

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**  
**Факультет робототехніки та штучного інтелекту**  
**Кафедра автоматизації та безпілотних систем**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**ЛАЗЕРНО-КООРДИНАТНА УСТАНОВКА**  
**«TRUMATIC SCC 60»**

**LASER-COORDINATE INSTALLATION**  
**«TRUMATIC SCC 60»**

спеціальність 153 Мікро- та наносистемна техніка  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Мікро- та наносистемна техніка»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи МНТ-41  
**САДОВИЙ Микола Олександрович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
**ДЕНИСЮК Віктор Юрійович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.  
К.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
**ПТАШЕНЧУК Віталій Віталійович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2026 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: комп'ютерних та інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 15 Автоматизація та приладобудування

Спеціальність: 153 Мікро- та наносистемна техніка

Освітня програма: «Мікро- та наносистемна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

д.т.н., професор Повстяной О. Ю.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Садовому Миколі Олександровичу*

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *Лазерно-координатна установка «TRUMATIC SCC 60»*

Керівник роботи: *к.т.н., доцент Денисюк Віктор Юрійович*

затвержені наказом закладу вищої освіти від «31» грудня 2025 р. № 307/01-04

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «25» травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: *тип системи керування: система контурного ЧПК типу CNC TRUMPF на базі пристрою управління Siemens Sinumerik 640Df; робоча зона (мм): в напрямку осі X – 1050, в напрямку осі Y – 600; зона руху (мм) – в напрямку осі X – -12...+25, в напрямку осі Y – -20...+15; максимальний діапазон переміщення (мм): в напрямку осі X – 1200; в напрямку осі Y – 680; максимальна товщина матеріалу (мм): 1,2...2,0; живлення: мережа 220 В, 50 Гц; споживча потужність при різних режимах роботи (кВт): 2,0/2,5/3,0; максимальна потужність лазера в режимі неперервного випромінювання (Вт): 40/60/80/100/200; мережений захист (А): 100; максимальна швидкість позиціонування (мм/хв): паралельно осям – 7200, складний рух – 5000; мінімальна програмована точність переміщення (мм): 0,01; похибка позиціонування (мм):  $\pm 0,1$ ; середній діапазон розкидів під час позиціонування (мм):  $\pm 0,03$ ; тип лазера: Seal CO2 Laser (TLF 1800t); діапазон та вид керування потужністю лазера, % від потужності: 0...100 / ручне або автоматичне; охолодження лазера (температура охолоджуваної рідини, °C): водяне (5...30); габаритні розміри(мм): 1450×1040×1070; маса (кг): 250.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

*Анотація. Вступ. 1. Загальнотехнічна частина. 2. Розрахунково-конструкторська частина.*

*3. Спеціальна частина. Висновки. Список використаних джерел.*

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: *установка лазерна (ВЗ – ф. А1); головка ріжуча (СК – ф. А1); виконавчо-координатний пристрій (СК – ф. А1 та К2 – ф. А1); робочі креслення деталей: діафрагма (ф. А4), кільце різьбове (ф. А4), шків зубчастий (ф. А4), фіксатор (ф. А4), елемент активний (ф. А4), пластина (ф. А4), плата (ф. А3).*

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ                                               | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис         |                  |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                                                      |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| <i>Розділ 1 Загальнотехнічна частина</i>             | <i>Денисюк В. Ю.</i>                      |                |                  |
| <i>Розділ 2 Розрахунково-конструкторська частина</i> | <i>Денисюк В. Ю.</i>                      |                |                  |
| <i>Розділ 3 Спеціальна частина</i>                   | <i>Денисюк В. Ю.</i>                      |                |                  |
| <i>Висновки</i>                                      | <i>Денисюк В. Ю.</i>                      |                |                  |
| <i>Нормоконтроль</i>                                 | <i>Лапченко Ю. С.</i>                     |                |                  |
| <i>Гарант ОП</i>                                     | <i>Пташенчук В. В.</i>                    |                |                  |
| <i>Показник запозичень тексту</i>                    | <b>5,2% / 0,69%</b>                       |                |                  |
| <i>Академічна доброчесність</i>                      | <i>Лапченко Ю. С.</i>                     |                |                  |

7. Дата видачі завдання «08» січня 2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра                    | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | <i>Обґрунтування теми</i>                                        | До 20.01.2026 р.              |          |
| 2.    | <i>Огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>                | До 25.01.2026 р.              |          |
| 3.    | <i>Розділ 1 Загальнотехнічна частина</i>                         | До 01.02.2026 р.              |          |
| 4.    | <i>Розділ 2 Розрахунково-конструкторська частина</i>             | До 15.02.2026 р.              |          |
| 5.    | <i>Розділ 3 Спеціальна частина</i>                               | До 25.02.2026 р.              |          |
| 6.    | <i>Висновки</i>                                                  | До 10.03.2026 р.              |          |
| 7.    | <i>Формування списку використаних джерел</i>                     | До 20.03.2026 р.              |          |
| 8.    | <i>Креслення загального вигляду установки лазерної</i>           | До 01.04.2026 р.              |          |
| 9.    | <i>Креслення кінематичної схеми</i>                              | До 10.04.2026 р.              |          |
| 10.   | <i>Складальне креслення виконавчо-координатного пристрою</i>     | До 20.04.2026 р.              |          |
| 11.   | <i>Складальне креслення основних вузлів</i>                      | До 01.05.2026 р.              |          |
| 12.   | <i>Робочі креслення деталей</i>                                  | До 05.05.2026 р.              |          |
| 13.   | <i>Формування додатків (специфікації)</i>                        | До 10.05.2026 р.              |          |
| 14.   | <i>Нормоконтроль</i>                                             | До 15.05.2026 р.              |          |
| 15.   | <i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>          | До 20.05.2026 р.              |          |
| 16.   | <i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i> | До 25.05.2026 р.              |          |

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (Садовий М. О.)  
 (підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (Денисюк В. Ю.)  
 (підпис) (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Садовий М. О. Лазерно-координатна установка «TRUMATIC SCC 60».  
Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Мікро- та наносистемна техніка». Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків та кресленників.

Робота присвячена аналітичному огляду лазерно-координатної установки «TRUMATIC SCC 60». У ході дослідження проаналізовано технічні характеристики й службове призначення пристрою, його аналоги та фізико-функціональні основи роботи лазерного обладнання.

На основі проведеного аналізу представлено функціональну схему установки для розкрою та оздоблення взуттєвої шкіри, описано взаємодію її елементів та визначено вимоги до експлуатації. Виконано проєктний розрахунок пасової передачі, зокрема вибір і розрахунок приводного зубчастого шківів та паса.

Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні специфіки експлуатації установки при обробці шкіри та визначенні порядку її випробувань. Сформульовано загальні правила й методику перевірки лазерного обладнання, що безпосередньо забезпечує точність і надійність його функціонування.

Ключові слова: лазер, генератор, фокусування, промінь, довжина хвилі, оптика, система керування, ріжуча головка, електромагнітне випромінювання.

|                  |             |                 |               |             |                                                 |                              |             |               |
|------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------------------------------------------|------------------------------|-------------|---------------|
|                  |             |                 |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b>                      |                              |             |               |
| <i>Зм.</i>       | <i>Лист</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                                                 |                              |             |               |
| <i>Розроб.</i>   | Садовий     |                 |               |             | Лазерно-координатна установка «TRUMATIC SCC 60» | <i>Лім.</i>                  | <i>Лист</i> | <i>Листів</i> |
| <i>Перевір.</i>  | Денисюк     |                 |               |             |                                                 | Н                            | 4           | 52            |
| <i>Т. Контр.</i> | Денисюк     |                 |               |             |                                                 | ЛНТУ, каф. АБС<br>гр. МНТ-41 |             |               |
| <i>Н.Контр.</i>  | Лапченко    |                 |               |             |                                                 |                              |             |               |
| <i>Затв.</i>     | Гуменюк     |                 |               |             |                                                 |                              |             |               |

## ANNOTATION

Sadovyi M. Laser-Coordinate Installation «TRUMATIC SCC 60». Manuscript.

Bachelor's qualification work EP «Micro- and Nanosystem Engineering». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

The bachelor's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, appendices and drawings.

The thesis focuses on an analytical review of the TRUMATIC SCC 60 laser coordinate machine. The study analyzes the technical characteristics and intended purpose of the device, its counterparts, and the physical and functional principles of laser equipment operation.

Based on the analysis performed, a functional diagram of the machine for cutting and decorating shoe leather is presented, the interaction of its components is described, and the operational requirements are defined. Furthermore, a design calculation of the belt drive has been carried out, specifically including the selection and calculation of the drive timing pulley and belt.

The practical value of the work lies in substantiating the operational specifics of the machine during leather processing and defining its testing procedures. General rules and a verification methodology for the laser equipment have been formulated, which directly ensures its operational accuracy and reliability.

Keywords: laser, generator (laser source), focusing, beam, wavelength, optics, control system, cutting head, electromagnetic radiation.

