УДК 687.05; JEL classification L64, L67, O31 **DOI: https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-3-56**

Красій Михайло Михайлович[1], аспірант

Поліщук Олег Степанович[1], декан факультету інженерії, транспорту та архітектури

Єрій Андрій Вікторович[1], кафедра індустрії моди в легкій промисловості

Лісевич Світлана Петрівна[1], заступник завідувача кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем, старший викладач

[1]Хмельницький національний університет

Krasii Mykhailo[1], Postgraduate student, https://orcid.org/0009-0002-7905-1419

Polishchuk Oleh[1], Dean of the Faculty of Engineering, Transport and Architecture, https://orcid.org/0000-0002-9764-8561

Yerii Andrii[1], Department of Fashion Industry in Light Industry, https://orcid.org/0009-0000-6919-4809

Lisevych Svitlana[1], Deputy Head of the Department of Machines and Devices, Electromechanical and Energy Systems, Senior Lecturer, https://orcid.org/0000-0002-5501-9038

*[1]*Khmelnytskyi National University

ОПТИМІЗАЦІЯ ЛАЗЕРНОГО ВУЗЛА ШВЕЙНИХ МАШИН ЦИКЛІЧНОГО ШИТТЯ
OPTIMIZATION OF THE LASER UNIT IN CYCLIC SEWING MACHINES

Красій М М., Поліщук О. С., Єрій А. В., Лісевич С. П. Оптимізація лазерного вузла швейних машин циклічного шиття. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Том 10. № 3. С. 284 – 287.

Krasii M., Polishchuk O., Yerii A., Lisevych S. Optimization of the laser unit in cyclic sewing machines. *Ukrainian Journal of Applied Economics and Technology*. 2025. Volume 10. № 3, pp. 284 – 287.

У статті розглянуто актуальну проблему вдосконалення лазерного вузла, що використовується в промислових машинах циклічного шиття. Показано переваги впровадження газових вуглекислотних лазерів у складі швейних автоматів, зокрема високу точність різання, енергоефективність та гнучкість у налаштуванні. Також наведено основні недоліки, що широко поширені в роботі лазерних вузлів сучасних швейних автоматів. Аналізуються технічні обмеження, пов'язані з обробкою пакетів матеріалів змінної товщини, що призводить до погіршення якості зрізу та ризику виникнення браку. Запропоновано конструктивне рішення – модернізація лазерної головки шляхом впровадження системи автофокусування з використанням важільного механізму та крокового двигуна. Це дозволяє забезпечити стабільну якість різання на високих швидкостях та розширити технологічні можливості машин циклічного шиття. Особливу увагу приділено порівнянню принципу роботи існуючих конструкцій лазерного різака (лазерної головки) – з фіксованою фокусною трубою та запропонованої рухомої лазерної головки. Результати дослідження можуть бути використані для подальшої автоматизації та підвищення ефективності сучасних швейних виробництв.
Ключові слова: *машина циклічного шиття, промисловий швейний автомат, лазерна головка, автофокусування, лазер.*

A comprehensive study was conducted to solve the current applied problem of improving the laser unit used in modern industrial cyclic sewing machines. The study focuses on the design features and technical characteristics of laser systems integrated into sewing equipment. The relevance of the work stems from the rapid development of automation in the sewing industry, where gas carbon dioxide lasers with 80–120 W of power are becoming increasingly popular for their high cutting accuracy, energy efficiency, and flexible settings. However, despite the advantages, the operation of such equipment revealed a significant problem: the complexity of processing packages of materials with variable thickness. This leads to a deterioration in the cut quality, charring of the fabric edge, and, in some cases, the risk of an open flame and the formation of production defects. As part of the study, a detailed comparative analysis of existing laser head types was conducted: standard fixed structures and two-position-switching systems. Using industrial models such as the BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X, the authors demonstrate that rigid fixation of light output and the need for manual adjustment of the focal length significantly limit the equipment's adaptability to complex technological patterns. Even systems with a pneumatic drive, such as the BRUCE BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13 model, provide only two fixed focus-tube positions, which do not allow for active, adaptive adjustment during the sewing cycle. The scientific novelty of the work lies in the development and justification of a modernized design of a laser head with an integrated intelligent autofocus system. The authors propose using a laser scanner that operates on the principle of active distance measurement from the nozzle to the material surface. To implement rapid lens movement at high machine speeds (over 100 mm/s), a mechanism based on a stepper motor and lever transmission has been developed. This solution allows the system to adapt to the workpiece contour in real time without the need for pre-programming the servo motor.
Keywords: *cyclic sewing machine, industrial sewing automation, laser head, autofocus, laser.*

