

## ДОДАТОК А

Код програмного модуля автоматизованого управління замкненою  
виробничою ділянкою

```
import tkinter as tk
from random import choice, randint

class PackingLineSimulation:
    def __init__(self, root):
        self.root = root
        self.root.title("Автоматична лінія пакування виробів")

        # Canvas для графічної візуалізації
        self.canvas = tk.Canvas(root, width=1000, height=600, bg="white")
        self.canvas.pack()

        # Відображення параметрів
        self.info_label = tk.Label(root, text="", font=("Arial", 14))
        self.info_label.pack()

        # Конвеєрна лінія
        self.conveyor = self.canvas.create_rectangle(50, 250, 950, 300,
fill="gray")

        # Етапи обробки
        self.stages = [
            {"name": "Завантаження", "x": 150},
```

```

        {"name": "Вимірювання", "x": 350},
        {"name": "Упаковка", "x": 550},
        {"name": "Маркування", "x": 750},
        {"name": "Сортування", "x": 900},
    ]
    for stage in self.stages:
        self.canvas.create_text(stage["x"], 230, text=stage["name"],
font=("Arial", 12))

    # Роботизований маніпулятор
    self.robot_arm = self.canvas.create_rectangle(850, 150, 890, 200,
fill="blue")

    # Контейнери для сортування
    self.containers = {
        "red": {"x": 800, "count": 0, "weight": 0},
        "green": {"x": 850, "count": 0, "weight": 0},
        "blue": {"x": 900, "count": 0, "weight": 0},
    }
    for color, data in self.containers.items():
        self.canvas.create_rectangle(data["x"], 400, data["x"] + 50, 450,
fill=color)
        data["label"] = self.canvas.create_text(
            data["x"] + 25, 460, text="0 шт\n0 г", font=("Arial", 10)
        )

    # Вироби на лінії
    self.products = []

```

```

# Запуск симуляції
self.running = True
self.simulate()

def add_product(self):
    """Додає новий виріб на конвеєр."""
    x, y = 60, 275
    weight = randint(5, 20) # Вага виробу
    color = choice(["red", "green", "blue"])
    product = {
        "id": self.canvas.create_oval(x, y - 10, x + 20, y + 10, fill=color),
        "weight": weight,
        "stage": 0,
        "processed": False,
        "color": color,
    }
    self.products.append(product)

def move_products(self):
    """Переміщує вироби по конвеєру."""
    for product in self.products:
        x1, y1, x2, y2 = self.canvas.coords(product["id"])
        if product["stage"] < len(self.stages):
            stage_x = self.stages[product["stage"]]["x"]
            if x1 < stage_x:
                self.canvas.move(product["id"], 5, 0)
            else:
                if not product["processed"]:
                    self.process_stage(product)

```

```

else:
    # Сортвання виробу на останньому етапі
    self.sort_product(product)

```

```

def process_stage(self, product):
    """Обробляє виріб на етапі."""
    product["processed"] = True
    stage_name = self.stages[product["stage"]]["name"]
    self.info_label.config(
        text=f'Етап: {stage_name}, Вага виробу: {product["weight"]} г"
    )
    self.root.after(500, lambda: self.advance_product(product)) #

```

Затримка на обробку

```

def advance_product(self, product):
    """Переміщує виріб до наступного етапу."""
    product["stage"] += 1
    product["processed"] = False

def sort_product(self, product):
    """Сортує виріб за кольором у відповідний контейнер."""
    color = product["color"]
    container_x = self.containers[color]["x"] + 25 # Центр контейнера
    x1, y1, x2, y2 = self.canvas.coords(product["id"])
    if x1 < container_x:
        self.canvas.move(product["id"], 5, 0)
    elif y2 < 400:
        self.canvas.move(product["id"], 0, 5)
    else:

```

```
self.complete_product(product)
```

```
def complete_product(self, product):
```

```
    """Завершує обробку виробу."""
```

```
    color = product["color"]
```

```
    self.canvas.delete(product["id"])
```

```
    self.products.remove(product)
```

```
    self.containers[color]["count"] += 1
```

```
    self.containers[color]["weight"] += product["weight"]
```

```
    # Оновлення тексту над контейнером
```

```
    count = self.containers[color]["count"]
```

```
    weight = self.containers[color]["weight"]
```

```
    self.canvas.itemconfig(
```

```
        self.containers[color]["label"], text=f" {count} шт\n{weight} г"
```

```
    )
```

```
def simulate(self):
```

```
    """Основний цикл симуляції."""
```

```
    if not randint(0, 20): # Випадкове додавання виробів
```

```
        self.add_product()
```

```
    self.move_products()
```

```
    if self.running:
```

```
        self.root.after(100, self.simulate)
```

```
# Запуск програми
```

```
if __name__ == "__main__":  
    root = tk.Tk()  
    app = PackingLineSimulation(root)  
    root.mainloop()
```