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>BP 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

## ЗМІСТ

|                                                                                                               | стор. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ВСТУП .....                                                                                                   | 7     |
| <b>РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА</b>                                                                      |       |
| 1.1 Технічна характеристика та службове призначення установки .....                                           | 9     |
| 1.2 Аналіз існуючих аналогів, критичний огляд літературних джерел                                             | 11    |
| 1.3 Функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу роботи лазерної установки ..... | 15    |
| <b>РОЗДІЛ 2 РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>                                                          |       |
| 2.1 Функціональна схема лазерної установки для розкрою та декоративного оброблення взуттєвої шкіри .....      | 20    |
| 2.2 Принцип роботи лазерної установки, призначення окремих елементів та їх взаємодія .....                    | 21    |
| 2.3 Вибір та розрахунок приводного зубчатого шківa .....                                                      | 27    |
| 2.4 Вибір приводного зубчатого паса .....                                                                     | 28    |
| 2.5 Проектний розрахунок пасової передачі .....                                                               | 29    |
| 2.6 Вимоги, які висуваються до умов експлуатації лазерного обладнання .....                                   | 33    |
| <b>РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА</b>                                                                            |       |
| 3.1 Особливості експлуатації лазерної установки для розкрою та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри ..... | 35    |
| 3.2 Випробування лазерного обладнання .....                                                                   | 37    |
| 3.3 Методика перевірки лазерного обладнання .....                                                             | 39    |
| 3.4 Загальні правила перевірки лазерного обладнання .....                                                     | 40    |
| ВИСНОВКИ .....                                                                                                | 42    |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                              | 44    |

## ВСТУП

Забезпечення високої якості, точності та продуктивності процесів розкрою та декоративного оздоблення матеріалів є критично важливим чинником ефективності сучасного легкого промислового виробництва. Сучасні стандарти автоматизації висувають жорсткі вимоги до координатно-різальних систем, які мають адаптуватися до специфічних властивостей сировини, зокрема взуттєвої шкіри, гарантуючи при цьому максимальну точність геометричних параметрів, швидкість обробки та мінімізацію відходів.

У зв'язку з цим виникає гостра потреба у детальному дослідженні, ефективній експлуатації та метрологічному забезпеченні високотехнологічного лазерного обладнання, здатного стабільно функціонувати в інтенсивних робочих режимах.

Об'єкт дослідження – лазерно-координатна установка «TRUMATIC SCC 60».

Предмет дослідження – конструктивні особливості, розрахунково-кінематичні параметри, умови експлуатації та метрологічні аспекти перевірки лазерно-координатної установки.

Мета кваліфікаційної роботи – комплексне дослідження загальнотехнічних, конструкторських та спеціальних експлуатаційних характеристик лазерно-координатної установки «TRUMATIC SCC 60» для забезпечення ефективного розкрою та декоративного оброблення взуттєвої шкіри.

Для досягнення цієї мети виконують наступні завдання:

- провести аналіз технічних характеристик, службового призначення та існуючих аналогів лазерно-координатних установок;
- дослідити функціональні особливості та фізичні перетворення, які

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

покладено в основу роботи лазерної установки;

– розробити функціональну схему установки для розкрою та декоративного оброблення взуттєвої шкіри, описати її принцип роботи та взаємодію окремих елементів;

– виконати вибір і проєктний розрахунок елементів пасової передачі, зокрема приводного зубчастого шківа та паса;

– визначити вимоги до умов експлуатації та обґрунтувати її особливості при обробці взуттєвої шкіри;

– розробити методику, загальні правила повірки та порядок проведення випробувань лазерного обладнання.

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Технічна характеристика та службове призначення лазерної установки

Лазерна установка серії TRUMATIC SCC60 є обладнанням, яке включає в себе персональний комп'ютер, типу CNC та призначена для порізки та декоративного оздоблення плоских листів шкіри (рис. 1.1) [1, 2]. Ріжучим інструментом у даному випадку є лазерний промінь, який підводиться через систему дзеркал до лазерної головки. Дзеркала та лазерна головка розташовані на рухомих елементах, які в свою чергу дозволяють говорити про те, що лазерна установка працює на «літаючій оптиці» (оптична система регулювання відстані підтримує сталу відстань між вершиною ріжучої головки та заготовкою).



Рисунок 1.1 – Лазерна установка серії TRUMATIC SCC60

Лазерна установка в стандартному виконанні не обладнана системою автоматичної заміни листів шкіри (система автоматичної заміни листів шкіри дозволяє замінювати лист шкіри після обробки на новий;

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

завантаження та розвантаження листів шкіри може здійснюватися паралельно обробці, завдяки цьому час простою верстата зводиться до мінімуму; завантаження листів шкіри може бути автоматизоване за допомогою завантажувального пристрою, яке входить до складу додаткового обладнання).

Технічні параметри лазерної установки серії SCC60 наведено в таблиці 1.1 [3].

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика лазерної установки TRUMATIC SCC60

| № з/п | Назва параметру                                                        | Показник                                                                                       |
|-------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Тип системи керування                                                  | Система контурного ЧПК типу CNC TRUMPF на базі пристрою управління Siemens Sinumerik 640Df [4] |
| 2     | Робоча зона, мм                                                        | в напрямку осі X: 1050<br>в напрямку осі Y: 600                                                |
| 3     | Зона руху, мм                                                          | в напрямку осі X: -12...+25<br>в напрямку осі Y: -20...+15                                     |
| 4     | Максимальний діапазон переміщення, мм                                  | в напрямку осі X: 1200<br>в напрямку осі Y: 680                                                |
| 5     | Максимальна товщина матеріалу, мм                                      | 1,2...2,0                                                                                      |
| 6     | Живлення                                                               | мережа 220 В, 50 Гц                                                                            |
| 7     | Споживча потужність при різних режимах роботи, кВт                     | 2,0/2,5/3,0                                                                                    |
| 8     | Максимальна потужність лазера в режимі неперервного випромінювання, Вт | 40/60/80/100/200                                                                               |
| 9     | Мережений захист (запобіжник), А                                       | 100                                                                                            |
| 10    | Максимальна швидкість позиціонування, мм/хв                            | паралельно осям: 7200<br>складний рух: 5000                                                    |
| 11    | Мінімальна програмована точність переміщення, мм                       | 0,01                                                                                           |
| 12    | Похибка позиціонування, мм                                             | ±0,1                                                                                           |
| 13    | Середній діапазон розкидів під час позиціонування, мм                  | ±0,03                                                                                          |
| 14    | Тип лазера                                                             | Seal CO <sub>2</sub> Laser (TLF 1800t) [4]                                                     |

Продовження таблиці 1.1

| 1  | 2                                                             | 3                                                                  |
|----|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 15 | Діапазон та вид керування потужністю лазера, % від потужності | 0...100 / ручне або автоматичне (на базі програмного забезпечення) |
| 16 | Охолодження лазера (температура охолоджуваної рідини, °C)     | водяне (5...30)                                                    |
| 17 | Габаритні розміри, мм                                         | 1450×1040×1070                                                     |
| 18 | Маса (без балонів), кг                                        | 250                                                                |

TRUMATIC SCC60 доповнює номенклатуру високошвидкісних верстатів фірми TRUMPF. Ідея, яка покладена в основу даного обладнання полягає в наступному: висока продуктивність праці досягається за рахунок поєднання техніки крокового привода з «літаючою оптикою» лазерної головки.

TRUMATIC SCC60 є високошвидкісним верстатом для лазерної порізки та декоративного оздоблення, який обладнано кроковими приводами. Верстат обладнано CO<sub>2</sub>-лазером фірми Siemens, який дозволяє синхронно виконувати обробку за допомогою ріжучої головки.

Завдяки даній концепції верстата в повній мірі використовуються можливості крокових приводів. Дуже високе прискорення, позиціонування та швидкість збільшують продуктивність в багато разів. До числа великих переваг даного виду обладнання можна віднести високу продуктивність під час виготовлення заготовок із тонких листів шкіри, а також можливість гнучкого реагування на швидкі зміни видів та товщини заготовки.

## 1.2 Аналіз існуючих аналогів, критичний огляд літературних джерел

Огляд літературних джерел показав, що лазерні установки для порізки та декоративного оздоблення листової шкіри в процесі експлуатації

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

володіють рядом істотних переваг. Однією з них є швидка та гнучка обробка середніх та великих партій. Лазерний промінь є багатофункціональним інструментом. Його переваги полягають в можливості обробки різних матеріалів як з малою, так і з великою товщиною. Геометрія заготовок та малюнків для оздоблення може бути простою або складною.

Застосування такого устаткування дає можливість прискорити виготовлення виробничого замовлення, переналагодити технологічний процес виготовлення заготовок для взуттєвої промисловості [2, 5]. Скорочення часу переналагодження установки досягається перш за все під час виготовлення середніх та великих партій, незважаючи на товщину матеріалу.

Устаткування даного типу можна застосовувати (з врахуванням зміни оптичного лазера) для нових галузей та видів застосування. Як показує огляд літературних джерел поєднання гнучкості лазера з продуктивністю області його застосування може поширюватись на наступні об'єкти:

- попередні серії та варіанти виробів для електротехнічної промисловості;
- пластинчаті деталі, для виготовлення з'єднувальних пристроїв та освітлювальної апаратури;
- ущільнення (для спеціальних серій);
- елементів гідравлічних та пневматичних пристроїв;
- деталей шасі, які мають багато контурів;
- серійних деталей (передні панелі для приладобудування, тощо).

Вирішальну роль відіграють швидкість та якість різання. Огляд літературних джерел показав, що техніка, яка безпосередньо розроблена для лазерних верстатів, забезпечує найкращі результати лазерної обробки [6, 7]:

- SprintLas – підвищення швидкості обробки, завдяки оптимізації процесу обробки тонколистових матеріалів;

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

– Hi-Las – контроль за чітким виконанням нанесення малюнка на визначену область заготовки;

– PMS (Plasma Monitoring System – система керування плазмою) – слідкує за надійним ходом виконання процесу під час порізки товстих матеріалів;

– обробка товстолистових матеріалів – обробка з високою якістю, застосовується спеціальна техніка підводу, яка забезпечує надійне різання (вирізання дрібних отворів в товстих листах);

– обробка кутів – застосовують петлі та скруглення на кутах;

– Microweld – пристроєм для автоматичного визначення режиму та параметрів обробки;

– Twin-Line – загальна роздільна (контурна) порізка.

