґрунтування параметрів елементів лазерних систем ініціювання вибуху з використанням світлоочутливих композитів при руйнуванні гірських порід**», поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 184 «Гірництво», затверджену Вченовою Радою Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» від 13 лютого 2020 р., протокол № 2.

Із застосуванням вибухових технологій гірничодобувними підприємствами в середньому видобувається близько 70% всієї маси корисних копалин. У цілому ж гірнича промисловість є основним споживачем вибухових речовин, енергонасичених конденсованих систем і засобів підривання різного призначення.

Сучасні вимоги до ефективності руйнування гірських порід, безпеки і прецизійності виконання вибухових робіт обумовлюють необхідність створення нових засобів ініціювання зарядів вибухових речовин, менш небезпечних первинних ВР, систем ініціювання зарядів вибухових речовин з великим фізичним потенціалом, безпечних у поводженні та під час монтажу підривної мережі, систем, які базуються на нових фізичних принципах. Однією з таких систем, що мають високу стійкість до різноманітних електромагнітних дій, є оптична система ініціювання зарядів вибухових речовин.

Лазерне ініціювання забезпечує найвищий рівень ізольованості оптичного детонатора від псевдоімпульсів, що передаються по лінії зв'язку з імпульсним лазером тому, що в оптичному діапазоні відсутні випадкові джерела з потужністю, яка є достатньою для підривання детонаторів. Оптичні детонатори не чутливі до електромагнітних наведень і зарядів статичної електрики. Головним елементом лазерної системи ініціювання є світлоочутливі вибухові композити – новий клас ініціюючих вибухових речовин, що входять до складу оптичних детонаторів та інших засобів підривання.

Здобувачем були проаналізовані роботи, які присвячені проблемам ініціювання вибухових речовин лазерним моноімпульсом, та зроблені висновки, що: чутливість світлоочутливих вибухових композитів до дії ініціюючого лазерного моноімпульсу в декілька разів вища за чутливість чистих вибухових речовин; зниження порогу ініціювання світлоочутливих вибухових композитів може бути здійснено збільшенням швидкості введення енергії лазерного випромінювання; при ініціюванні детонації світлоочутливих вибухових композитів слід враховувати розмірний ефект – залежність порогу ініціювання від геометрії лазерного пучка та довжини хвилі випромінювання; штатні ініціюючі вибухові речовини 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 вибухових речовин до лазерного випромінювання, на відміну від вторинних вибухових речовин, проводилися в незначній кількості досліджень; ефективне використання лазерних систем ініціювання зарядів вибухових речовин під час масових вибухів можливе при застосуванні світлоочутливих вибухових композитів.

В процесі роботи були проведені експериментальні дослідження ініціювання детонації світлоочутливих первинних вибухових композитів вузькими пучками лазерного моноімпульсу. Отримані результати, які свідчать, що при зменшенні розмірів лазерного пучка (зони взаємодії) підвищується оптична потужність світлоочутливих вибухових композитів.

Також були проведені дослідження щодо спрацювання лабораторного зразку оптичного детонатора та встановлено, що чутливість дослідженого світлоочутливих вибухових композитів 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.

У роботі 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.

**Наукові результати та їх новизна полягають у наступному:**

- отримала подальший розвиток чисельна модель поширення лазерного випромінювання і об'єму світлоочутливого 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;
- уперше експериментально встановлено, що зменшення товщини зразків СВК на основі азиду свинцю від 1 мм (як і зменшення масової концентрації полімеру) знижує освітленість в об'ємі шару СВК за рахунок втрати фотонів на протилежній границі композиту, тобто частка фотонів стас не задіяною в загальному процесі формування осередків запалювання, що потребує збільшення енергії лазерного випромінювання;
- уперше встановлено, що затримка часу запалювання СВК на основі азиду свинцю в межах (4-50) мкс збільшується при зменшенні значень ( $25\pm2$ ) % масової концентрації полімеру ПМВТ-3М;
- уперше експериментально встановлено, що гарантований підрив первинного СВК на основі азиду свинцю в оптичних детонаторах лазерних систем здійснюється за умов обов'язкового подвійного перевищенння порогової щільноті енергії ініціювання до  $170 \text{ мДж}/\text{см}^2$  при діаметрі пучка 0,5 мм, товщині шару СВК не менше 3 мм, та масової концентрації полімеру ПМВТ-3М 20 %.

**Практичні результати роботи полягають у наступному:**

1. Розроблено експериментальну технологію отримання первинного ініціюючого світлоочутливого вибухового композиту на основі азиду свинцю

для використання в засобах підривання зарядів вибухових речовин лазерними системами.

2. Створено експериментальні зразки оптичних детонаторів миттєвої дії, проведені випробування ініціюючої спроможності за методикою випробування штатного капсуля-детонатора.
3. Рекомендовано при використанні технології отримання світлоочутливих 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.
4. 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.

По дисертації Кулівара В.В. були відзначенні кілька зауважень.

1. В роботі часто використовується термін густина енергії, маючи на увазі поверхневу енергію. Краще було оперувати об'ємною густиною.
2. У роботі більшу увагу приділено розсіянню фотонів, а потрібно було більшу увагу приділити їх поглинанню.
3. Твердження, що хвиля розвантаження є найважливішим фактором запалювання, потребує обґрунтування (хвильові процеси, адіабатне розвантаження речовини і т.п.).
4. При дослідженні фізичного механізму ініціювання не розглянуті процеси у частинках азиду свинцю.
5. Слово дифузійне потрібно писати «дифузне».
6. Наявність потоку електронів потрібно обґрунтувати.
7. Довжина вільного пробігу фотона при розрахунку дорівнює 0,33 мм., відстань між частинками азиду свинцю значно менша.

8. При використанні діафрагми бажано було розглянути дифракцію випромінювання на круглому отворі.

Вищепередені зауваження не принципові і вони не впливають на загальну позитивну оцінку. Дисертація є завершеною кваліфікаційною науковою працею.

Дисертаційна робота Кулівара В.В. «Обґрунтування параметрів елементів лазерних систем ініціювання вибуху з використанням світлочутливих композитів при руйнуванні гірських порід», цілком відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та вимогам п. 9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії затвердженою Постановою Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167.

Вважаємо, що Кулівар Вячеслав Вячеславович заслуговує присудження йому наукового ступеню доктора філософії зі спеціальності 184 «Гірництво».

Голова засідання фахового семінару,  
Завідувач кафедри будівництва,  
геотехніки і геомеханіки,  
доктор технічних наук, доцент  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

С.М. Гапєєв

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри фізики  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

*Курінний* В.П. Курінний

Кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри будівництва,  
геотехніки і геомеханіки  
Національного технічного університету  
«Дніпровська політехніка»

*Іщенко* О.К. Іщенко