## ДОДАТОК Б

### Апробація результатів наукових досліджень

УДК 658.12.011

#### РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ЗАМКНЕНОЮ ДІЛЯНКОЮ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ТА СОРТУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ

**А.А. Панков**

Кафедра КІТАР, Харківський національний університет радіоелектроніки  
Україна, 61166, Харків, пр. Науки 14  
E-mail: artem.pankov@nure.ua

**Анотація:** У статті представлено розробку структури системи автоматизованого управління замкненою ділянкою для пакування та сортування продукції, спрямованої на підвищення ефективності виробничих процесів. Розглянуто основні принципи побудови системи, використання сучасних технологій автоматизації та алгоритмів оптимізації для забезпечення високої точності, швидкості та адаптивності роботи. Отримані результати доводять доцільність впровадження таких систем у виробничих умовах для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності.

**Ключові слова:** автоматизація, сортування, пакування, управління, виробничі процеси, продуктивність.

#### DEVELOPMENT OF THE STRUCTURE OF THE SYSTEM OF AUTOMATED CONTROL OF A CLOSED AREA FOR PACKAGING AND SORTING OF PRODUCTS

**Artem Pankov**

Department of KITAP, Kharkiv National University of Radioelectronics  
Ukraine, 61166, Kharkiv, 14 Nauky Ave.,  
E-mail: artem.pankov@nure.ua

**Annotation:** The article presents the development of the structure of the system of automated management of a closed area for packaging and sorting products, aimed at increasing the efficiency of production processes. The main principles of system construction, the use of modern automation technologies and optimization algorithms to ensure high accuracy, speed and adaptability of work are considered. The obtained results prove the feasibility of implementing such systems in production conditions to increase productivity and competitiveness.

**Keywords:** automation, sorting, packaging, management, production processes, productivity.

Розробка структури системи автоматизованого управління замкненою ділянкою для пакування та сортування продукції є необхідною через зростання вимог до швидкості, точності та ефективності виробничих процесів. Сучасні виробництва стикаються з потребою обробляти велику кількість продукції різних типів у стислі строки, мінімізуючи вплив людського фактору. Автоматизовані системи дозволяють підвищити продуктивність за рахунок зменшення часу виконання рутинних операцій, таких як сортування за кольорами або характеристиками. Впровадження таких систем сприяє зниженню витрат, пов'язаних із простоями та можливими помилками під час ручної обробки. Замкнена структура дозволяє забезпечити безперервність виробничого процесу, виключивши можливість накопичення виробів у вузлах або збоїв у роботі. Такі системи також сприяють оптимізації використання ресурсів, зокрема енергії та матеріалів, за рахунок інтелектуальних алгоритмів управління. Упровадження сучасних технологій, таких як комп'ютерний зір або алгоритми машинного навчання, дозволяє адаптувати систему до змін у характеристиках продукції чи умовах роботи. Це підвищує її гнучкість та універсальність, що важливо для різноманітних виробничих

завдань. Автоматизація також забезпечує збирання й аналіз даних у реальному часі, що дозволяє оперативнo реагувати на проблеми та підвищувати якість кінцевої продукції. У перспективі така система створює умови для інтеграції у більш складні виробничі лінії, відповідно до концепції «Розумного виробництва» та Індустрії 4.0. Враховуючи ці фактори, розробка автоматизованої системи є ключовим етапом для підвищення конкурентоспроможності та ефективності підприємства.

В рамках даної роботи пропонується розробити та дослідити процес роботи замкненої ділянки для пакування продукції. На вході такої системи подаються готові вироби та пакувальний матеріал. Ділянка пакування та сортування продукції складається з наступних операцій: завантаження виробів на конвеєр; автоматичне зважування; упаковка в тару; маркування; сортування та відправлення на склад. На виході такої системи: упаковка продукції. Загальна структурна схема замкненої ділянки для пакування та сортування продукції представлена на рисунку 1.