В літературі зустрічаються також випадки, коли для швидкості, прискорення та точності виготовлення контуру застосовують лінійні приводи (вздовж осі розташовано постійний магніт). Сила дії магнітного потоку під час зміни струму в обмотці забезпечує високі динамічні властивості та великі приводні зусилля. Дане обладнання володіє дуже високою ступеню точності.

Порівняльна характеристика аналогів подана в таблиці 1.2 [3].

Таблиця 1.2 – Модифікація лазерних установок та їх характеристики

| № з/п                     | Назва параметру             | Лазерна установка               |                                 |                |
|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
|                           |                             | TRUMATIC HSL2505C (рис. 1.2, а) | TRUMATIC HSL4002C (рис. 1.2, б) | TRUMATIC SCC60 |
| 1                         | 2                           | 3                               | 4                               | 5              |
| Робоча зона*              |                             |                                 |                                 |                |
| 1                         | В осях координат X×Y, мм    | 2500×1250                       | 2500×4000                       | 1050×600       |
| 2                         | Вісь Z (DIAS), мм           | 115                             | 115                             | –              |
| Максимальна товщина листа |                             |                                 |                                 |                |
| 3                         | Шкіра, мм                   | 2,0                             | 2,0                             | 2,0            |
| 4                         | Синтетична шкіра, мм        | 0,8                             | 0,8                             | 1,2            |
| Виріб, який оброблюється  |                             |                                 |                                 |                |
| 5                         | Максимальна вага виробу, кг | 5,0                             | 1,6                             | 1,2            |

Продовження таблиці 1.2

| 1                              | 2                                      | 3                                     | 4                                     | 5                                         |
|--------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| 6                              | Макс. розмір виробу, мм                | 2500×1250                             | 2500×4000                             | 1050×600                                  |
| Максимальні швидкості          |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 7                              | Паралельно осям, м/хв                  | 215                                   | 215                                   | 175                                       |
| 8                              | Одночасно, м/хв                        | >300                                  | >300                                  | >225                                      |
| Точність**                     |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 9                              | Мін. переміщення, мм                   | 0,01                                  | 0,01                                  | 0,01                                      |
| 10                             | Відхилення позиції, мм                 | ±0,01                                 | ±0,01                                 | ±0,01                                     |
| 11                             | Середня ширина розкиду для позиції, мм | ±0,03                                 | ±0,03                                 | ±0,03                                     |
| Тип системи керування          |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 12                             | КЧПК-керування                         | TRUMPF,<br>Basis<br>Sinumeric<br>840D | TRUMPF,<br>Basis<br>Sinumeric<br>840D | Siemens,<br>Sinumeric<br>640Df            |
| Ріжучий елемент                |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 13                             | Кількість лазерів, шт                  | 2                                     | 2                                     | 1                                         |
| 14                             | Лазер з високочастотним збудженням     | TLF RF: CO <sub>2</sub><br>(TFL 3200) | TLF RF: CO <sub>2</sub><br>(TFL 3200) | Seal CO <sub>2</sub> laser<br>(TFL 1800t) |
| 15                             | Потужність, Вт                         | 3200                                  | 3200                                  | 1800                                      |
| 16                             | Максимальна потужність                 | +                                     | +                                     | +                                         |
| 17                             | Довжина хвилі, мкм                     | 10,6                                  | 10,6                                  | 10,6                                      |
| 18                             | Мода променя                           | TEM <sub>00</sub>                     | TEM <sub>00</sub>                     | TEM <sub>00</sub>                         |
| Значення витрат лазерних газів |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 19                             | CO <sub>2</sub> , л/год                | 1                                     | 1                                     | 1,2                                       |
| 20                             | N <sub>2</sub> , л/год                 | 6                                     | 6                                     | 4,5                                       |
| 21                             | He, л/год                              | 13                                    | 13                                    | 6                                         |
| 22                             | Газ для різання O <sub>2</sub> , л/год | 500-2000                              | 500-2000                              | 250-500                                   |
| Нормативні параметри           |                                        |                                       |                                       |                                           |
| 23                             | Довжина, мм                            | 6300                                  | 1530                                  | 1450                                      |
| 24                             | Ширина, мм                             | 8900                                  | 5800                                  | 1040                                      |
| 25                             | Висота, мм                             | 2640                                  | 2640                                  | 1070                                      |
| 26                             | Маса, кг                               | 11600                                 | 14000                                 | 250                                       |
| 27                             | Потреба в енергоресурсах, кВт/год      | 38-72                                 | 42-76                                 | 2,0-3,0                                   |
| 28                             | Система охолодження                    | замкнута<br>циркуляційна              | замкнута<br>циркуляційна              | проточно-<br>циркуляційна                 |

\* – на автоматизованих верстатах робоча зона в напрямку осі Z менша на 25 мм;

\*\* – точність виготовлення виробу також залежить від виробу, його попередньої обробки та розмірів листа.



Рисунок 1.2 – Лазерна установка:

а) – серія TRUMATIC HSL2505C; б) – серія HSL4002C

### 1.3 Функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу роботи лазерної установки

Ріжучий та оздоблювальний ефект, який напряду залежить від потужності (1.1), яку генерує вуглекислотний лазер установки, відбувається за рахунок високоінтенсивного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 10,6 мкм.

$$E=h \cdot \nu=(h \cdot c) / \lambda, \quad (1.1)$$

де  $h$  – стала Планка ( $h=6,626 \cdot 10^{-34}$  Дж·с);

$c$  – швидкість світла у вакуумі ( $c=3 \cdot 10^8$  м/с);

$\lambda$  – довжина хвилі випромінювання ( $\lambda=10,6 \cdot 10^{-6}$ ).

У фізичні основи роботи лазера покладено явище вимушеного (індукованого) випромінювання [8]. Суть даного явища полягає у тому, що

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

збуджений атом здатний випромінювати фотон під дією іншого фотона без його поглинання, якщо енергія останнього дорівнює різниці енергій рівнів атома до і після випромінювання (1.2):

$$h \cdot \nu = E_2 - E_1, \quad (1.2)$$

де  $E_2$  та  $E_1$  – енергії збудженого (верхнього) та основного (нижнього) енергетичних рівнів атома відповідно.

При цьому фотон, який випромінюється, когерентний фотону, який викликав випромінювання (є його «точною копією»). Таким чином відбувається посилення світлового потоку. Цим явище відрізняється від спонтанного випромінювання, в якому фотони, які випромінюються, мають випадкові напрямки поширення, поляризацію і фазу.

Ймовірність того, що випадковий фотон викличе індуковане випромінювання порушеного атома, дорівнює ймовірності поглинання цього фотона атомом, який знаходяться в збудженому стані. Тому для посилення світлового потоку необхідно, щоб збуджених атомів в середовищі було більше, ніж незбуджених (даний процес відомий під назвою – інверсія населеності [8]). У стані термодинамічної рівноваги дана умова не виконується (1.3), тому прийнято використовувати різні системи накачування активного середовища лазера (оптичні, електричні, хімічні тощо).

$$N_2 = N_1 \cdot e^{-(E_2 - E_1) / (k_B T)}, \quad (1.3)$$

де  $N_1$ ,  $N_2$  – населеності нижнього та верхнього рівнів;

$k_B$  – стала Больцмана ( $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);

$T$  – абсолютна температура.

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

Для створення лазерної генерації штучно створюють умову інверсії населеності:  $N_2 > N_1$ .

Першоджерелом генерації є процес спонтанного випромінювання, тому для забезпечення надходження нових фотонів необхідно отримати позитивний зворотній зв'язок, за рахунок якого фотони, які випромінюються, викликають наступні акти індукованого випромінювання. Для цього активне середовище лазера поміщається в оптичний резонатор. У простому випадку він являє собою два дзеркала, одне з яких напівпрозоре – через нього промінь лазера частково виходить з резонатора. Відбиваючись від дзеркал, пучок випромінювання багаторазово проходить по резонатору, викликаючи в ньому індуковані переходи. Випромінювання може бути як безперервним, так і імпульсним. При цьому, використовуючи різні прилади (обертові призми, осередки Керра тощо) для швидкого виключення і включення зворотного зв'язку та зменшення тим самим періоду імпульсів, можливим є створення умов для генерації випромінювання дуже великої потужності (так звані гігантські імпульси). Даний режим роботи лазера називають режимом модульованої добротності (1.4):

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot \nu \cdot W / \Delta P, \quad (1.4)$$

де  $W$  – енергія, яка запасена в резонаторі;

$\Delta P$  – потужність втрат енергії за один період коливань (швидка зміна значення  $Q$  від мінімального до максимального і дозволяє згенерувати «гігантський» імпульс).

Генероване лазером випромінювання є монохроматичним (однієї або дискретного набору довжин хвиль), оскільки ймовірність випромінювання фотона певної довжини хвилі більше, ніж близько розташованої, пов'язаної з

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

розширенням спектральної лінії, а, відповідно, і ймовірність індукованих переходів на цій частоті теж має максимум. Тому поступово в процесі генерації фотони даної довжини хвилі будуть домінувати над усіма іншими фотонами. Крім цього, через особливе розташування дзеркал у лазерному промені зберігаються лише ті фотони, які поширюються в напрямку, паралельному оптичній осі резонатора на невеликій відстані від неї, інші фотони швидко залишають обсяг резонатора. Таким чином промінь лазера має дуже малий кут розходження. Нарешті, промінь лазера має строго визначену поляризацію. Для цього в резонатор вводять різні поляризатори, наприклад, ними можуть бути плоскі скляні пластинки, встановлені під кутом Брюстера до напрямку поширення променя лазера (1.5):

$$\tan\theta_B = n_2/n_1, \quad (1.5)$$

де  $n_1$  та  $n_2$  – показники заломлення повітря та матеріалу пластини (скла) відповідно.