Вступ

Останнім часом у швейній промисловості широкої популярності набули машини циклічного шиття [1]. Для розширення функціональних можливостей ці швейні автомати додатково укомплектовують різними пристроями та механізмами: маркери, пробійники, ножі, лазери. Останні особливо привертають увагу завдяки ряду переваг: зручність в роботі, гнучкість в автоматизації, висока точність та якість різання через відсутність деформації матеріалу, невисоке споживання енергії, легке обслуговування оптичної системи, відносно невисока вартість лазерних трубок.

У швейних автоматах використовуються газові вуглекислотні (CO_2) лазери потужністю 80–120 Вт. Лазерні головки використовують в основному з фокусуючою лінзою діаметром 20 мм та фокусною відстанню 63,5 мм (2,5 дюйма).

Через велику універсальність швейних автоматів з лазером вони дедалі більше використовуються під час виготовлення практично всіх швейних виробів [1]. Це обумовлює подальше дослідження та вдосконалення обладнання. Однією з проблем, яка виникла в процесі експлуатації машин циклічного шиття є робота одночасно з пакетами матеріалів різної або змінної товщини. Незважаючи на те, що лазерна головка, встановлена на швейних автоматах, має оптимальну глибину фокуса 3,02 мм за діаметра фокусної плями 0,2–0,25 мм, цього в окремих випадках виявляється недостатньо під час роботи з вищезазначеними матеріалами. Зокрема, у процесі різання можливе пошкодження зрізаного краю матеріалу, його оплавлення або обвуглення, а в деяких випадках – навіть утворення полум'я в зоні різання, що зрештою призводить до браку виробів.

Лазерна головка з рухомою фокусною трубою має більш широке застосування, так як дозволяє використовувати на швейних автоматах шаблони більш складної конструкції та спеціальні затискачі. Робота [2] присвячена вдосконаленню лазерного різака для швейного обладнання з метою підвищення точності обробки матеріалів і зменшення термічного впливу. Як результат, автором реалізовано використання лазерного променя з незмінною фокусною відстанню, що є ефективним для обробки тонких тканин, однак малопридатне для багатошарових заготовок. Це обмеження прослідковується майже у всіх моделях циклічних швейних автоматів, що

своєю чергою акцентує увагу на важливості впровадження автофокусної системи для забезпечення стабільної якості різання в умовах змінної товщини матеріалів.

Формулювання цілей статті

Об'єктом дослідження є лазерний вузол промислових машин циклічного шиття, зокрема його конструктивні особливості та технічні характеристики. Для вирішення поставлених завдань використано методи теоретичного аналізу, експериментальних досліджень та моделювання, що дозволяють оптимізувати конструкцію лазерної головки шляхом впровадження системи автофокусування для покращення якості різання матеріалів змінної товщини.

Метою роботи є вдосконалення конструкції лазерної головки машин циклічного шиття шляхом розробки системи автофокусування, яка забезпечить стабільну якість різання матеріалів змінної товщини на високих швидкостях та підвищить ефективність швейного виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сьогодні на швейні автомати циклічного шиття встановлюють два типи лазерних головок: стандартна нерухома та головка з рухомою фокусною трубою. Нерухома лазерна головка простіша та дешевша у виготовленні. Встановлюється вона в основному на машинах циклічного шиття з невеликим робочим полем, де застосовуються прості, невеликі за товщиною шаблони.

Патент CN1145598A [2] описує лазерний пристрій для швейної машини, який орієнтований на підвищення точності та зниження теплового впливу під час різання тканин. Рішення базується на використанні лазерного випромінювання з фіксованим фокусом, що підходить для тонких матеріалів, але має обмеження під час роботи з багатошаровими структурами. Це підкреслює потребу в автофокусуванні для стабільної якості різання.

