

DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2026.01.015

## АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНИХ CO<sub>2</sub> ГРАВЕРІВ ПРИ РІЗЦІ ТА ГРАВІЮВАННІ ДЕРЕВИНИ ТА НЕМЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ

Харун В.Р. [ORCID]

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
к.т.н., доцент, Україна*

**Анотація.** У роботі розглянуто проблеми, що виникають при експлуатації оптичної системи лазерних CO<sub>2</sub> граверів, які широко застосовуються у малому та середньому бізнесі, призначених для різки та гравіювання деревини, фанери, МДФ, акрилу та інших неметалевих матеріалів. Визначено, що основну загрозу якості обробки становлять продукти згорання матеріалів — дим, смоляні випари та тверді частинки, які осідають на оптичних елементах верстата. Проаналізовано чотири основні групи проблем: забруднення та механічне пошкодження дзеркал і фокусуєчої лінзи; порушення юстування оптичного шляху внаслідок вібрацій приводу; неправильна фокусна відстань при зміні товщини матеріалу; термічна деградація антивідбивного покриття лінз при тривалій інтенсивній роботі. Встановлено взаємозв'язок між технічним станом оптичної системи та характерними дефектами гравіювання. Запропоновано комплекс рекомендацій щодо регламентного обслуговування оптичних вузлів для підвищення ресурсу роботи обладнання та стабільності якості обробки.

**Ключові слова:** лазерний гравер, CO<sub>2</sub> лазер, оптична система, дзеркала, фокусуєча лінза, юстування, гравіювання деревини, технічне обслуговування, якість гравіювання.

### Вступ

Лазерні CO<sub>2</sub> гравери набувають широкого застосування в малому та середньому бізнесі для обробки деревини, фанери, МДФ, акрилу, шкіри та інших неметалевих матеріалів. Якість вирізаних або вигравіюваних виробів значною мірою визначається технічним станом оптичної системи верстата. Відповідно до попередніх досліджень автора [1], серед основних експлуатаційних факторів впливу на якість зображення особливе місце посідають: налаштування оптичної системи (фокусна відстань, паралельність лазерного пучка, чистота дзеркал і лінзи) та стан механічної системи переміщення лазерної головки. Проте питання систематичної класифікації

оптичних несправностей і методів їх усунення залишається недостатньо вивченим.

### **Основний матеріал**

Оптична система лазерного CO<sub>2</sub> гравера включає три рефлекторні дзеркала та фокусуючу лінзу із ZnSe (селеніду цинку) або германію. Дзеркала направляють лазерний пучок від трубки до лазерної головки, де лінза фокусує його на поверхню матеріалу. При різці та гравіюванні деревини й неметалів утворюються диміллеві аерозоль, смоляні випари та тверді частинки, які осідають на оптичних елементах.

На основі аналізу [2, 3] та власних спостережень виділено чотири основні групи проблем оптичної системи:

#### **1. Забруднення оптичних елементів.**

Осадження продуктів згорання деревини (смоли, сажі, дрібних частинок) на поверхні дзеркал і лінзи призводить до поглинання частини лазерної енергії. Кожен забруднений елемент зменшує вихідну потужність пучка на 20–40% [2]. Наслідки: неповна прорізка матеріалу, нерівномірна глибина гравіювання, поява темних смуг на зображенні. Рекомендована частота перевірки та очищення — кожні 40–50 годин роботи.

#### **2. Порушення юстування оптичного шляху.**

Вібрації, що виникають при роботі крокових і серводвигунів приводу лазерної головки, з часом призводять до мікрозміщень дзеркал. Навіть незначне відхилення дзеркала спричиняє нерівномірний розподіл потужності лазерного пучка в різних точках робочого поля. Характерна ознака — поява темних горизонтальних смуг на гравіюваному зображенні, описана в [1]. Контроль юстування слід проводити з використанням термопаперу не рідше ніж раз на місяць або після будь-якого механічного втручання в систему.

#### **3. Похибки фокусування.**

Неправильна фокусна відстань є однією з найчастіших причин погіршення якості обробки. При гравіюванні деревини різної товщини зміна положення поверхні матеріалу відносно фокальної точки лінзи призводить до розширення пучка та зниження щільності потужності. Це проявляється у

нечіткості ліній, недостатній глибині різки або надмірному обвуглюванні країв. Для лінз з фокусною відстанню 50,8 мм відхилення на  $\pm 1$  мм вже помітно погіршує якість.

#### 4. Термічна деградація оптичних елементів.

При тривалій або надмірно інтенсивній роботі (понад 70% потужності) лінзи із ZnSe піддаються термічним напругам, що прискорює деградацію антивідбивного покриття. Для потужних CO<sub>2</sub> лазерів діаметр лінзи не рекомендується перевищувати 1,5 діаметра пучка ( $1/e^2$ ), оскільки це збільшує тепловий градієнт між центром і краями елемента [3]. Характерна ознака деградації — поява тонкого помутніння або плям на поверхні лінзи, видимих при огляді під яскравим світлом.