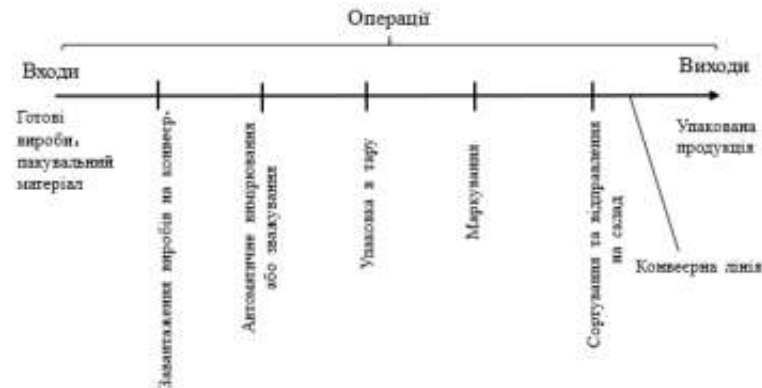


Рисунок 1 – Загальна структурна схема замкненою ділянкою для пакування та сортування продукції

Базуючись на розробленій загальній структурній схемі замкненої ділянки для пакування та сортування продукції, обрано наступні моделі обладнання, які представлено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Обрані моделі обладнання з обґрунтуванням вибору та описом особливостей

Модель	Тип	Особливості	Обґрунтування вибору
1	2	3	4
Interroll Belt Conveyor System	Стрічковий конвеєр із модульною стрічкою	<ul style="list-style-type: none"> <li>- висока адаптивність до різних типів виробів.</li> <li>- енергоефективний привід, що знижує витрати енергії.</li> <li>- можливість інтеграції з сенсорами та PLC-контролерами</li> </ul>	система підходить для транспортування різноманітних виробів завдяки міцній стрічці, а також підтримує інтеграцію з вимірювальними системами та роботами



Продовження таблиці 1

1	2	3	4
FlexLoader FP 200 (ABB)	Роботизований завантажувач	<ul style="list-style-type: none"> <li>- використовує камери та датчики для точного позиціонування виробів.</li> <li>- підтримує широкий спектр форм і розмірів продукції.</li> <li>- простота інтеграції в автоматизовану лінію</li> </ul>	Висока швидкість і точність роботи робота дозволяють автоматизувати процес завантаження та уникнути затримок
Mettler Toledo C33 PlusLine	Система динамічного зважування (Checkweigher).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- зважування у русі без зупинки конвеєра.</li> <li>- точність до 0.1 г.</li> <li>- вбудована система відбраковування</li> </ul>	Система забезпечує контроль якості зважування на високій швидкості, що критично для продуктивності лінії
ULMA TFS 600 (Thermoformer)	Термоформувальна пакувальна машина.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- вакуумна упаковка для герметизації.</li> <li>- підтримує різні типи пакувальних матеріалів (плівка, коробки).</li> <li>- продуктивність до 30 упаковок/хв</li> </ul>	Підтримка вакуумного та герметичного пакування підвищує термін зберігання продукції
Videojet 1860	Струменевий індустріальний принтер	<ul style="list-style-type: none"> <li>- друк штрих-кодів, QR-кодів та тексту.</li> <li>- робота на високих швидкостях конвеєра.</li> <li>- підтримка змінних даних у реальному часі</li> </ul>	Надійність і швидкість роботи роблять цей принтер оптимальним для маркування на конвеєрі
ABB IRB 390 FlexPacker	Робот для сортування та укладання.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- робот може обробляти до 120 циклів за хвилину.</li> <li>- висока гнучкість для роботи з різними розмірами продукції.</li> <li>- простота інтеграції в існуючу лінію</li> </ul>	Гнучкість і швидкість роботи дозволяють адаптувати систему до змін у виробництві
MiR100 (AGV)	Автономний транспортний робот	<ul style="list-style-type: none"> <li>- автономне переміщення продукції на склад.</li> <li>- легке налаштування маршрутів.</li> <li>- інтеграція з системою управління складом (WMS)</li> </ul>	Автоматизація доставки скорочує ручну працю і зменшує ризики пошкодження продукції

Загальний вигляд обраного обладнання для замкнутою ділянкою для пакування та сортування продукції, представлено на рисунку 2.



а)



б)



в)



г)



д)



е)



ж)

- а) Interroll Belt Conveyor System; б) FlexLoader FP 200 (ABB);  
 в) Mettler Toledo C33 PlusLine; г) ULMA TFS 600 (Thermoformer); д) Videojet 1860;  
 е) ABB IRB 390 FlexPacker; ж) MiR100 (AGV)

Рисунок 2 – Загальний вигляд обраного обладнання для системи управління ділянкою пакування та сортування продукції

В таблиці 2 приведено технічні характеристики обраного обладнання для системи управління ділянкою пакування та сортування продукції.

