

**О. В. Піонткевич**  
**С. І. Сухоруков**  
**О. В. Сердюк**  
**В. М. Домославський**

## **ПРО ЛАЗЕРНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС НА МАШИНОБУДІВНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ**

Вінницький національний технічний університет

*Проаналізовано географію фірм виробників лазерних установок, що доступні для українського ринку. Область застосування лазерних установок на машинобудівних підприємствах досить широка: термообробка, зварювання, різання, маркування, прошивання отворів, наплавлення та поверхневе легування. Одними з перспективних, точних та продуктивних лазерних установок на машинобудівному підприємстві є лазерний технологічний комплекс. Розглянуто сучасні комплектації лазерних технологічних комплексів, які використовуються на машинобудівних підприємствах. Проведено огляд джерел для створення променя за допомогою діодного лазера, як найбільш розповсюдженого в машинобудуванні методу накачування.*

*Розглянуто переваги застосування лазерних технологічних комплексів на машинобудівному підприємстві. Вказано на особливості експлуатації цього обладнання та потенційні недоліки. Йдеться мова про режими різання, які одночасно залежать від п'яти і більше параметрів налаштування; якості кисню, повітря або захисного газу, що використовується під час різання; температура навколишнього середовища під час експлуатації обладнання; особливості техніки безпеки під час роботи. Запропоновано способи усунення потенційних недоліків.*

*Незважаючи на наявність особливостей експлуатації лазерних технологічних комплексів, вони забезпечують високу якість та продуктивність виготовлення деталей із листового металу на серійному виробництві порівняно з штампувальним обладнанням. Лазерний технологічний комплекс забезпечує обробку листових металів різної товщини, різних зовнішніх габаритних розмірів, в межах робочого столу, та різної марки кольорових та чорних металів, що дозволяє ефективно використовувати його в одиничному виробництві. Також до позитивних якостей лазерних установок можна додати незначні затрати на переналагодження обладнання під випуск нової продукції та невисока собівартість витратних матеріалів.*

**Ключові слова:** лазерний технологічний комплекс, машинобудівне підприємство, листовий метал.

### **Вступ**

На сьогоднішній день область застосування лазерних установок дуже різноманітна: обробка матеріалів та металів, вимірювання та контроль в технологічних процесах, мікроелектроніка та мікрооптика, локація та навігація, маркування матеріалів і виробів, поверхневе очищення, оптичний зв'язок та волоконні технології, адитивні технології, медицина, голографія, реставрація художніх виробів і т. д. Галузь машинобудування теж не відстає від впровадження лазерних технологій та використання лазерних установок. Машинобудівні підприємства використовують лазерні установки для різання металу, прошивання отворів, термообробки, зварювання та маркування, наплавлення та поверхневого легування деталей [1].

Лазер – пристрій, що перетворює різні види енергії (електричну, світлову, хімічну, теплову) в енергію когерентного електромагнітного випромінювання оптичного діапазону. За способом накачування промені лазера бувають: газорозрядні, діодні, хімічні, з оптичним накачуванням, з електронно-променевим накачуванням, з ядерним накачуванням, зі збудженням сонячною енергією та інші. В даний час найбільш поширеними стали діодні лазери (частка діодних лазерів становить 63 %) через їхню невисоку вартість порівняно з іншими видами [2].

На ринку України доступний широкий вибір лазерних установок світових виробників. Зокрема, присутні представництва фірм таких країн як: Китай (Jinan G. Weike Science & Technology Co.; Jinan Bodor Cnc Machine Co.; Jinan Lxshow Laser Manufacture Co.; Beijing Sundor Laser Equipment Co.; Jinan JinQiang Laser CNC Equipment Co.), США (Hytek Tools LLC; Sifsof LLC), Німеччина (Rofin-Sinar Technologies Inc.; Beckhoff New Automation Technology Inc.), Японія (Nissan Tanaka Corporation) та інші [3].