Залежно від виду активного середовища і способу його збудження лазери умовно можна розділити на наступні типи: твердотілі, рідинні, газові, напівпровідникові. Кожен тип лазерів має свої особливості, які пов'язані з конструкцією, способом збудження тощо. Окреме місце займають такзвані квантові підсилювачі – лазери, які складаються з активного середовища і системи накачування, але без резонатора. Підсилювач встановлюється на виході лазера; його імпульс викликає індуковану генерацію в активному середовищі підсилювача, що у свою чергу призводить до зростання енергії випромінювання.

Джерелом вимушеного випромінювання в газах є збуджені нейтральні атоми, молекули або слабоіонізована тліючим електричним розрядом плазма.

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

Число електрон-іонних пар, які виникають в стовпі розряду точно компенсує втрати заряджених частинок на стінках газорозрядної трубки. Тому кількість збуджених атомів є сталою, а їх випромінювання як правило безперервним. Оскільки газове середовище є однорідним, та його світловий промінь розсіюється слабо і на виході розходиться дуже мало. Потужність випромінювання газових лазерів залежно від типу і конструкції може складати від міліват до десятків кіловат [6, 9].

Слід зазначити, що сімейство газових лазерів є найчисленнішим.

Лазери на нейтральних атомах. Найбільш поширеними є лазери на суміші гелію і неону (10:1), які створюють неперервне випромінювання червоного спектру ( $\lambda=0,6328$  мкм). До недавня було отримано генерацію понад 450 частот для 34 елементів.

Широке застосування лазерів обумовлене властивостями їх випромінювання – малим розсіюванням променя, монохроматичністю і когерентністю випромінювання. Напівпровідникові лазери використовуються як приціли для зброї та указок, в програвачах компакт-дисків, так і потужні джерела світла в маяках. Газові лазери застосовуються в медичних приладах; геодезичних нівелірах, далекомірах і теодолітах; у метрології – як еталони частоти і часу; для запису голограм. Лазери на фарбниках та інших робочих середовищах використовуються для зондування атмосфери. Потужні технологічні лазери на парах металів і молекулах (в основному на  $\text{CO}_2$ ) – для різання, зварювання та обробки матеріалів [1, 9]. Ексимерні лазери застосовуються в медицині для терапевтичної дії і хірургічного втручання.

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРАХУНКОВО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 2.1 Функціональна схема лазерної установки для розкрою та декоративного оброблення взуттєвої шкіри

Функціональну схему лазерної установки TRUMATIC SCC60 подано на рисунку 2.1, а функціональне призначення складових елементів лазерної установки TRUMATIC SCC60 зведено до таблиці 2.1.

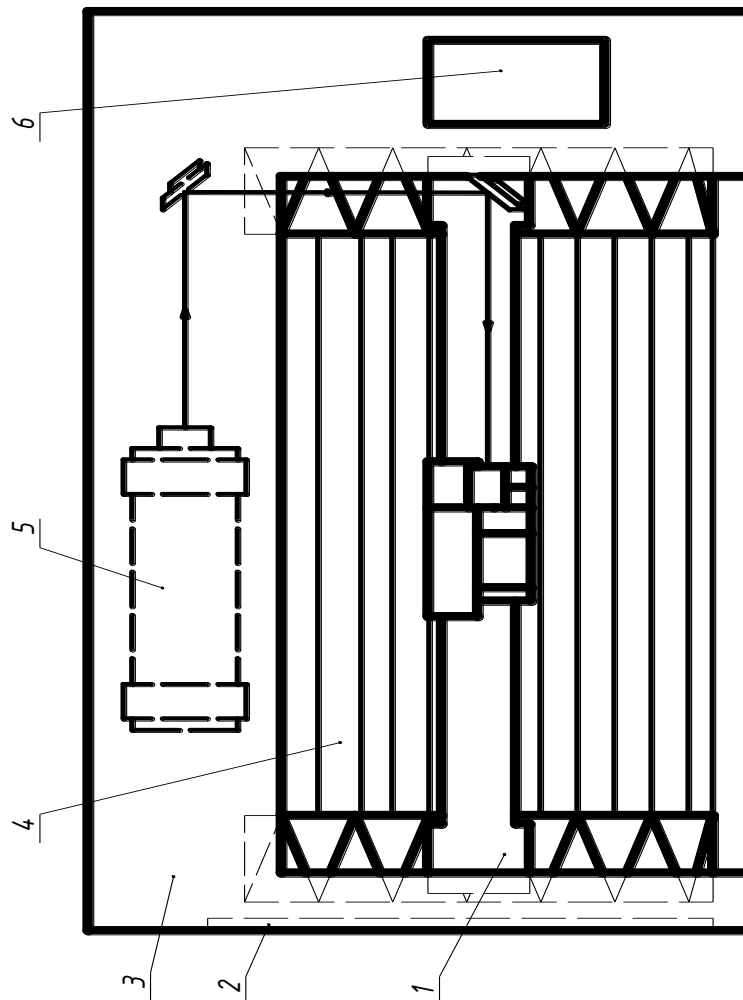


Рисунок 2.1 – Функціональна схема лазерної установки TRUMATIC SCC60:

1 – блок руху; 2 – щит верстата; 3 – станина верстата; 4 – робочий стіл (палета); 5 – лазерний агрегат; 6 – панель керування

| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |
|-----|------|-------------|--------|------|
|     |      |             |        |      |

ВР 505.00.00.000 ПЗ

Лист

Таблиця 2.1 – Функціональне призначення вузлів лазерної установки

| Позиція | Вузол                  | Функція, яку виконує                                                                                                            |
|---------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1       | Блок руху (Х-салазки)  | Переміщення Y-салазок в напрямку Х через передачу кроковий двигун-зубчатий пас                                                  |
|         | Блок руху (Y-салазки)  | Переміщення ріжучої лазерної головки в напрямку Y, за допомогою передачі кроковий двигун-зубчатий пас                           |
| 2       | Щит верстата           | Монтаж системи централізованого змащення, пневматичних елементів керування, ввід ріжучого газу та підготовка стисненого повітря |
| 3       | Станина верстата       | Стальна зварна конструкція, яка обмежує простір обробки та утворює жорстку опору для інших конструктивних елементів             |
| 4       | Робочий стіл (палета)  | Опора для заготовок                                                                                                             |
| 5       | Лазерний агрегат       | Генерація лазерного випромінення                                                                                                |
| 6       | Панель керування       | Центральний блок керування лазерною установкою                                                                                  |
| 7       | Лазерна ріжуча головка | Направлення лазерного променя, затискання лінзи та підвід ріжучого газу, фокусування лазерного променя                          |

## 2.2 Принцип роботи лазерної установки, призначення окремих елементів та їх взаємодія

### 2.2.1 Блок руху

Блок руху складається з двох повздовжніх Y-полозок та однієї поперечної X-полозки на якій закріплено лазерну головку.

X- і Y-полозки переміщуються в лінійних напрямних і приводяться в дію через пасову передачу від крокових двигунів.

Рухи ріжучої головки уздовж осі X також здійснюються за допомогою крокового двигуна, який переміщує ріжучу головку в робочу позицію.

Установка лазерної порізки та декоративного оздоблення шкіри серії TRUMATIC SCC60 типу CNC працюють за принципом "літаючої оптики", яка в свою чергу дозволяє залишатись нерухомими як лазерний агрегат, так і заготовку. Завдяки цьому оптимальними режимами роботи лазерної установки для порізки та декоративного оздоблення шкіри є швидкість обробки та її висока точність (оскільки при цьому переміщуються точновизначені маси).

Робоча зона обмежується програмованими кінцевими вимикачами, а переміщення осей обмежується механічними аварійними вимикачами, які знаходяться поза зоною програмованих кінцевих вимикачів.

### 2.2.2 Витяжний пристрій

Всередині станини установки знаходиться витяжна система, яка складається з чотирьох витяжних. Кожна витяжна камера приводиться в дію залежно від позиції ріжучої головки. Повітря, яке всмоктується, через систему трубопроводів подається в компактний пиловловлювач.

В процесі різання відкриваються стулки тільки тієї витяжної камери, над якою знаходиться ріжуча головка, завдяки цьому потужність витяжної установки концентрується тільки на одну камеру, що забезпечує оптимальну витяжку димових газів і аерозолів.

У пиловловлювачі знаходяться фільтруючі елементи, які здійснюють очищення газоподібних випарів, що виникають під час лазерної порізки. Безперервний цикл очищення забезпечує оптимальне використання фільтрів.

### 2.2.3 Клапан регулювання тиску ріжучого газу

Клапан регулювання тиску ріжучого газу (пропорційний клапан) встановлений під кришкою праворуч від приводу осі Y і забезпечує програмування ступеня тиску газу для порізки по 0,125 бар кожна в діапазоні від 0,3 бар до 20 бар.

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>BP 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

На приладову панель подається вхідний тиск у 27 бар для азоту і 15 бар для кисню. Додатковою функцією, під час процесу порізки або декоративного оздоблення шкіри, є зміна ступеня тиску на 20% від необхідного за допомогою потенціометра, який знаходиться на пульті керування (вбудований в пульт керування цифровий індикатор забезпечує миттєвий контроль тиску газу з точністю 0,1 бар).

Склад газу, який застосовується для підсилення процесу порізки, не впливає на точність регулювання клапана до тих пір, поки забезпечується необхідна його чистота.