Комплексне усунення вищезазначених проблем включає: регулярне очищення оптичних елементів оптичними серветками зі спеціальними розчинниками (ацетон, ізопропіловий спирт); щомісячне юстування оптичного шляху методом термопаперу; правильне налаштування фокусної відстані для кожного матеріалу; встановлення ефективної системи витяжки та повітряного обдуву зони обробки для захисту оптики від осадження продуктів горіння.

#### Висновки

1. Оптична система лазерних CO<sub>2</sub> граверів є найбільш чутливим до умов експлуатації вузлом при різці та гравіюванні деревини та неметалів через інтенсивне утворення продуктів згорання.

2. Виявлено чотири основні групи оптичних проблем: забруднення, порушення юстування, похибки фокусування та термічна деградація, — кожна з яких має специфічні прояви та методи усунення.

3. Запропонована система регламентного обслуговування оптичних елементів дозволяє суттєво подовжити термін їх служби та підтримувати стабільну якість гравіювання.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Харун В. Р. Визначення факторів впливу на якість гравіювання лазерних CO<sub>2</sub> граверів з скляною та металевою лазерною трубкою // Матеріали конференції з міжнародною участю «Інноваційні технології в промисловості». Івано-Франківськ, 2023. С. 113–115. URL: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1019/> (дата звернення: 20.03.2026).

2. Aeon Laser USA. Why Is My CO<sub>2</sub> Laser Not Cutting? : веб-сайт. URL: <https://shop.aeonlaser.us/a/docs/troubleshooting/why-is-my-co2-laser-not-cutting> (дата звернення: 20.03.2026).
3. SPT Laser. CO<sub>2</sub> Laser Focus Lens – Contamination and Maintenance : веб-сайт. URL: <https://www.sptlaser.net/laser-lens> (дата звернення: 20.03.2026).
4. Hohnholz A., Rettschlag K., Desens M., Taschner P. A., Overmeyer L. Optics and Apparatus for CO<sub>2</sub> and CO Laser Micro-processing // Springer Handbook of Lasers and Optics / ed. F. Träger. Springer Nature, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2\\_4-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2_4-1).
5. Full Spectrum Laser. CO<sub>2</sub> Laser Repair Services or Self-Troubleshooting : веб-сайт. URL: <https://fslaser.com/blog/co2-laser-repair-services-or-selftroubleshooting/> (дата звернення: 20.03.2026).

### **ANALYSIS OF OPTICAL SYSTEM PROBLEMS IN CO<sub>2</sub> LASER ENGRAVERS FOR WOOD AND NON-METAL CUTTING AND ENGRAVING**

V.R. Kharun

**Abstract.** *This paper examines problems of the optical system in CO<sub>2</sub> laser engravers for cutting and engraving wood and non-metallic materials. It is established that combustion products — smoke, resin vapors, and solid particles deposited during processing — are the primary threat to processing quality. Four main problem groups are analyzed: contamination and mechanical damage to mirrors and focusing lenses; optical path misalignment caused by drive vibrations; incorrect focal distance when material thickness varies; and thermal degradation of ZnSe lens coatings under prolonged high-power operation. The relationship between the technical condition of the optical system and characteristic engraving defects is established. Scheduled maintenance recommendations for optical units are proposed to extend equipment service life and ensure consistent processing quality.*

**Keywords:** *CO<sub>2</sub> laser engraver, optical system, mirrors, focusing lens, alignment, wood engraving, non-metal cutting, maintenance, engraving quality.*

### **REFERENCE**

1. Kharun V. R. Vyznachennia faktoriv vplyvu na yakist hraviuvannia lazernykh CO<sub>2</sub> hraveriv z sklianoi ta metalevoiu lazernoiu trubkoiu [Determination of factors influencing the engraving quality of CO<sub>2</sub> laser engravers with glass and metal laser tubes]. Materialy konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu «Innovatsiini tekhnolohii v promyslovosti» [Proceedings of the conference "Innovative technologies in industry"]. Ivano-Frankivsk, 2023. P. 113–115 [in Ukrainian]. URL: <http://www.konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-1019/> (accessed: 20.03.2026).

2. Aeon Laser USA. Why Is My CO2 Laser Not Cutting? [online]. Available at: <https://shop.aeonlaser.us/a/docs/troubleshooting/why-is-my-co2-laser-not-cutting> (accessed: 20.03.2026).
3. SPT Laser. CO2 Laser Focus Lens – Contamination and Maintenance [online]. Available at: <https://www.sptlaser.net/laser-lens> (accessed: 20.03.2026).
4. Hohnholz A., Rettschlag K., Desens M., Taschner P. A., Overmeyer L. Optics and Apparatus for CO2 and CO Laser Micro-processing. In: Springer Handbook of Lasers and Optics / ed. F. Träger. Springer Nature, 2020. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2\\_4-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69537-2_4-1).
5. Full Spectrum Laser. CO2 Laser Repair Services or Self-Troubleshooting [online]. Available at: <https://fslaser.com/blog/co2-laser-repair-services-or-selftroubleshooting/> (accessed: 20.03.2026).