Патент CN1126633C стосується лазерного пристрою різання для швейних машин, зокрема – вдосконалення конструкції різака з метою підвищення точності та ефективності різання матеріалів. У документі запропоновано конструктивні рішення, що забезпечують стабільне фокусування лазера та адаптацію до різної товщини тканин. Це дозволяє мінімізувати похибки під час різання, зокрема у випадках з багатошаровими матеріалами.

У контексті аналізу сучасних публікацій цей патент демонструє значний внесок у напрямі автоматизації лазерного різання, проте не охоплює аспекти активного автофокусування, що й обумовлює актуальність подальших досліджень.

Отже, ключовою проблемою лазерних розкрійних систем на сучасних промислових швейних машинах шаблонного шиття є проблема адаптації фокусної відстані до висоти матеріалу, що спричиняє дефекти різання.

Проаналізувавши сучасну літературу з технології виготовлення та конструювання швейних виробів [4; 5], можна визначити такі основні потовщення матеріалу, що наведено на рисунку 1: перекриття матеріалів, перекриття матеріалів з підгином, нерівність поверхні заготовки.

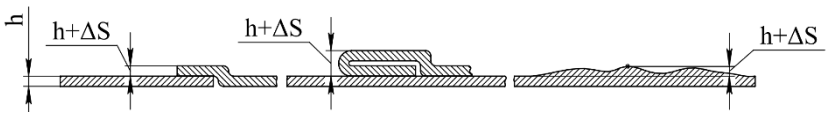


Рис. 1. Основні типи потовщень: а – перекриття матеріалів
б – перекриття матеріалів з підгином; в – нерівність поверхні заготовки

Відповідно, є потреба в ефективному скануванні поверхні заготовок з метою адаптації фокусної відстані лазерного різака.

Проаналізувавши типові нерівності поверхні заготовок, можна стверджувати, що використання механічних пристроїв для сканування поверхні буде не ефективним, оскільки будь-які існуючі сенсори, що базуються на використанні контактного принципу вимірювання, можуть із утрудненням проходити через потовщення та створювати зсування шарів тканини, що спричинятиме брак продукції, а саме – застосування датчиків такого типу обмежується конструктивними особливостями шаблонів для виготовлення складних вузлів одягу. Також можна стверджувати, що на великих швидкостях роботи машини виникатимуть збої в скануванні та можливі пошкодження наконечників механічного сенсора. Саме тому пропонується використання лазерного сканера, що базується на принципі активного вимірювання відстані від поверхні заготовки до світловиводу лазерної головки.

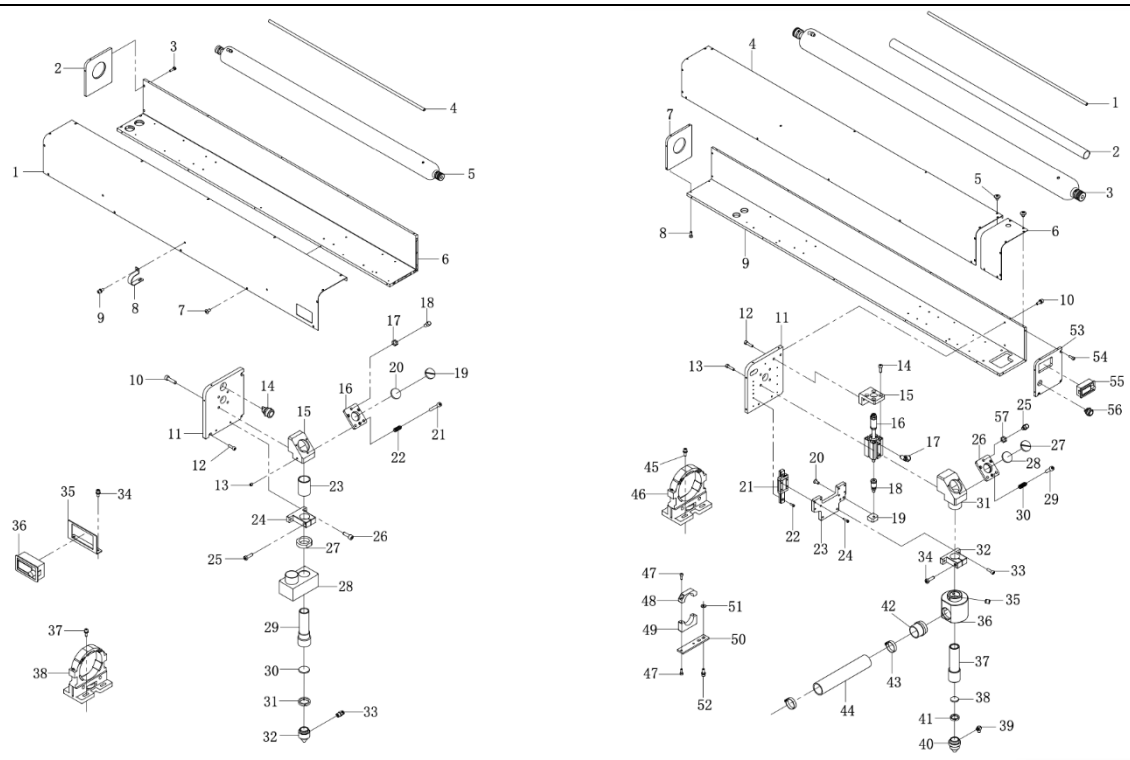
Швидкість різання на швейних машинах циклічного шиття в середньому становить 100 мм/с та вище, а тому і швидкість зміни фокусної відстані теж має бути достатньо великою. Конструкція приводу з використанням черв'ячної передачі цього не забезпечує. Тому пропонується для розробки головка лазера з автофокусуванням, де застосовано важільний механізм з кроковим двигуном, що забезпечує швидке піднімання та опускання лазерної головки для забезпечення роботи машини на максимальній швидкості.