#### 2.2.4 Канал ходу променя

Лазерний промінь між резонатором і ріжучою головкою (базова модель) знаходиться в захисному кожусі, що дозволяє запобігти розсіюванню променів та – попаданню димових газів, які утворюються під час різання, в канал ходу променів.

Канал ходу променя, в залежності від лазера, який застосовується передбачає різні конструктивні виконання (табл. 2.2) [3].

#### 2.2.5 Розрядна ділянка

Розрядна ділянка (рис. 2.2) поділена на два рівні, лазерний промінь в яких відхиляється системою дзеркал (US1-US8).

Таблиця 2.2 – Конструктивне виконання каналу ходу променя

| Вид обладнання                                                | Конструктивне виконання                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Верстати з лазерами:<br>TLF 1800t;<br>TLF 2400t;<br>TLF 3000t | Після виходу невидимого лазерного випромінювання з резонатора промінь проходить через дзеркальний телескоп з одним увігнутим й одним опуклим дзеркалами, які в свою чергу відбивають його до фокуса тора на різальній головці. Канал ходу променя має три ступеня фільтрації, які в свою чергу запобігають попаданню в канал сонячних променів, пилу, димових газів та аерозолів. Вентиляція каналу ходу променя здійснюється стислим повітрям. |

Продовження табл. 2.2

| 1                            | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Верстати з лазером TLF 4000t | <p>Після виходу невидимого лазерного випромінювання з резонатора промінь проходить через оптичні елементи, розташовані на бічній стійці установки. При цьому враховуються наступні основні функції каналу ходу променя:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– траєкторія довгого ходу променя повинна передбачати елементи придушення крайових полів лазерного променя;</li> <li>– оптимізація геометрії променя (діаметру променя та зсув його фокуса) здійснюється на базі «довгого» променевого телескопа (розширювальне дзеркало виведення енергії + увігнуте телескопічне дзеркало);</li> <li>– даний канал повинен виконувати, додатково, функцію фазообертача (технологія ECQ).</li> </ul> |

Глухе дзеркало (RS) відображає лазерний промінь. Дзеркало виведення енергії (AS) – напівпрозоре дзеркало – відбиває частину лазерного випромінювання, а інша частина – проходить через нього та є придатним для обробки матеріалу.

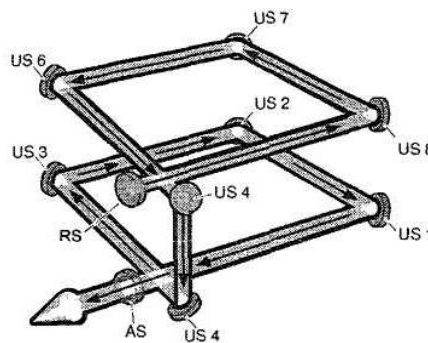


Рисунок 2.2 – Розрядна ділянка [3, 4]

Робочі гази лазера – вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>), азот (N<sub>2</sub>) і гелій (He) підводяться в зону різання від окремих газових балонів, або від системи централізованого газопостачання із змішуванням в одному із блоків газопостачання.

### 2.2.6 Блок автоматичного фокусування AutoLas Plus

AutoLas Plus є пристроєм автоматичної зміни положення фокусу в лазерних установках серії TRUMATIC SCC60. Основним вузлом є дзеркало автоматичного фокусування, поверхня якого цілеспрямовано деформується під дією тиску води, яка його охолоджує.

Системою AutoLas Plus охоплюються обидві описані нижче функції:

- автоматичне узгодження положення фокусу відносно типу та товщини матеріалу;
- компенсація зсуву фокусу спричинену різними ходами променів відбувається по всій робочій зоні.

### 2.2.7 Відцентровий турбонагнітач

Притік газової суміші відбувається зіркоподібно через відцентровий турбонагнітач (рис. 2.3) назовні, на кутові блоки. Повернення нагрітого при лазерному процесі газу відбувається через середні блоки назад у відцентровий турбонагнітач, що дозволяє говорити про ефективне використання робочих газів, які застосовуються у даному виді обладнання.

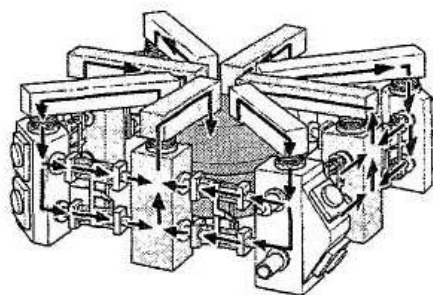


Рисунок 2.3 – Відцентровий турбонагнітач [3, 4]

### 2.2.8 Ріжуча головка

Лазерна ріжуча головка є основним конструктивним елементом обладнання.

Основними складовими частинами даного елемента є тубус з оптичними елементами, який розташовано в корпус ріжучої головки, «ріжуче» сопло, система регулювання відстані та регулювальні гвинти.

Лінза (ZnSe) заломлює паралельні лазерні промені та «збирає» їх у фокус, в якому випромінювання досягає своєї максимальної щільності енергії. Залежно від типу лінзи, яка застосовується, фокусна відстань складає 5" або 7,5". Для досягнення оптимальних результатів обробки фокус повинен бути налаштованим на певну точку поверхні заготовки. Охолодження лінзи здійснюється потоком ріжучого газу, який співвісно лазерному променю підводиться у вільний простір під лінзою.

Через «ріжуче» сопло, яке додатково охолоджується водою (додатково очищеним стислим повітрям), промінь і ріжучий газ підводяться на заготовку для її обробки.

На ріжучій головці може знаходитися захищений кришкою сенсорний блок системи регулювання відстані. Завдяки системі ємкості регулювання відстані DIAS III (Digitales Intelligentes Abstands-System) підтримується сталою відстань між соплом і листом (вісь Z) під час процесу різання.

#### 2.2.9 Система давачів контролю лінзи

Даний тип лазерного обладнання оснащені лазерами TLF 1800t, які в стандартному виконанні мають систему давачів контролю лінзи. За допомогою світлочутливого елемента контролюється інтенсивність світла в ріжучій головці. Коли система давачів розпізнає світловий спалах, устаткування вимикається в автоматичному режимі, що в свою чергу дозволяє запобігти повному руйнуванню лінзи (даного типу лінзи перед остаточним руйнуванням видають світловий спалах). Після спрацювання системи давачів контролю лінзи необхідно визначити, який із факторів вплинув на зупинку обладнання (термічне розкладання або «технологічне світло»).

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>BP 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

У разі термічного розкладання лінзи проводиться її заміна з подальшим очищенням каналу ходу променя.

### 2.3 Вибір та розрахунок приводного зубчатого шківа

Розміри робочої поверхні зубчастого шківа визначають у відповідності до чинних стандартів (рис. 2.4) [10], а інші розміри приймаються конструктивно (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розміри зубчастого шківа

| m, мм | $\gamma_{ш}$ , мм  | $\delta_{ш}$ , мм | $h_{ш}$ , мм  | $S_{ш}$ , мм   | $r_1$ , мм    | $r_2$ , мм     | Z, мм |
|-------|--------------------|-------------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-------|
| 0,5   | $3^{\circ \pm 2'}$ | $0,2^{+0,02}$     | $1,2^{+0,10}$ | $0,75^{+0,15}$ | $0,3^{+0,01}$ | $0,25^{+0,01}$ | 79    |

За рисунком 2.4 визначимо крок приводного шківа (2.1):

$$P = \pi m = 3,14 \cdot 0,5 = 1,57 \text{ мм}, \quad (2.1)$$

де m – модуль зубчастого шківа.

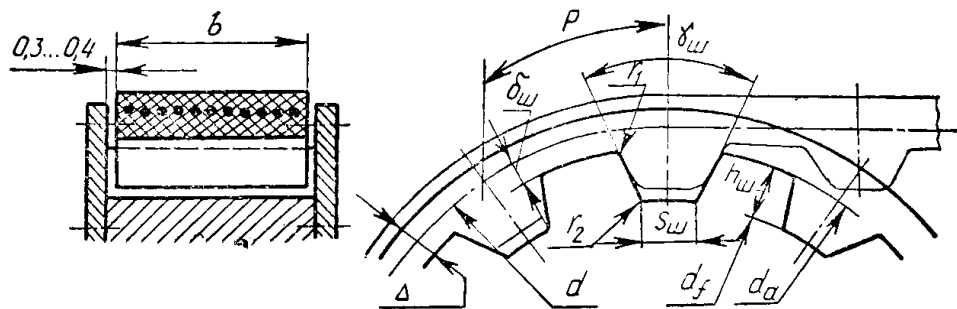


Рисунок 2.4 – Розміри зубчастого шківа

Висота підйому буртика становитиме (2.2):

$$\Delta = m = 0,5 \text{ мм}. \quad (2.2)$$

Визначимо основні конструктивні розміри робочої поверхні шківа (2.3)-(2.5):

$$d=mz=0,5 \cdot 79=39,5 \text{ мм}; \quad (2.3)$$

$$d_a=d+2m=39,5+2 \cdot 0,5=40,5 \text{ мм}; \quad (2.4)$$

$$d_f=d-2,75m=39,5-2,75 \cdot 0,5=38,13 \text{ мм}, \quad (2.5)$$

де  $z$  – число зубів шківа;

$d_a$  та  $d_f$  – діаметри виступів та впадин зубців шківа відповідно.

У відповідності до діаметра виступів зубців приводного шківа призначимо його норми точності (табл. 2.4).

