

В.В. Герасимов¹, О.О. Молнар², В.Д. Рудь³, М.В. Полажинець¹, Ю.Ю. Жигуц²Мукачівський державний університет¹ДВНЗ «Ужгородський національний університет»²Луцький національний технічний університет³**РОЗРОБКА СУЧАСНИХ ІНДИВІДУАЛЬНИХ СИСТЕМ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З РОЗКРІЙНИМ ОБЛАДНАННЯМ В ШВЕЙНІЙ ГАЛУЗІ**

Одним із основних ризиків, який виникає під час роботи з обладнанням легкої промисловості є травмування від рухомих частин машин. Багато швейних машин мають рухомі частини, які можуть призвести до серйозних травм, якщо працівник не використовує їх обережно або якщо машина не обслуговується належним чином або присутній людський фактор неухважності виконання певної операції. Останнє становить особливу небезпеку під час виконання операції розкрою матеріалів на стрічкових машинах. Певної проблеми набуває така ситуація, коли на такій доволі небезпечній технологічній операції замість досвідченого персоналу, як зазвичай, починають працювати менш кваліфіковані працівники, що спричинено особливостями роботи підприємства під час військового стану. З метою запобігання травмування працівника ріжучим інструментом під час виконання ним технологічних операцій авторами запропоновано розробку у вигляді індивідуального пристрою захисту руки із залученням сучасних цифрових технологій. Проаналізовані основні підходи щодо виготовлення пристрою захисту, запропоновані базові схемні рішення, що надають змогу реалізувати систему захисту вже у кінцевому виді. Акцент зроблено на пристрої захисту, конструкція якого може бути реалізована на розповсюдженій та доступній елементній базі. Також автори передбачають розширення можливостей цього пристрою безпеки шляхом адаптації до нього інших додаткових функціонально-технологічних опцій, що підвищує його ефективність та конкурентоспроможність на промисловому ринку.

Ключові слова: пристрій безпеки, система захисту, процес різання, швейне виробництво.

V.V. Gerasimov, O.O. Molnar, V.D.Rudj, M.V. Polazhynets, Yu.Yu. Zhiguts

DEVELOPMENT OF MODERN INDIVIDUAL SAFETY SYSTEMS WHEN WORKING WITH CUTTING EQUIPMENT IN THE GARMENT INDUSTRY

One of the main risks that arises when working with light industry equipment is injury from moving machine parts. Many sewing machines have moving parts that can lead to serious injury if the worker does not use them carefully or if the machine is not properly maintained or if there is a human factor of inattention to a particular operation. The latter is particularly dangerous when cutting materials on a draw frame. This situation becomes a particular problem when, as usual, less qualified workers start working on this rather dangerous technological operation instead of experienced male staff which is caused by the peculiarities of the enterprise's operation during martial law. In order to prevent the worker from being injured by a cutting tool while performing technological operations, the development of an individual hand protection device with the involvement of modern digital technologies have been proposed by authors. The main approaches to the manufacture of the protection device and propose basic circuit solutions that allow implementing the protection system in its final form have been analysed. The emphasis is placed on the protection device, the design of which can be implemented on a common and affordable element base. The authors also envisage expanding the capabilities of this security device by adapting other additional functional and technological options to it, which increases its efficiency and competitiveness.

Keywords: safety device, protection system, cutting process, sewing production.

Вступ. В сучасному світі швейна промисловість постійно еволюціонує завдяки впровадженню новітніх технологій [1-4]. Зокрема, розкрійні інструменти, такі як ножі, ножиці, лазери, до того ж різальні інструменти постійно модернізуються для підвищення ефективності та безпеки [3].

Найбільш небезпечними з точки зору безпеки праці інструментами та технологічно інноваційними операціями в області розкроювання матеріалів в галузі легкої промисловості можна вважати такі засоби і методи показані на рис. 1 та проаналізовані в табл. 1.



Рис. 1. Технологічне обладнання для розкроювання швейних матеріалів

Ця таблиця надає короткий огляд передових методів розкрою, їх переваг та основних правил

© В.В. Герасимов, О.О. Молнар, В.Д. Рудь, М.В. Полажинець, Ю.Ю. Жигуц

безпеки. Звісно, кожен метод має свою специфіку та може вимагати додаткових інструкцій для забезпечення максимальної безпеки. В той же час, аналізуючи основні методи розкрою на виробництві, можна зробити висновок, що найбільшу небезпеку для працівника швейного виробництва становить технологія розкроювання матеріалів на стрічкових машинах (рис. 1).