Сучасні машинобудівні підприємства, що потребують точного розкрою листового металу, надають перевагу лазерним технологічним комплексам (ЛТК) на основі діодних джерел для створення променя лазера. ЛТК зазвичай оснащують автоматизованим порталом (маніпулятором) для керування лазером,

пристроями та датчиками для контролю за перебігом технологічних процесів, обладнанням для підготовки технологічних операцій, обладнанням для подачі охолодження та захисного газу, засобами захисту та техніки безпеки, а також системами контролю якості виробів.

*Метою роботи є зробити огляд сучасних комплектацій ЛТК і проаналізувати їхні переваги та недоліки під час експлуатації.*

### Результати дослідження

Розглянуто комплектації ЛТК для установок, що забезпечують розкроювання листового металу (рис. 1). До ЛТК входить: станина з робочим столом та автоматизованим порталом (маніпулятором) для керування лазером; вбудована або окремо розташована шафа з драйверами виконавчих органів, електронікою та джерелом для створення променя лазера; дисплей з клавіатурою та пультом для керування установкою, стабілізатор напруги, кондиціонер для охолодження джерела променя лазера. Крім цього ЛТК пропонують оснащувати змінними робочими столами, а також труборізом на основі автоматизованого порталу, що використовується для розкрою листів металу. Це дозволить підвищити продуктивність ЛТК та розширити номенклатуру оброблюваних деталей.



Рис. 1. ЛТК фірми Jinan G. Weike Science & Technology Co

Станини ЛТК бувають зварними та суцільно литими з чавуну. Станини можуть бути обшиті кожухом, щоб краще відводити використані гази та мікроскопічний пил із зони різання. По центру станини знаходиться робочий стіл, а по боках направляючі по яких рухається автоматизований портал. Робочий стіл ЛТК виконаний із вертикально розташованих смуг із зубцями, щоб рівномірно розміщувати на ньому листи металу та покращувати вентиляцію відходів після різання. Автоматизований портал має можливість рухати лазер в двох напрямках по площині робочого столу, а також вертикально змінювати позиціонування фокусу променя, якщо передбачена функція автофокусу згідно з рельєфністю листового матеріалу (рис. 2).



Рис. 2. ЛТК моделі Raylogic Fiber 1530 LUXE 1500

На сьогоднішній день популярні оптоволоконні джерела на основі діодів таких виробників: nLIGHT Inc. (США), Micro Edge Process Co. (Японія), Maxphotonics Co.; Wuhan Raycus Fiber Laser Tech Co (Китай) та інші. Потужність оптоволоконних джерел визначає товщину листового металу, що піддається обробці. Наприклад, виробник Wuhan Raycus Fiber Laser Tech Co пропонує оптоволоконне

джерело 1,5 кВт, що забезпечує розкрій 14 мм листового металу із конструкційної сталі, або 6 мм листового металу із нержавіючої сталі [4]. Виробники пропонують стандартний ряд набору потужності: 0,5 кВт, 0,75 кВт, 1 кВт, 1,5 кВт, 2 кВт, 3кВт і так далі, шляхом додавання по 1 кВт. Це забезпечується тим, що технологія діодного лазера передбачає блокову систему накопичення потужності. Таким чином можна замінити відпрацьований або ушкоджений блок діодів, де відбувається просідання по потужності під час експлуатації установки.

На рис. 3 показано як серія оптоволоконного джерела визначає його сферу застосування [5]. Вони усі забезпечують різання матеріалів (основна різниця в товщині розрізаного шару), а найбільш універсальне оптоволоконне джерело – це YLS-серія. Найбільш специфічним оптоволоконним джерелом є TLR-серія, що виконує маркування та зварювання. Більш детально про серії оптоволоконних джерел розглянуто нижче.