Сучасні моделі швейних автоматів, як правило, оснащуються двома варіантами лазерних розкрійних механізмів: з жорстко-фіксованим положенням фокусної лінзи [6] та з двопозиційним перемиканням положення фокусної лінзи.

Конструкція лазера з фіксованим положенням фокусної лінзи наведена на рисунку 2 а; з двопозиційним перемиканням положення фокусної лінзи наведено на рисунку 2 б.

На рисунку 2 а наведено конструкцію розкрійного лазера програмованої машини циклічного шиття BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X [7]. У цій моделі швейної машини передбачено жорстку фіксацію світлового виводу (32) лазерної головки, а регулювання фокусної відстані здійснюється за рахунок піднімання та опускання фокусної труби (29). Водночас необхідно використовувати гайковий ключ для послаблення фіксації оправи об'єктиву гвинтом (25) в посадочному місці фокусної труби (24).

Такий спосіб регулювання фокусної відстані не забезпечує адаптацію лазерної головки до товщини матеріалу, що своєю чергою спричиняє ряд незручностей та обмежує можливість використання шаблонів складної конструкції. Це пов'язано із висотою конструктивних елементів шаблонів та висотою розташування світлового виводу (32) над робочою поверхнею столу.



а) **б)**

Рис. 2. Конструкція лазера машин шаблонного шиття: а – з фіксованим положенням фокусної лінзи; б – з двопозиційним перемиканням положення фокусної лінзи

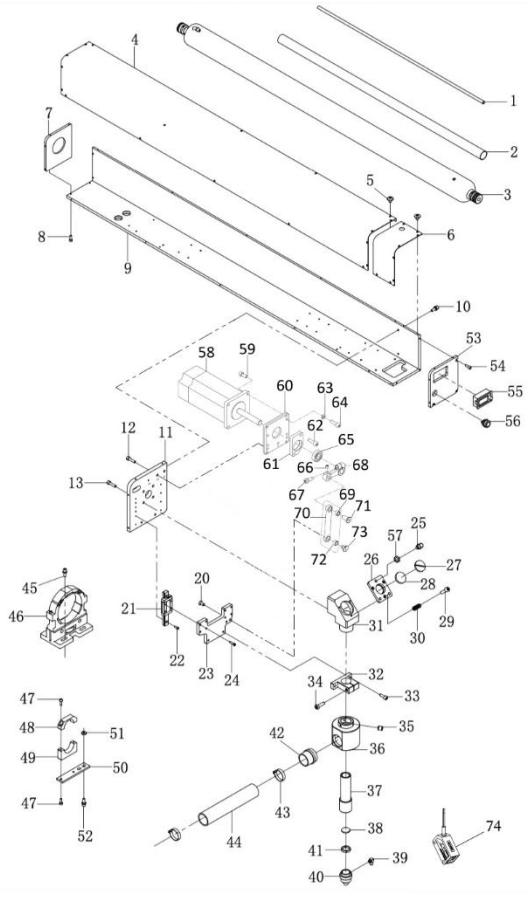


Рис. 3. Адаптивна система регулювання фокусної відстані лазерної головки шаблонної швейної машини