Табл. 1

Аналіз методів розкрою швейних матеріалів

Метод розкрою	Технічні переваги	Правила техніки безпеки
Ручний розкрій (ножиці)	Гнучкість та можливість вирізання деталей різних форм. Відсутність необхідності в електроенергії.	Завжди тримати ножиці закритими, коли вони не використовуються. Не передавати ножиці вістрям вперед. Зберігати ножиці в безпечному місці, недоступному для недосвідченого персоналу.
Електричні розкрійні ножі	Швидке та ефективне вирізання великих об'ємів тканини. Єдність та рівномірність розрізу.	Вимкнути прилад після завершення роботи. Використовувати в місцях, де немає води або інших рідин. Не торкатися рухомого леза під час роботи.
Лазерне розкроювання	Висока точність та якість розрізу. Мінімальні втрати матеріалу. Автоматизований процес.	Носити захисні окуляри від лазерного випромінювання. Не дивитися безпосередньо на лазерний промінь. Забезпечити належне вентилування, оскільки дія лазера може спричинити виділення шкідливі газу під час роботи.
Ультразвукове розкроювання	Відсутність відходів, оскільки тканина "запаюється" на краях. Швидкий процес різання.	Носити захисні рукавички та окуляри. Уникати прямого контакту з обладнанням під час його роботи.

Аналітичні дослідження та їх обговорення. Реальна ситуація на підприємствах вказує на використання ще традиційних механічних засобів розкрою, що підвищує ймовірність отримання травми працівником, зокрема при роботі з стрічковими розкрійними машинами. Спеціальна кольчужна рукавичка (рис. 2), яка повинна застосовуватись розкрійником, не відповідає умовам комфортного користування під час роботи з ріжучим інструментом. Зазвичай нею не користуються працівники розкрійних цехів. Фактично вона уособлює технології, які застосовувались ще декілька століть тому. На ринку засобів безпеки представлена велика кількість таких захисних пристроїв та пристосувань. Тому автори вирішили запропонувати розробку сучасних інтелектуальних засобів безпеки, які можна застосувати під час роботи на розкрійному обладнанні [2]. Сучасні досягнення в області сенсорних систем та мікроелектроніки дозволяють створювати «розумну рукавичку», яка буде зручною та інтелектуальною, і дозволить реагувати на небезпеку заздалегідь [2,3].



Рис. 2. Кольчужна рукавичка для роботи з ріжучим інструментом

Основним викликом при розробці подібних систем є відстеження відстані між ріжучими поверхнями (лезо, ріжуча кромка, вібруюча або циркулярна пила тощо) та рукою робітника. Для цього можна запропонувати декілька рішень:

- відстеження положення руки працівника за допомогою камери, та комп'ютерним аналізом відстані його від небезпечних деталей;

- використання ємнісного сенсора між рукою та ріжучими кромками;
- індуктивний зв'язок між спеціальною рукавицею на руці оператора та ріжучим інструментом.

Кожен з перерахованих методів має свої переваги та недоліки. Використання відеоаналізу є універсальним розв'язком проблеми захисту робітника, без необхідності використання захисних засобів, однак виникає потреба у «навчанні» системи нейронних мереж під конкретну конфігурацію обладнання. Крім того потрібно забезпечити робоче місто якісним круговим освітленням без тіней, використання відеокамер з високою роздільною здатністю, тому що від цього буде залежати точність вимірювань відстані руки оператора від небезпечного обладнання. Ну і звичайно для малого часу реакції системи на небезпечні події, швидкість обробки повинна бути дуже високою, з використанням апаратних засобів формування аналізуючої нейронної мережі на основі, наприклад, програмованих логічних матриць [4] бо така програмна реалізація буде мати більшу інертність. Така система буде високовартісна. Разом із вказаними недоліками вона не виправдовує своє використання в умовах масового виробництва.

Використання ємнісного або індуктивного зв'язку виглядає набагато простішим рішенням. Для такого методу на металеву ріжучу кромку потрібно подавати високочастотний сигнал в декілька десятків вольт з генератора частотою (10^5 - 10^6 Гц). В захисну рукавицю робітника для формування ємнісного зв'язку мають бути вплетені нитки, які проводять електричний струм (металеві або краще карбонові). Ріжуча кромка в такому випадку виконує функцію однієї з обкладинок сенсорного конденсатора, а сітка ниток рукавиці іншу. Амплітуда напруги (яка і буде пропорційна відстані) може бути легко продетектована звичайним діодним амплітудним детектором, та у подальшому оброблена на однокристальному мікроконтролері, з виводом попереджувального звукового сигналу зі змінною частотою. Амплітуда та частота сигналу повинна наростати зі зменшення відстані між ріжучим інструментом та рукою оператора. А при зменшенні її до критичного значення, обладнання має бути знеструмлене.