Таблиця 2 – Технічні характеристики обраного обладнання для системи управління ділянкою пакування та сортування продукції

Обладнання	Основні характеристики
1	2
Interroll Belt Conveyor System	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип конвеєра:</b> Стрічковий</li> <li>- <b>Швидкість транспортування:</b> До 2 м/с</li> <li>- <b>Максимальне навантаження:</b> До 50 кг/м</li> <li>- <b>Матеріал стрічки:</b> Антистатичний ПВХ або поліуретан</li> <li>- <b>Діапазон температур:</b> Від -30°C до +50°C</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Інтеграція з сенсорами та системами управління</li> </ul>
FlexLoader FP 200 (ABB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип роботи:</b> Роботизований завантажувач</li> <li>- <b>Максимальне навантаження:</b> До 20 кг</li> <li>- <b>Робочий радіус:</b> До 1,65 м</li> <li>- <b>Система візуалізації:</b> Інтегрована камера для розпізнавання об'єктів</li> <li>- <b>Продуктивність:</b> До 10 циклів/хв</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Можливість інтеграції з різними типами верстатів</li> </ul>
Mettler Toledo C33 PlusLine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип зважування:</b> Динамічне зважування на конвеєрі</li> <li>- <b>Діапазон зважування:</b> Від 20 г до 7 кг</li> <li>- <b>Точність зважування:</b> <math>\pm 0,1</math> г</li> <li>- <b>Швидкість конвеєра:</b> До 120 м/хв</li> <li>- <b>Продуктивність:</b> До 300 виробів/хв</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Вбудована система відбраковування та інтеграція з іншими системами контролю якості</li> </ul>
ULMA TFS 600 (Thermoformer)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип пакування:</b> Термоформування з вакуумом та газовим наповненням</li> <li>- <b>Матеріал пакування:</b> Гнучка або жорстка плівка</li> <li>- <b>Ширина плівки:</b> До 600 мм</li> <li>- <b>Глибина формування:</b> До 150 мм</li> <li>- <b>Продуктивність:</b> До 15 циклів/хв</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Інтеграція з системами друку та маркування</li> </ul>
Videojet 1860	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип друку:</b> Струменевий безперервний</li> <li>- <b>Швидкість друку:</b> До 300 м/хв</li> <li>- <b>Роздільна здатність друку:</b> До 32 крапель/мм</li> <li>- <b>Типи чорнил:</b> Різноманітні, включаючи швидковисихаючі та стійкі до розчинників</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Інтеграція з системами контролю якості та базами даних для змінних даних</li> </ul>
ABB IRB 390 FlexPacker	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип роботи:</b> Дельта-робот для високошвидкісного пакування</li> <li>- <b>Максимальне навантаження:</b> До 15 кг</li> <li>- <b>Робочий об'єм:</b> 1,5 м<sup>3</sup></li> <li>- <b>Продуктивність:</b> До 120 циклів/хв</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Інтеграція з системами візуалізації та конвеєрними лініями</li> </ul>



Продовження таблиці 2

1	2
MiR100 (AGV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Тип роботи:</b> Автономний мобільний робот</li> <li>- <b>Максимальне навантаження:</b> До 100 кг</li> <li>- <b>Швидкість руху:</b> До 1,5 м/с</li> <li>- <b>Час роботи від батареї:</b> До 10 годин</li> <li>- <b>Додаткові опції:</b> Інтеграція з системами управління складом та можливість налаштування маршрутів</li> </ul>

Обране обладнання забезпечує високу продуктивність та ефективність на кожному етапі процесу пакування та сортування продукції. Стрічковий конвеєр від Interroll дозволяє транспортувати вироби з різною швидкістю та навантаженням, що забезпечує гнучкість виробничого процесу. Роботизований завантажувач FlexLoader FP 200 від ABB оснащений інтегрованою камерою, що дозволяє точно позиціонувати та обробляти різноманітні вироби, підвищуючи точність та швидкість завантаження.

Система динамічного зважування Mettler Toledo C33 PlusLine забезпечує високу точність зважування на високих швидкостях конвеєра, що критично для контролю якості продукції. Термоформувальна машина ULMA TFS 600 дозволяє використовувати різні матеріали пакування та забезпечує глибоке формування, що підходить для широкого спектра продуктів.

Струменевий принтер Videojet 1860 забезпечує високоякісне маркування на високих швидкостях, що гарантує чітке та стійке нанесення інформації на упаковку. Дельта-робот ABB IRB 390 FlexPacker здатний виконувати до 120 циклів на хвилину, що значно підвищує продуктивність пакувальної лінії. Автономний мобільний робот MiR100 забезпечує гнучке та ефективне транспортування продукції на складі, зменшуючи потребу в ручній праці та підвищуючи загальну ефективність логістики.