Сфера застосування	YLS	YLR	YLP	QCW	GLR	GLP	TLR
➤ Абляція			✓			✓	
➤ Відпал	✓				✓		
➤ Пайка з твердим припоєм	✓						
➤ Облицювання	✓						
➤ Різання	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
➤ Термічна обробка			✓		✓	✓	
➤ Свердління	✓		✓	✓		✓	
➤ Глибоке гравірування	✓						
➤ Маркування			✓		✓	✓	✓
➤ Пайка		✓			✓		
➤ Зварювання	✓	✓		✓	✓		✓

Рис. 3. Сфера застосування різних серій оптоволоконних джерел

Абревіатура YLS-серії розшифровується як High Power CW Ytterbium Fiber Laser Systems. Вони є компактними, міцними та ефективними, їхня потужність варіює від 1 кВт до 120 кВт, а коефіцієнт корисної дії від мережі до 40 %. YLS-серія є найдорожчою з розглянутих оптоволоконних джерел.

Абревіатура YLR-серія зашифровує в собі назву Rack Mounted CW Ytterbium Fiber Lasers. Як і попередня серія оптоволоконного джерела має коефіцієнт корисної дії від розетки 40 %, а робочі потужності від 100 Вт до 1,5 кВт. Особливість цієї серії це використання імпульсної модуляції з діапазоном довжини хвилі 1060–1080 нм.

YLP-серія – це конфігурація «Імпульсного волоконного лазера». Ця серія оптоволоконних джерел має широкий діапазон налаштування: тривалість імпульсу від 400 фс до 200 нс, частота повторення імпульсу від 10 кГц до 10 МГц, при тому що потужність варіює від 5 Вт до 100 Вт. Ці функції надають максимальну гнучкість в оптимізації в напрямках забезпечення якості обробки та пропускну здатності.

QCW-серія (Quasi-CW Ytterbium Fiber Lasers) – це оптоволоконні джерела з квазібезперервними хвилями, які якісно виконують процеси точкового та шовного зварювання, свердління, різання. Робоча потужність таких оптоволоконних джерел варіює від 150 Вт до 2 кВт. Однак порівняно з раніше розглянутими оптоволоконними джерелами, його коефіцієнт корисної дії від мережі не перевищує 30 %. Однак, це все одно забезпечує доцільне поєднання компактності та ефективності.

GLR та GLP-серії – це оптоволоконні джерела зеленого спектра (довжина хвилі 532 нм), які мають імпульсний та безперервний характер хвилі, відповідно. Їхня потужність варіює від 10 Вт до 500 Вт. Коефіцієнт корисної дії від мережі становить до 30 %.

Абревіатура TRL-серія – це конфігурація «Тулієвого волоконного лазера» з потужністю до 120 Вт, що працює в діапазоні довжини хвилі 1900–2050 нм. Його типове промислове застосування включає різання та маркування пластику, обробку неметалевих матеріалів. TRL-серія із розглянутих в цій статті є найдешевшою серією оптоволоконних джерел.

Отже, сфера застосування ЛТК, що обумовлена специфікою виробництва, визначають тип серії оптоволоконного джерела, що в свою чергу може суттєво здешевити вартість ЛТК на момент придбання.

Продуктивність роботи ЛТК залежить від площі робочого столу, тобто розмірів листа металу, який можна обробляти. Виробники пропонують комплектації ЛТК з габаритними розмірами робочого столу: 0,6 м × 0,4 м, 0,9 м × 1,3 м, 1,3 м × 1,3 м, 2,5 м × 3 м, 3 м × 1,5 м. Технологічно вигідними є ЛТК із змінними робочими столами для зменшення простою обладнання після розкрою листа. Після зміни робочих столів установка знову працює, а готові вироби без поспіху забирають та розміщують інший

лист металу для обробки. Таким чином можна зменшити простій ЛТК до 30 % часу на одному листі металу (залежить від кількості вирізаних деталей на ньому).