Таблиця 2.4 – Норми точності зубчатого шківа

| $d_a$ , мм | $T_{da}$ , мкм     | $f_{pt}$ , мкм       | $F_p$ , мкм | $F_r$ , мкм |
|------------|--------------------|----------------------|-------------|-------------|
| до 50      | $es=0$<br>$ei=-50$ | $\pm 20$<br>$\pm 22$ | 40          | 50          |

де  $T_{da}$  – відхилення діаметра вершин зубів;

$f_{pt}$  – відхилення кроку;

$F_p$  – допуск накопиченої похибки кроку на 1 оберт;

$F_r$  – допуск радіального биття зубчастого вінця;

$F_\beta$  – допуски напрямку зуба.

Коли  $b \leq 40$  мм, то  $F_\beta = 20$  мкм.

## 2.4 Вибір приводного зубчатого паса

Паси приводні зубчасті виготовляються із гуми або поліуретану, армованих склокордом (позначення У) або металокордом (позначення Т).

Профіль зуба і розміри пасів встановлені чинними нормативними документами.

Розміри робочої поверхні визначаються у відповідності до нормативів (рис. 2.5), інші розміри приймаються конструктивно за аналогією до параметрів шківів плоскопасових передач (рис. 2.4).

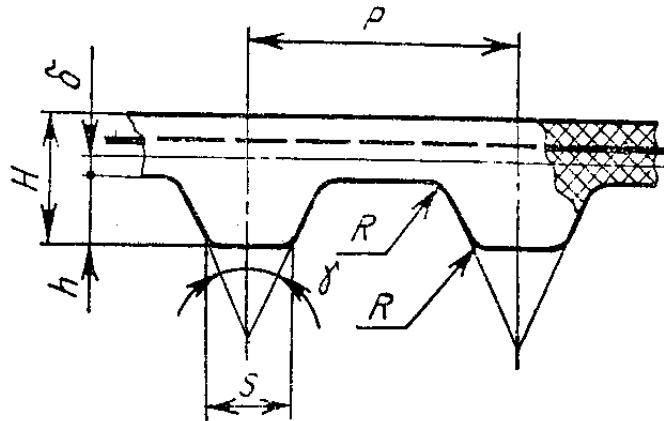


Рисунок 2.5 – Розміри зубчастого пасу [10]

Основні параметри зубчастого пасу зводимо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розміри зубчастого пасу

| m, мм | S, мм | h, мм | H, мм | $\delta$ , мм | $\gamma$ , ° | R, мм | b, мм |
|-------|-------|-------|-------|---------------|--------------|-------|-------|
| 0,5   | 1,0   | 1,0   | 2,2   | $0,2^{+0,02}$ | $3 \pm 2'$   | 0,25  | 15    |

Відповідно до таблиць 2.3 і 2.5 та чинних нормативних документів, які регламентують зубчасті паси, приймаємо пас 0,5-950-15 (ДСТУ ISO 22:2009 [10]) пас приводний плоскозубчастий (модуль 0,5 мм, число зубців/кроків 950, ширина 15 мм).

## 2.5 Проектний розрахунок пасової передачі

При проектних розрахунках задаються значенням радіуса  $r_1$  та  $r_2$  (рис. 2.6). Мінімальний розмір  $r_{\min}$  шківів залежить від товщини гнучкого

колеса та його жорсткості [11]. Для плоских пасів найменший діаметр малого шківів рекомендується приймати  $r_{\min}=(12...25)\delta$ .  $\delta=0,4$  (табл. 2.5). Отже,  $r_{\min}=20\cdot 0,4=8$  мм.

Передаточне відношення механізму становитиме (2.6):

$$i_{12}=r_2/(r_1(1-\varepsilon)), \quad (2.6)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  – розрахункові радіуси шківів;

$\varepsilon=0,005...0,02$  – відносне пружне ковзання паса.

$$i_{12}=20,25/(20,25(1-0,015))=1,02.$$

Окрім розмірів  $r_1$  і  $r_2$  під час геометричних розрахунків необхідно визначити кути обхвату шківів пасом  $\alpha_1$  та  $\alpha_2$ , а також довжину паса  $L$ . Після того як міжосьова відстань  $a$  визначена, з конструктивних міркувань значення  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  та  $L$  можна визначити за формулами (2.7)-(2.9), які отримано з рисунка 2.6 [11]:

$$\alpha_1=\pi-2\theta=\pi-2\arcsin(r_1-r_2)/a\approx\pi-2(r_1-r_2)/a\geq[\alpha_1]; \quad (2.7)$$

$$\alpha_2=\pi+2\theta=\pi+2\arcsin(r_1-r_2)/a\approx\pi+2(r_1-r_2)/a; \quad (2.8)$$

$$L=r_1(\pi-2\theta)+r_2(\pi+2\theta)+2a\cos\theta\approx 2a+\pi(r_1+r_2)+(r_2-r_1)^2/a, \quad (2.9)$$

де  $\theta$  – кут (рис. 2.4);

$[\alpha_1]$  – найменший допустимий кут обхвату малого шківів (для плоских пасів  $[\alpha_1]=(5/6)\pi=2,62^\circ$ ).

$$\alpha_1=3,14-2(20,25-20,25)/850=3,14^\circ.$$

Оскільки  $r_1=r_2$ , то відповідно  $\alpha_1=\alpha_2=3,14^\circ$ .

$$L=2\cdot 850+3,14(20,25+20,25)+(20,25-20,25)^2/850=2027 \text{ мм.}$$

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

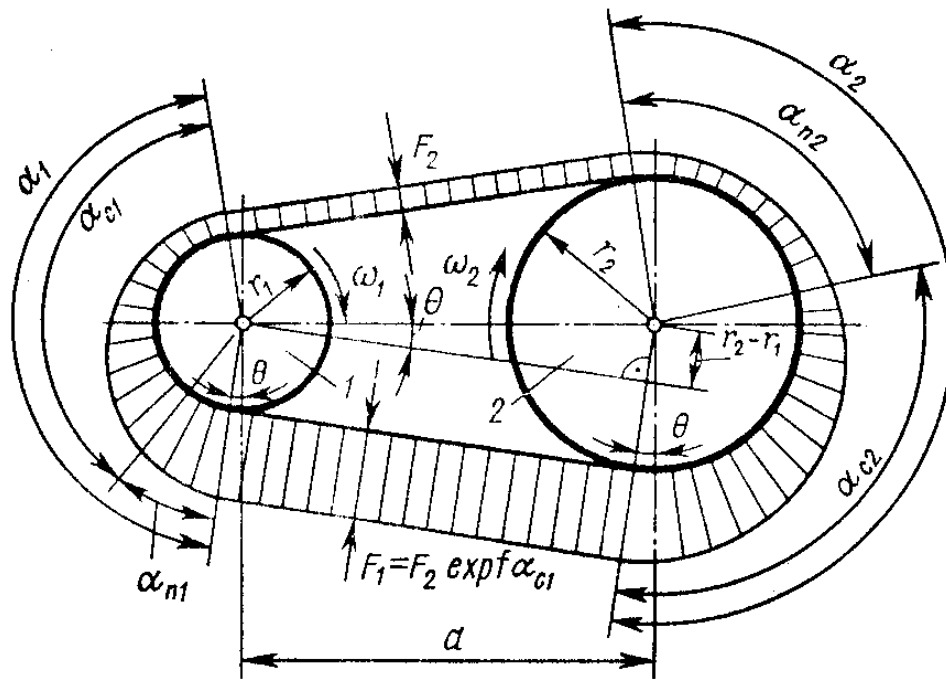


Рисунок 2.6 – Розрахунок зубчатих пасових передач [10]

Для нормальної роботи передачі пас повинен мати початковий натяг  $F_0$ . Коли шків не обертається, обидві вітки паса натягнуті однаково. В процесі передачі енергії натяг ведучої ланки  $F_1 > F_0$ , а ведомої  $F_2 < F_0$ . У випадку граничного навантаження  $F_1$  та  $F_2$  пов'язані виразом Ейлера (2.10):

$$F_1 = F_2 \exp(f \alpha_1), \quad (2.10)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя між шківом і пасом: при орієнтовних розрахунках дозволено приймати  $f = 0,3$ ;

$\alpha_1$  – кут обхвату пасом малого шківа, рад.

Для малонавантажених пасових передач застосовуємо вирази Понселе (2.11):

$$F_1 = F_0 + 0,5F_t; \quad F_2 = F_0 - 0,5F_t, \quad (2.11)$$

де  $F_t = T/r_{\min}$  – передатна колова сила;

$T = P/\omega$  – обертальний момент на ведучому шківі;

$P$  – потужність електродвигуна ( $P = 35$  Вт);

$\omega$  – кутова швидкість ( $\omega = 62,8$  рад/с).

У випадку передач, які працюють за великих навантажень, зв'язок вказаних параметрів більш складний.