**ВИСНОВКИ.** У статті підкреслено значення автоматизації як ключового інструменту для підвищення ефективності сучасного виробництва. Розроблена структура системи автоматизованого управління замкненою ділянкою для пакування та сортування продукції дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, забезпечуючи високу точність і швидкість виконання операцій. Використання інтелектуальних алгоритмів управління та технологій комп'ютерного зору сприяє адаптивності системи до змін продукції та умов роботи. Це дозволяє не лише підвищити продуктивність і знизити витрати, але й поліпшити якість кінцевого продукту. Автоматизована система забезпечує безперервність процесів, що є критичним для зниження ризиків простоїв і втрат. Отримані результати доводять доцільність упровадження таких систем у виробничих умовах, як на рівні окремих ділянок, так і в масштабі інтегрованих розумних виробничих ліній. Перспективи подальшого розвитку полягають у розширенні функціоналу системи та її інтеграції з концепціями Індустрії 4.0 для підвищення конкурентоспроможності підприємств.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Lincoln Electric [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.lincolnelectric.com/en-gb/support/welding-howto/Pages/welding-how-to.aspx>.
2. Miller Welds [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.millerwelds.com/resources/welding-resources>.
3. Ahamed, M., & Gu, H. (2022, July). Package sorting control system based on barcode detection. In *2022 7th International Conference on Automation, Control and Robotics Engineering (CACRE)* (pp. 148-152). IEEE.

4. Gurin, D., Yevsiciev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Using Convolutional Neural Networks to Analyze and Detect Key Points of Objects in Image. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(9), 5-15.
5. Yevsiciev, V., Maksymova, S., & Alkhalaileh, A. (2024). Improvement of SUSAN Image Filtering Method for PCB Quality Inspection. *Journal of universal science research*, 2(7), 106-116.
6. Yevsiciev, V., Abu-Jassar, A., & Maksymova, S. (2024). Humanoid Robot Movement Simulation in ROS. *Multidisciplinary Journal of Science and Technology*, 4(7), 146-154.
7. Yevsiciev, V., & Demska, N. (2024). *Comparison of Functional Capabilities of Classic Manipulator Robots and Collaborative Robots* (Doctoral dissertation).
8. Yevsiciev, V., & Gurin, D. (2024). *New Concepts of Human Interactions and Collaborative Robot-Manipulators in the Concepts of Industry 5.0* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers «SCIENTIA»).
9. Yevsiciev, V., & Gurin, D. (2024). *Study of Methods of Dynamic Description of The Environment for Collaborative Robots-Manipulators in the Concepts of Industry 5.0* (Doctoral dissertation, Collection of scientific papers «SCIENTIA»).
10. Yevsiciev, V., & Demska, N. (2024). *A Model of Using Computer Vision to Monitor the Environment of a Collaborative Manipulator Robot* (Doctoral dissertation).
11. Nevliudov, I., Yevsiciev, V., Maksymova, S., Demska, N., Starodubcev, N., & Klymenko, O. (2023, September). Monitoring System Development for Equipment Upgrade for IoT. In *2023 IEEE 5<sup>th</sup> International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)* (pp. 1-5). IEEE.
12. Nevliudov, I. S., Yevsiciev, V. V., Demska, N. P., & Kostrova, H. Y. (2023). Development and Improvement of the Design of a Lightweight Mobile Robot Manipulator Using Generative Design.
13. Yevsiciev, V., & Demska, N. (2023). *Application of Generative Design Methods for Improving Manipulator Designs for Mobile Robots* (Doctoral dissertation, Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького).
14. Nevliudov, I., Yevsiciev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In *2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 61-64). IEEE.
15. Євсєєв, В. В., Демська, Н. П., & Олександров, Ю. М. (2022). *Моделювання виробничої лінії SMT-монтажу в кібер-фізичних виробничих системах* (Doctoral dissertation, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського).
16. Yevsiciev, V., & Demska, N. (2023). *Application of Generative Design Methods for Improving Manipulator Designs for Mobile Robots* (Doctoral dissertation, Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького).
17. Yevsiciev, V., & Demska, N. (2021, September). Study of the Structure of Cyber-Physical Production Systems in Industry 4.0. In *The 1 International scientific-practical conference "Problems of modern science and practice"* (pp. 431-434).

**Науковий керівник:** Демська Наталія Павлівна, к.т.н., доцент, доцент кафедри КІТАР Харківського Національного Університету Радіоелектроніки

**ДОДАТОК В**  
Демонстраційний матеріал