На противагу вище описаній моделі можна привести конструкцію розкрійного лазера циклічної машини шаблонного шиття BRUCE BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13 [8], що зображена на рисунку 2 б. Така модель оснащена пневмоприводом (16), за рахунок якого відбувається опускання та піднімання фокусної труби (37) лазерної головки при роботі машини. Пневмопривід (пневмоциліндр) (16) за допомогою кронштейна (15), гвинтів (12, 14, та 10) та монтажної панелі (11) зафіксований в корпусі лазерної головки. Фокусна труба (37) з'єднана з пневмоциліндром (16) через посадочне місце фокусної труби (32), направляючу пластину (23), напрямну рейку з кареткою (21), плаваючим з'єднанням (18) та гвинтами (33, 20). Переміщення фокусної труби (37) під час запуску циклу пошиття здійснюється за рахунок спрацювання пневмоциліндра (16), що керується бортовим комп'ютером швейної машини. Цей пристрій передбачає лише два положення фокусної труби (37), що дозволяє вирішити проблему використання шаблонів складної конструкції, проте не вирішує задачі активного адаптивного регулювання фокусної відстані в процесі шиття.

Проаналізувавши будову та принцип роботи промислових швейних автоматів BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X [7] та BRUCE BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13 [8], дослідниками визначено основні способи покращення технологічних операцій розкрою на швейних автоматах та запропоновано конструкцію машини з адаптивним регулюванням фокусної відстані лазерної головки. Загальний вигляд запропонованої конструкції наведено на рисунку 3.

Принцип роботи лазерного різака, що наведено на рисунку 3, полягає в активному скануванні матеріалу, що кроїться за допомогою оптичного лазерного датчика відстані (74). Перед початком крою матеріалу датчик відстані (74) починає зондування матеріалу та передає сигнал на АЦП, після чого сигнал поступає на комп'ютер шаблонної машини, де відбувається його обробка та передача команди на серводвигун (58), який виконує роль приводу механізму регулювання фокусної відстані. Фокусна лінза (38) встановлена в фокусну трубу (37), зафіксована в посадочному місці фокусної труби (32), яке жорстко з'єднане з направляючою пластиною (23), що зафіксована на напрямній рейці (21).

Запропонований метод регулювання дозволяє здійснювати сканування рельєфу заготовок та швидко реагувати на зміни висоти поверхні тканини, визначати оптимальні параметри відстані від сопла світловиводу до поверхні

матеріалу. Також суттєвою перевагою цього методу є те, що немає потреби в попередньому програмуванні роботи серводвигуна (58), оскільки машина адаптується до змін поверхні заготовки в реальному часі.

Така конструкція адаптивного механізму регулювання фокусної лінзи (рис. 3) є простою та не потребує підвищення кваліфікації операторів шаблонних швейних автоматів.

Висновки та перспективи подальших розвідок

У цьому досліджені здійснено аналіз існуючих технологічних та конструктивних рішень сучасних швейних автоматів, запропоновано адаптивну конструкцію лазерної головки систем крою матеріалу для промислових швейних машин циклічного шиття, яка дає змогу активно регулювати фокусну відстань до поверхні заготовки в процесі шиття.

Запропонована модель регульованої лазерної головки є перспективним рішенням для оптимізації процесів розкрою матеріалів в промислових машинах циклічного шиття та потребує подальших експериментальних досліджень для оптимізації робочих характеристик та дослідження впливу покращеної конструкції на край зрізу матеріалу.