Час та якість обробки листа металу визначається режимами різання: швидкість різання, висота сопла над листом, тиск газу для різання, діаметр сопла, потужність різання, частота різання, час затримки. Для листових металів товщиною більше 2 мм проводять налаштування параметрів врізання за такими ж показниками. Для налаштування режимів різання та врізання розроблені рекомендації від виробників [6]. Однак, на якість різі при налаштованих режимах суттєво впливає якість підготовленого захисного газу (кисню, азоту або повітря), яку потрібно контролювати під час заміни.

На рис. 4, а та б зображено кисневий та азотний балони, відповідно. Кисневі балони використовують для різання чорних металів, щоб збільшити потужність різальної дуги. Зазвичай  $O_2$  в кисневих балонах 99,5 % або 99,7%. Збільшення вмісту  $O_2$  в кисневих балонах призводить до покращення продуктивності роботи. Азотні балони, в свою чергу, використовують для обробки тонкостінних чорних або кольорових металів.  $N_2$  є інертним газом та під час обдування місця дії лазерного променя забезпечує суттєве охолодження. Домішки в азотному балоні зменшують якість різання та спричиняють появу різнокольорової поверхні оброблюваного місця на деталі.

На рис. 4, в показано гвинтовий компресор, який виконує підготовку навколишнього повітря для охолодження зони обробки деталі. Вміст повітря 78 %  $N_2$  та близько 20 %  $O_2$ , що в свою чергу є ефективним поєднанням для обробки тонкостінних чорних металів. Перевагою використання такого компресора є безмежний доступ до стисненого повітря, зменшення часу на обслуговування та заміну балонів під час роботи.



Рис. 4. Підготовка та постачання захисного газу за допомогою: а) кисневих та б) азотних балонів; в) гвинтового компресора

Значний вплив на роботу лазера має температура навколишнього середовища. Виробник не рекомендує працювати при температурах нижче  $10^{\circ}C$ . Нехтування правилом може призвести до утворення конденсату на електроніці та її поломок. Під час роботи за ЛТК було підтверджено, що робоча температура оптоволоконного джерела постійно підтримується в межах від  $18^{\circ}C$  до  $22^{\circ}C$  за рахунок кондиціонера. Робота оптоволоконного джерела при нижчих або вищих температурах призводить до скорочення терміну служби джерела та погіршення якості різання листового металу.

ЛТК оснащений великою кількістю датчиків тиску та датчиків кінцевих положень, що забезпечує контроль за роботою установки та унеможливує виникнення аварійних чи травматичних для оператора ситуацій. Однак, під час роботи ЛТК особливу увагу слід звернути на техніку безпеки. Промислові лазери відносяться до 4 класу лазерної небезпеки, що найбільш небезпечний під час експлуатації лазерних установок. Рекомендації та правила експлуатації лазерного обладнання прописані у відповідних нормативних документах [7, 8]. Підготовка повітря, або використання балонів із киснем чи азотом, теж потребує ознайомлення та дотримання правил охорони праці [9].

### Висновки

Сучасне лазерне обладнання на машинобудівних підприємствах є високо автоматизованим із можливістю забезпечення якості продукції та техніки безпеки під час роботи. Значної популярності набувають лазерні технологічні комплекси для листових металів. Для підвищення продуктивності їх

оснащують змінними робочими столами, а для збільшення номенклатури оброблюваних деталей – встановлюють труборіз. Лазерні технологічні комплекси забезпечують високу продуктивність, точність та якість з можливістю швидкого переналагодження на нову продукцію. Сфера застосування такого обладнання – одиничне та серійне виробництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров, Р. С. Третьяков, *Лазерные аддитивные технологии в машиностроении* под ред. А. Г. Григорьянца. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018, 280 с.
- [2] Л. І. Пупань, *Лазерні технології у машинобудуванні навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання*. Харків: НТУ «ХП», 2020, 109 с.
- [3] О. В. Пionткевич, С. І. Сухоруков, А. Д. Барановський, І. І. Віштак, «Перспективи використання лазерних технологій в машинобудуванні», на *Матеріали І науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*, Вінниця, 10-12 березня 2021 р. [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/12271>.
- [4] *Лазерні верстати для різки металу Gweike Laser Україна* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://gweike.net>.
- [5] *Product guide: Industrial Fiber Lasers for Materials Processing* [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ipgphotonics.com/>.
- [6] *HyIntensity Fiber Laser Інструкція по експлуатації — 80709J*, 3-я редакція, 2012, 242 с.
- [7] ГОСТ ЕН 12626-2006 Безопасность металлообрабатывающих станков. Станки для лазерной обработки.
- [8] ГОСТ 12.4.308-2016 Средства индивидуальной защиты глаз.
- [9] НПА ОП 0.00-1.81-18. Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском.