Розв'язавши рівняння (2.10) та (2.11), отримаємо найбільшу колову силу (2.12):

$$F_{t \max} = F_2(e^{f\alpha_1} - 1) = 2F_0(e^{f\alpha_1} - 1)/(e^{f\alpha_1} + 1). \quad (2.12)$$

Однак в процесі реалізації такої сили передача працює нестійко, тому зазвичай приймають  $F_t < F_{t \max}$ . При зменшенні сили  $F_t$  в порівнянні з  $F_{t \max}$  натяг паса змінюється тільки в межах кутів дуг ковзання  $\alpha_{k1}$  та  $\alpha_{k2}$ , коли пас ковзає відносно шківів розтягуючись або стискаючись. В межах кутів дуги спокою  $\alpha_{c1}$  та  $\alpha_{c2}$  натяг постійний і ковзання відсутнє (рис. 2.3). Із врахуванням наявності дуг спокою вирази (2.10) і (2.12) приймуть вигляд:

$$F_1 = F_2 e^{f\alpha_{k1}}; \quad (2.13)$$

$$F_1 = 2F_0(e^{f\alpha_{k1}} - 1)/(e^{f\alpha_{k1}} + 1). \quad (2.14)$$

В передачах приладів перевіірочний розрахунок паса не проводять з огляду на малі навантаження. В цьому випадку за відомими геометричними розмірами передачі і значенню момента  $T_1$  на вхідному шківі визначають мінімальний попередній натяг паса  $F_0$ , який забезпечує роботу передачі без пробуксовування. Розрахунок рекомендується вести в наступному порядку: визначають передатну окружну силу  $F_t = T/r_{\min}$ ; за формулою (2.11) знаходять

кут  $\alpha_1$  обхвату малого шківа; кут  $\alpha_{K1}$  дуги ковзання визначають з відношення  $\alpha_{K1} \leq (0,8 \dots 0,85)\alpha_1$ ; необхідний попередній натяг розраховують на основі залежності (2.15):

$$F_0 = 0,5F_t(e^{f\alpha_{K1}} + 1) / (e^{f\alpha_{K1}} - 1). \quad (2.15)$$

Проведемо розрахунки:

$$T = 35/62,8 = 0,56 \text{ Нм}; F_t = 0,56/20,25 = 0,028 \text{ Н}; \alpha_{K1} = 0,85 \cdot 3,14 = 2,66^\circ;$$

$$F_0 = 0,5 \cdot 0,028(e^{0,3 \cdot 2,66} + 1) / (e^{0,3 \cdot 2,66} - 1) = 0,15 \text{ Н};$$

$$F_1 = 0,15 + 0,5 \cdot 0,028 = 0,164 \text{ Н}; F_2 = 0,15 - 0,5 \cdot 0,028 = 0,136 \text{ Н}.$$

Якщо передатне відношення менше одиниці, то в рівняння (2.12) замість кута  $\alpha_{K1}$  підставляють значення  $\alpha_{K2}$ . Щоб ведена ланка паса була натягнута, повинна виконуватись нерівність  $F_0 \geq (0,6 \dots 0,7)F_t$ .

В силових приводах механічних систем проводять розрахунки паса і шківів на міцність.

## 2.6 Вимоги, які висуваються до умов експлуатації лазерного обладнання

Температура в приміщенні де експлуатується дане обладнання повинна знаходитись в межах 15-35°C.

За умови експлуатації обладнання в приміщенні де температура навколишнього середовища перевищує 35°C необхідно встановити кондиціонер.

Точка роси навколишнього повітря повинна бути нижчою 10°C для попередження конденсації вологи на тих частинах механізмів, які охолоджуються.

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

Встановлення лазерної установки відбувається на місці де відсутніми є вібрації.

Деякі випаровування можуть суттєво поглинати лазерне випромінювання та негативно впливати на роботу системи.

Під час контакту випарів з лазерним випромінюванням можливі мікровибухи.

Одним з важливих аспектів є контроль стисненого повітря (робочого газу), яке подається в зону різання. Невиконання вимог специфікації призведе до збоїв роботи установки [12].

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

## РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Особливості експлуатації лазерної установки для розкрою та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри

3.1.1 Вказівки щодо експлуатації лазерної установки для розкрою та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри

Лазерну установку необхідно підключити до електричного роз'єму, який повинен мати контакт для заземлення [13].

Обов'язкове заземлення установки здійснювати у тих випадках, коли її експлуатують в приміщеннях де наявною є і інша апаратура.

Заземлення установки необхідно здійснювати за допомогою мідного провідника з поперечним перетином не менше 2,5 мм<sup>2</sup>.

#### 3.1.2 Контроль технічного стану та технічне обслуговування

Контроль обертання, а відповідно ввімкнення крокових двигунів здійснювати за індикатором ввімкнення та візуально за рухом ріжучої головки лазерної установки.

Контроль системи сигналізації здійснюється за допомогою сигнального пристрою (червона сигнальна лампа та звуковий сигнал зумера).

Не рекомендованим є потрапляння вологи на поверхні установки. Залишки вологи, які потрапили на поверхню лазерної установки, усуваються за допомогою вологопоглинаючої серветки.

Змащення ходової частини установки виконувати машинним мастилом з додаванням 20% MoS<sub>2</sub> не частіше одного разу на рік [13].

3.1.3 Підготовка лазерної установки для розкрою та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри до роботи

Перед використанням лазерної установки її необхідно візуально оглянути на наявність зовнішніх ушкоджень [14].

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

Вилку установки, перед роботою, необхідно встановити в роз'єм із контактом для заземлення.

Ввімкнути, натисненням кнопки, установку. При цьому, на пульті керування повинна загорітись лампа індикації, яка і вказує на електричне живлення виконавчих вузлів.

Контроль за позиціонуванням ріжучої головки, а відповідно і роботи усіх механізмів залежить від програмного забезпечення лазерної установки. Рух виконавчого елемента не повинен виходити за робочі межі.

Регулювання подачі робочого газу (CO<sub>2</sub>), який подається у зону різання, здійснюється на пульті керування відповідним регулятором. Швидкість подачі визначається з режиму роботи та глибини різання лазерної установки (розкрій або оздоблення) [15].

Необхідно слідкувати за тим аби товщина листів взуттєвої шкіри не перевищувала гранично встановлені межі.

Заміна резервуарів із вуглекислотним газом здійснюється перед початком роботи установки. Частота заміни балонів залежить від інтенсивності роботи. Не допустимим є потрапляння оливи на вентиль резервуара з CO<sub>2</sub>.

Перед початком роботи лазерної установки необхідно виконати такі операції у наступній послідовності:

- візуальний огляд лазерної установки та виявлення зовнішніх ушкоджень;
- заміна резервуарів з CO<sub>2</sub> та виявлення внутрішніх ушкоджень установки;
- ввімкнення установки до мережі живлення та її заземлення;
- ввімкнення, контроль робочих параметрів та завантаження програмного забезпечення;
- відвід різальної головки у робоче положення;

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

- розташування на столі розкрою листа взуттєвої шкіри;
- включити лазер на мінімальну потужність (газ при цьому не подається) та встановити робочі межі й дефекти листа взуттєвої шкіри переміщенням лазерної головки;
- вказати у програмному забезпеченні вид заготовок режим роботи, після чого відбудеться автоматизоване проектування найбільш оптимального процесу розкроювання листа;
- на пульті керування виставити необхідні режими різання або оздоблення, які залежать від висоти пропалювання та почати роботу.

Якщо під час роботи лазерної установки з малими дозами допоміжного газу його подача дещо затримується, внаслідок обумовлених технічних причин, то рекомендованим є збільшення інтенсивності подачі СО.

Витяжний пристрій автоматично вмикається із початком процесу різання або оздоблення взуттєвої шкіри.

Наявність сторонніх об'єктів у робочій зоні є недопустимою.

Виявлення під час роботи дефекти необхідно усунути, з метою запобігання ушкодження «літаючої оптики».

Після завершення процесу різання та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри вирізані заготовки необхідно зняти із столу розкрою та розсортувати. Прибрати стіл від залишків та розташувати на ньому наступний лист взуттєвої шкіри. Процедуру повторити.

Вимкнення лазерної установки здійснюється пультом керування та роз'єднанням мережевого кабелю.

### **3.2 Випробування лазерного обладнання**

Під функціональними випробуваннями розуміють випробування, які відповідають діям під час функціонування установки (виробу). До таких

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

чинників слід віднести: втома та старіння матеріалів, зношування деталей, яке викликає похибки функціонування, порушення узгодження підсистем приладів. Комплекс перерахованих та інших факторів може призвести до відмови функціонування лазерної установки.

Під час проектування лазерної установки для розкрою та декоративного оздоблення взуттєвої шкіри тривалість її безвідмовної роботи розраховується з урахуванням всіх факторів, які впливають на функціонування виробу. Однак, внаслідок дефектів матеріалів, технології обробки та складання дію окремих чинників відмова може підсилюватись або ж наступити передчасно.

Функціональні випробування лазерної установки ставлять за мету встановити відповідність апарату вимогам функціональної надійності [16].

Під функціональною надійністю розуміють відповідність параметрів і характеристик виробів, які визначають якість функціонування, номінальні значення з відхиленнями, які не перевищують встановлені індивідуальними ТУ допуски.

Випробування на безвідмовність функціонування. Цей вид випробувань є загальним для всіх установок (виробів) на відміну від інших випробувань, які залежать від призначення виробу. Під час проведення випробувань велике значення має планування випробувань, яке полягає у визначенні обсягу випробувань, числа контрольованих параметрів тощо.

Дослідженнями встановлено, що для установок та їх вузлів закон розподілу може бути частковим, нормальним, логарифмічно нормальним, експоненціальним. В умовах виробництва випробуванням підлягає кінцеве число виробів  $n$ .

Задача визначення обсягу випробувань зводиться до обчислень напрацювання (часу, числа спрацьовувань, циклів тощо), яку повинні показати відібрані для випробувань  $n$  виробів, щоб підтвердити необхідний

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

гамма-ресурс  $t_g$  з заданою довірчою ймовірністю  $\alpha$  при дозволеній кількості відмов  $C$ .

Подібні розрахунки та ресурсні випробування проводять з будь-якими виробами. Слід мати на увазі, що установки, які піддаються випробуванням, внаслідок вироблення ресурсу, до подальшої експлуатації є непридатними. Тому число виробів, які піддаються ресурсним випробуванням, має бути мінімальним і ресурсні випробування проводяться при досить великому випуску виробів.