Література

1. Jana P. Automation in sewing technology. *Automation in Garment Manufacturing* / ed. by R. Nayak, R. Padhye. Cambridge : Woodhead Publishing, 2018. (The Textile Institute Book Series). С. 199–236. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101211-6.00009-4.
2. CN1145598A. A kind of laser cutting device for sewing machine. Zhejiang University of Technology (CN). Опубл. 1996-04-03.
3. CN1126633C. Laser cutting device for sewing machine. Zhejiang University of Technology (CN). Опубл. 2003-11-26.
4. Привала В. О., Засорнова І. О., Кошевко Ю. В. Основи технології виробів: методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів спеціальності «Технології легкої промисловості». Хмельницький національний університет. Хмельницький: ХНУ, 2018. 118 с. URL: https://tksv.khmnu.edu.ua/metod/2018/otv_kp.pdf.
5. Литвин В. Г., Степура А. О. Конструювання швейних виробів: підручн. для проф.-техн. навч. закладів. Київ: Вікторія, 2008. 320 с. + кольор. вклейка..
6. Tanabe T. (1994). Sewing machine including a laser cutting system, a sewing method, and an embroidering method. https://patents.google.com/patent/US5555827A/en.
7. Програмована машина циклічного шиття з поворотною головою та лазером BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X. SM-UA: інтернет-магазин. URL: https://sm-ua.com/programovan-mashini-ciklchnogo-shittya/bruce-brc-f9000-ss-f11bf13-x-programovana-mashina-ciklichnogo-shittya-z-povorotnoyu-golovoyu-ta-lazerom.
8. Програмована машина циклічного шиття з лазером та поворотною головою BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13. SM-UA: інтернет-магазин. URL: https://sm-ua.com/programovan-mashini-ciklchnogo-shittya/brc-tx14095a-ssyx-f11af13-programovana-mashina-tsikl%D1%96chnogo-shittya-z-lazerom-ta-povorotnoyu-golovoyu.

References

1. Jana, P. (2018). Automation in sewing technology. In R. Nayak & R. Padhye (Eds.), *Automation in garment manufacturing* (The Textile Institute Book Series), Pp. 199–236. Cambridge: Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101211-6.00009-4.
2. CN1145598A. (1996). *A kind of laser cutting device for sewing machine*. Zhejiang University of Technology (CN). Published April 3, 1996.
3. CN1126633C. (2003). *Laser cutting device for sewing machine*. Zhejiang University of Technology (CN). Published November 26, 2003.
4. Pryvala, V. O., Zasornova, I. O., & Koshevko, Yu. V. (2018). *Osnovy tekhnolohii vyrobiv: metodychni vkazivky do vykonannia kursovoho proektu dlia studentiv spetsialnosti "Tekhnolohii lehkoi promyslovosti"* [Fundamentals of product technology: Methodological guidelines for course project implementation for students majoring in "Light industry technologies"]. Khmelnytskyi: Khmelnytskyi National University. Available at: https://tksv.khmnu.edu.ua/metod/2018/otv_kp.pdf.
5. Lytvyn, V. H., & Stepura, A. O. (2008). *Konstruiuvannia shveinykh vyrobiv* [Design of garments]. Kyiv: Viktoriia.
6. Tanabe, T. (1994). *Sewing machine including a laser cutting system, a sewing method, and an embroidering method*. Available at: https://patents.google.com/patent/US5555827A/en.
7. Programovana mashyna tsyklichnoho shyttia z povorotnoiu holovoiu ta lazerom BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X [Programmable cyclic sewing machine with rotating head and laser BRUCE BRC-F9000-SS-F11BF13-X]. (n.d.). *SM-UA* (online store). Available at: https://sm-ua.com/programovan-mashini-ciklchnogo-shittya/bruce-brc-f9000-ss-f11bf13-x-programovana-mashina-ciklichnogo-shittya-z-povorotnoyu-golovoyu-ta-lazerom.
8. Programovana mashyna tsyklichnoho shyttia z lazerom ta povorotnoiu holovoiu BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13 [Programmable cyclic sewing machine with laser and rotating head BRC-TX14095A-SSYX-F11AF13]. (n.d.). *SM-UA* (online store). Available at: https://sm-ua.com/programovan-mashini-ciklchnogo-shittyya/brc-tx14095a-ssyx-f11af13-programovana-mashina-tsikl%D1%96chnogo-shittyya-z-lazerom-ta-povorotnoyu-golovoyu.

Стаття надійшла до редакції 12.08.2025 р.