**Пionткевич Олег Володимирович** – канд. техн. наук, старший викладач кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: [piontkevych@vntu.edu.ua](mailto:piontkevych@vntu.edu.ua)

**Сухоруков Сергій Іванович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: [suhorukov@vntu.edu.ua](mailto:suhorukov@vntu.edu.ua)

**Сердюк Ольга Валентинівна** – канд. техн. наук, доцент кафедри технологій та автоматизації машинобудування, e-mail: [karvatkoolga@ukr.net](mailto:karvatkoolga@ukr.net)

**Домославський Вячеслав Миколайович** – студент групи 2ПМ-20б факультету машинобудування та транспорту, e-mail: [domoslavskislavik8@gmail.com](mailto:domoslavskislavik8@gmail.com)

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

**O. Piontkevych  
S. Suhorukov  
O. Serdiuk  
V. Domoslavskiy**

## About a laser technological complex at mechanical engineering enterprises

Vinnitsia National Technical University

*The geography of manufacturers of laser devices available for the Ukrainian market is analyzed. The field of application of laser systems at mechanical engineering enterprises is quite wide: heat treatment, welding, cutting, marking, piercing, surfacing and surface alloying. One of the most promising, accurate and productive laser systems at a mechanical engineering enterprise is a laser technological complex. The modern configurations of laser technological complexes, which are used at mechanical engineering enterprises, are considered. A review of sources for generating a beam using a diode laser, as the pumping method most widespread in mechanical engineering, is carried out.*

*The advantages of using laser technological complexes at a mechanical engineering enterprise are considered. The features of the operation of this equipment and potential disadvantages are indicated. We are talking about cutting modes, which simultaneously depend on five or more settings; the quality of oxygen, air or shielding gas used during cutting; ambient temperature during equipment operation; safety features during work. Ways to eliminate potential drawbacks are proposed.*

*Despite the presence of peculiarities of operation of laser technological complexes, they ensure high quality and productivity of production of sheet metal parts in mass production compared to stamping equipment. The laser technological complex provides processing of sheet metals of different thicknesses, different external overall dimensions, within the working table, and different brands of non-ferrous and ferrous metals, which allows it to be used effectively in single production. Also, to the positive qualities of laser installations, you can add insignificant costs for reconfiguring the equipment for the production of new products and the low cost of consumables.*

**Key words:** laser technological complex, mechanical engineering enterprise, sheet metal.

**Piontkevych Oleh** – Ph. D. (Eng.), Senior Lecturer of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: [piontkevych@vntu.edu.ua](mailto:piontkevych@vntu.edu.ua)

**Suhorukov Sergiy** – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: [suhorukov@vntu.edu.ua](mailto:suhorukov@vntu.edu.ua)

**Serdiuk Olha** – Ph. D. (Eng.), Assistant Professor of the Department of Technology and Automation of Mechanical Engineering, e-mail: [karvatkoolga@ukr.net](mailto:karvatkoolga@ukr.net)

**Domoslavskiy Viacheslav** – Student of Group 2PM-20b of the Faculty of Mechanical Engineering and Transport, e-mail: [domoslavskislavik8@gmail.com](mailto:domoslavskislavik8@gmail.com)