У випадку індуктивного зв'язку змінюється конструктивно лише рукавиця, в якій електропровідні нитки мають формувати витки сенсорної котушки. Далі обробка сигналу виконується як і у випадку ємнісного сенсора, описаного вище. При наявності в цеху великих електромагнітних перешкод (які створюють прилади освітлення, електромотори швейного та розкрійного обладнання), замість звичайного діодного амплітудного детектора краще використовувати синхронний детектор або підсилювач (рис. 3).

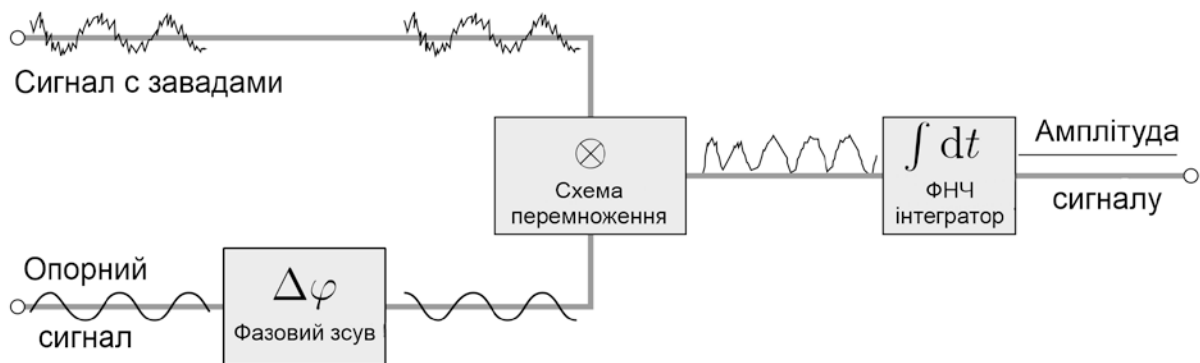


Рис. 3. Блок схема синхронного детектора

Синхронний детектор або підсилювач – такий тип підсилювача, який може виокремити сигнал з відомою несучою частотою з надзвичайно «зашумленого середовища». Залежно від динамічного діапазону приладу, можуть бути надійно виявлені корисні сигнали в мільйон разів менші за шумові компоненти. Блок-схема синхронного детектора представлена на рис. 3. По суті, це гомодинний детектор (homodyne detector), за яким слідує фільтр нижніх частот.

Використання ємнісних або індуктивних сенсорних технологій в захисних рукавичках (рис. 4) відкриває нові можливості для підвищення безпеки на виробництві. Проте, успіх таких інновацій залежить від точності та надійності систем, а також від їхньої інтеграції до робочих процесів [5].

В табл. 2 показані ключові відмінності між ємнісним та індуктивним методами. Ємнісний метод характеризується малою вартістю компонентів та високою чутливістю до зовнішніх умов, тоді як індуктивний метод має більшу точність виявлення небезпек та більшу надійність, але викликає більшу технологічну складність при його реалізації та має більшу вартість [5,6].

Обидва методи мають свої переваги та обмеження, які необхідно враховувати при їх використанні в системах техніки безпеки (рис. 4).

Табл. 2

Таблиця порівняння ємнісного та індуктивного методів [4]



Рис. 4. Пропоновані схеми ємнісної (а), та індуктивної (б) реалізації зв'язку для захисної рукавички

Аспект	Ємнісний метод	Індуктивний метод
Точність виявлення	Середня	Висока
Чутливість до зовнішніх умов	Висока	Середня
Вартість компонентів	Низька	Вища за ємнісний
Технологічна складність	Середня	Вища
Надійність у виробничих умовах	Середня	Висока
Вимоги до обслуговування	Низькі	Середні
Вплив на ергономіку рукавиці	Мінімальний	Може впливати на гнучкість
Інтеграція з іншим обладнанням	Добра	Складніша
Використання в різних умовах	Обмежений	Ширший
Вплив електромагнітних перешкод	Середній вплив	Менший вплив
Можливість масштабування	Висока	Середня

Іншим аспектом реалізації даної системи безпеки є створення зворотного зв'язку до користувача таким пристроєм. Чим ближче пальці працівника до рухомої стрічки, тим інтенсивнішим буде сигнал генератора (в обох запропонованих схемах реалізації). Якщо застосовувати простий звуковий сигнал (його пропорційне зростання), то у зв'язку із тим, що в цеху існує доволі сильний звуковий шум від різних робочих інструментів, сигнал тривоги не буде чутно. Як альтернативу, можна запропонувати вібраційний тактильний сигнал. Для цього, потрібно оцифрувати сигнал за допомогою вбудованого або зовнішнього аналого-цифрового перетворювача (АЦП), та передавати його у цифровому виді через відповідний канал (протокол) зв'язку. Дану операцію можна реалізовувати за допомогою мікроконтролерного керування. Таке рішення дещо ускладнює реалізацію проекту, але значно розширює можливості системи. Рівень сигналу з АЦП нормується і калібрується програмно за відстанню до інструменту та адаптації до дії зовнішніх факторів. Сигнал індикації відстані та безпеки, крім тактильно-вібраційного [7], може бути продубльований через канал зв'язку "Bluetooth", що досить просто реалізувати у випадку мікроконтролерного керування схемою у цілому, додавши наприклад зворотній зв'язок на системі Ардуіно [8-10]. Прикладом такої реалізації може бути смарт-рукавичка [11] дизайн якої представлений на рис. 5.