### 3.3 Методика перевірки лазерного обладнання

В обсяг перевірки входять: зовнішній огляд, перевірка відповідності пристрою, який повіряється, технічним умовам, визначення похибок, варіації, а також деякі інші роботи, які специфічні для даних установок [17].

Під час перевірки установки за зразковим методом порівнянь показів використовують спеціальні градуювальні установки, які дозволяють отримати покази апарату, який повіряється, у межах всієї його шкали. Попередньо обидва прилади повинні бути приведені у нормальний робочий стан, тобто виконані всі вимоги, які передбачено технічною документацією.

Перевірка здійснюється поступовим підйомом показів, починаючи з нуля або початкової відмітки шкали. Під час відліку значення вимірюваної величини повинне бути незмінним. Як правило, відлік здійснюється на всіх оцифрованих (не менш п'ятьох) відмітках шкали апарату, який повіряється. Підйом вимірюваної величини роблять плавно, повернення вказівника не допускається, тому що повинна бути визначена варіація приладу.

Коли вказівник приладу, який повіряється, досягне максимальної відмітки шкали, слід збільшити вимірювану величину ще на деяке, допустиме з погляду цілості конструкції значення і після невеликої витримки

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

плавно зменшувати вимірювану величину, проводячи відлік на тих же оцифрованих відмітках апарату, який повіряється. Результати перевірки заносять в протокол і розраховують приведені похибки для кожної оцифрованої відмітки, які не повинні перевищувати межі допустимої похибки, яка обумовлена класом точності апарату.

### 3.4 Загальні правила перевірки лазерного обладнання

До переліку операцій перевірки, які притаманні лазерному обладнанню відносять наступне: зовнішній огляд і випробування, визначення похибок показів та варіації.

Мета зовнішнього огляду і випробування – встановити відповідність установки технічним вимогам або інструкції заводу-виробника.

Перевіряється наявність наступних обов'язкових позначень: найменування приладу або його тип, одиниця вимірюваної величини, клас точності, номер стандарту, вид струму, система установки, робоче положення установки, товарний знак заводу-виробника, заводський номер, рік виготовлення, номінальна температура, якщо вона відрізняється від  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ , опір з'єднувальних проводів, напруга живлення, маркування затискачів, градуювання тощо.

На апарат, який був у ремонті, вказують дату ремонту та організацію, яка його здійснила.

При зовнішньому огляду і випробуванні звертається увага на наступні дефекти, що перешкоджають нормальній експлуатації вимірювальних пристроїв: шкала або видимі частини пристрою; розхитані затискачі; усередині приладу знаходяться сторонні предмети або незакріплені деталі, корпус повністю або частково не пофарбовано.

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

Визначення основної похибки та варіації об'єму дозування допоміжного газу. Основна приведена похибка механізмів дозування на всіх відмітках робочої частини шкали не повинна перевищувати значень  $\pm n \%$  ( $n$  – клас точності).

Варіація показів пристрою не повинна перевищувати абсолютного значення основної допустимої похибки.

Основну похибку і варіацію апарату визначають, порівнюючи їх показання з показаннями зразкового пристрою дозування, допустима похибка якого повинна бути в 4-5 разів менше, ніж у пристроя, який повіряється.

За основну похибку приймають найбільшу (за абсолютного значення) різницю між показами апарату і дійсним значенням вимірюваної величини, яка визначається за зразковим приладом, при плановому збільшенні і зменшенні вимірюваної величини і фіксації показань на всіх оцифрованих відмітках шкали.

Варіацію визначають як різницю дійсних значень вимірюваної величини при одному і тому ж показі пристрою або як різницю показів пристрою при одному і тому ж значенні вимірюваної величини. Визначення варіації проводять при плавному підведенні вказівника до випробовуваної відмітки спочатку з боку початкової, а потім з боку кінцевої відміток шкали, як правило, в процесі визначення основної похибки.

При визначенні основної похибки та варіації апарату, який повіряється, повинен бути поміщений в умови, які вказані в паспорті, а також повинні бути виключені будь-які чинники, здатні викликати похибки показів.

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання щодо дослідження, розрахунку та експлуатаційно-метрологічного забезпечення лазерно-координатної установки «TRUMATIC SCC 60». За результатами виконаних досліджень сформульовано такі основні висновки:

– проведено детальний аналіз технічних характеристик, службового призначення та існуючих аналогів лазерно-координатних установок. Огляд літературних джерел підтвердив доцільність використання моделі «TRUMATIC SCC 60» як ефективної базової платформи для високоточного розкрою матеріалів завдяки її кінематичним та експлуатаційним перевагам;

– досліджено функціональні особливості та фізичні перетворення, які покладено в основу роботи лазерної установки. Визначено специфіку взаємодії електромагнітного випромінювання з матеріалом, оптичного фокусування та формування променя, що безпосередньо впливає на якість і чистоту лінії різку;

– розроблено функціональну схему лазерної установки, адаптовану для технологічних процесів розкрою та декоративного оброблення взуттєвої шкіри. Детально описано принцип роботи системи та алгоритм взаємодії її окремих елементів (координатної системи, лазерного джерела та ріжучої головки) в процесі автоматизованого оброблення сировини;

– виконано вибір і проєктний розрахунок елементів привода координатної системи. На основі розрахунків пасової передачі обґрунтовано параметри приводного зубчастого шківів та вибрано відповідний зубчастий пас, що забезпечує високу точність позиціонування, плавність ходу та довговічність механічної частини установки.

– визначено та обґрунтовано вимоги до умов експлуатації обладнання з урахуванням специфіки обробки взуттєвої шкіри. Окреслено оптимальні

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |

робочі режими та фактори зовнішнього середовища, які мінімізують ризик термічного пошкодження країв шкіри та забезпечують стабільність роботи лазерного вузла.

– розроблено методику, загальні правила повірки та чіткий порядок проведення випробувань лазерного обладнання. Запропоновані метрологічні рішення дозволяють своєчасно виявляти відхилення в роботі системи, контролювати точність позиціонування та гарантують високу надійність і безпеку експлуатації установки в умовах виробництва.

|            |             |                    |               |             |                            |             |
|------------|-------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|-------------|
|            |             |                    |               |             | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | <i>Лист</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Лист</i> | <i>№ документа</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                            |             |

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пупань Л. І. Лазерні технології у машинобудуванні. URL: <https://surl.li/mxsdyq> (дата звернення: 10.01.2026).
2. Лазерна різка і гравіювання. URL: <https://surl.lu/wpduvx> (дата звернення: 20.01.2026).
3. TRUMPF SE + Co. KG. URL: [https://www.trumpf.com/en\\_INT/](https://www.trumpf.com/en_INT/) (access date: 15.01.2026).
4. SIEMENS. SINUMERIK 840D/SIMODRIVE 611 digital. URL: <https://surl.li/hmespi> (access date: 15.01.2026).
5. Чупринка В., Зелінський Г., Чупринка Н. Автоматизоване проектування схем розкрою листових матеріалів на деталі низу взуття. URL: <https://surl.li/qujnbd> (дата звернення: 21.01.2026).
6. Афанасьєва О. В., Лалазарова Н. О. Сучасні технології лазерного різання матеріалів. URL: <https://surl.li/ezyveg> (дата звернення: 16.01.2026).
7. INDUSTRIAL LASER COMPLIANCE GUIDE. URL: <https://surl.li/rcvnje> (access date: 20.01.2026).
8. Москалик В. М., Выборнов Д. О. Лазерні технології у промисловості. URL: <https://surl.li/ofspnn> (дата звернення: 10.01.2026).
9. CNC Laser Cutting And The Technology Behind It. URL: <https://surl.lu/jgkjux> (access date: 20.01.2026).
10. ДСТУ ISO 22:2009. Паси приводні плоскі та відповідні шківни. Розміри та допуски (ISO 22:1991, IDT). [Чинний від 2010-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 12 с.
11. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин. URL: <https://surl.li/fuuyvq> (дата звернення: 21.01.2026).

|     |      |             |        |      |                     |      |
|-----|------|-------------|--------|------|---------------------|------|
|     |      |             |        |      | ВР 505.00.00.000 ПЗ | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                     |      |

12. ISO 11554. Optics and photonics – Lasers and laser-related equipment – Test methods for laser beam radiant power, radiant energy and temporal characteristics/. URL: <https://surl.lu/qasgvj> (access date: 20.02.2026).

13. Інструкція з охорони праці при роботі на лазерних установках. URL: <https://kukh.ho.ua/kurs/LO/LIT/pb.pdf> (дата звернення: 29.03.2026).

14. ДСТУ EN 60825-1:2019. Безпека лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги. URL: <https://surl.li/xlqzni> (дата звернення: 31.03.2026).

15. CO2 Laser Cutting Power, Thickness, Speed Chart. URL: <https://surl.li/zkwdau> (access date: 26.02.2026).

16. ДСТУ EN ISO 11553-1:2022. Безпечність обладнання. Верстати для лазерного оброблення. Частина 1. Вимоги щодо лазерної безпеки (EN ISO 11553-1:2020, IDT; ISO 11553-1:2020, IDT). [Чинний від 2023-01-01]. Київ : ДП УкрНДНЦ, 2022. 34 с.

17. Метрологічне забезпечення виробництва згідно з ISO 9001:2015. URL: <https://surl.li/ксјјwp> (дата звернення: 17.03.2026).

|     |      |             |        |      |                            |      |
|-----|------|-------------|--------|------|----------------------------|------|
|     |      |             |        |      | <b>ВР 505.00.00.000 ПЗ</b> | Лист |
| Зм. | Лист | № документа | Підпис | Дата |                            |      |