Розширення можливостей смарт-рукавички може відбуватись внаслідок програмування в систему керування пристрою нових функцій, пов'язаних з виконанням додаткових допоміжних технологічних операцій. Наприклад, можливість адаптації швидкості обертання ріжучого леза (стрічки) у залежності від параметрів різання, які отримує розкрійна машина від сенсорів рукавички. Такий підхід підвищує якість процесу різання матеріалів, зберігає енергоресурси, вказує на потребу у технічному обслуговуванні розкрійної системи, тощо.

Висновки. Впровадження захисних технологій у розкрійне обладнання є ключовим для забезпечення безпеки працівників. Використання смарт-рукавичок та інших сучасних технологій з датчиками та управлінням на основі мікроконтролера може значно знизити ризик травмування.



Рис. 5. Пропозиція смарт-рукавички з застосуванням мікроконтролерного керування

Однак ці технології мають свої виклики, як наприклад, висока вартість та складність інтеграції. Аналогові методи, такі як ємнісні та індукційні системи, хоч і простіші, можуть бути менш ефективними у певних критичних ситуаціях. Удосконалення цих технологій повинно бути зосереджене на забезпеченні оптимального балансу між безпекою, вартістю та ефективністю.

Список літератури:

1. Березненко С. М. Основи технологій експериментального та підготовчо-розкрийного виробництва: навч. посіб. – К.: КНУТД, 2017. - 171 с.
2. Основні вимоги правил охорони праці до підготовчо-розкрийного виробництва. URL: <https://oppb.com.ua/news/osnovni-vymogy-pravyl-ohorony-praci-do-pidgotovcho-rozkriynogo-vyrobnyctva>.
3. Романюк О. О, Скідан В. В., Гончарук А. Ю. Основні вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів при виробництві товарів широкого вжитку. Енергозбереження та промислова безпека: виклики та перспективи: матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (4–5 червня 2019 року. м. Київ). – Київ: Основа, 2019. С. 237–245.
4. Héctor Allende, Claudio Moraga, Rodrigo Salas. Artificial neural networks in time series forecasting: a comparative analysis. *Kybernetika*. 2002. № 38. Pp. 685-707.
5. Переваги і недоліки різних типів датчиків. URL: <https://tehnar.net.ua/perevagi-i-nedoliki-riznih-tipiv-datchikiv/>.
6. Індуктивні датчики: принцип дії, різновиди, застосування. URL: <https://eleksun.com.ua/uk/blog/article/induktyvni-datchyky-pryncyp-diyi-riznovydu-zastosuvannya>.
7. Мельник А.В., Бевза О.М. Ємнісний датчик присутності // Електронна та акустична інженерія. 2020. т. 3(1). - С. 10-14.
8. Kovach A., Gerasimov V., Molnar A. Ensuring safety in the cutting production of a sewing enterprise "Smart glove". Monografia: Technologie, procesy i systemy produkcyjne. Wydawnictwo naukowe Uniwersytetu Bielsko-Bialskiego. 2023. Pp. 93-97.
9. Tavassolian M., Cuthbert T. J., Napier C., Peng J. Y., Menon C. Textile-Based Inductive Soft Strain Sensors for Fast Frequency Movement and Their Application in Wearable Devices Measuring Multiaxial Hip Joint Angles during Running. *Advanced Intelligent Systems*. 2020. Vol. 2(4). Pp. 165-186.
10. Іл'кови́ч S. Modernization of science education using teaching aids based on microcontrollers. *International scientific journal «Education and science» natural and technical sciences*. 2023. №1(34). Pp. 26-32.
11. Caeiro-Rodríguez M., Otero-González I., Fernando A. Mikic-Fonte, Lamas-Nistal M. A Systematic Review of Commercial Smart Gloves: Current Status and Applications. *Sensors (Basel)*. 2021. № 21(8), Pp. 2667 <https://doi.org/10.3390/s21082667>.

Рецензент: Рубіш Василь Михайлович проф., док. фіз.-мат. наук, завідувач Ужгородської лабораторії матеріалів оптоелектроніки та фотоніки Інституту проблем реєстрації інформації НАН України