

<https://doi.org/10.31891/2219-9365-2023-76-12>

УДК 681.5:621.7

ЧОРНОВАЛЮК Дмитро

Хмельницький національний університет

СОКОЛАН Юлія

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0273-5719>

sokolan.julia@gmail.com

СОКОЛАН Катерина

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3513-8312>

sokolan.kateryna@gmail.com

МАЙДАН Павло

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0003-3319-8730>

maidanp@khnmu.edu.ua

СЕЛЬСЬКИЙ Андрій

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7373-0472>

Selskyi.A@khnmu.edu.ua

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПАКУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

В роботі розглядається пневматичний підхід до автоматизації процесу пакування ножівкових полотен. Такий підхід полягає у розробці принципової схеми та конструкції лінії автоматизованого пакування від станції нанесення маркування до станції зварювання упаковок. У запроєктованій лінії проведено підбір циліндрів, датчиків, програмованого логічного контролера, а також прораховано вартість встановлення такої системи.

Запровадження автоматизованого пакування ножівкових полотен дозволяє збільшити швидкість пакування, підвищити рівень безпеки працівників внаслідок мінімізації ризику отримання порізів від гострих країв ножівкових полотен.

В роботі запропонована принципова схема розташування обладнання в приміщенні, де проводиться пакування різального інструменту, а також розроблено циклограму роботи циліндрів системи та їх пневматична схема. Також наводяться підпрограми ПЛК, який керує автоматизованою лінією пакування різального інструменту.

Ключові слова: різальний інструмент, автоматизація, ножівкові полотна, лінія пакування продукції, Siemens, датчики, конвеєр, пневматичний циліндр.

CHORNOVALIUK Dmytro, SOKOLAN Iuliia,

SOKOLAN Kateryna, MAIDAN Pavlo, SELSKIY Andriy

Khmelnitskyi National University

AUTOMATION OF THE CUTTING TOOL PACKAGING PROCESS

This paper considers a pneumatic approach to automating the hacksaw blade packaging process. This approach consists in developing a schematic diagram and design of an automated packaging line from the labeling station to the package welding station. In the designed line, the selection of cylinders, sensors, and a programmable logic controller was carried out, and the cost of installing such a system was calculated.

The introduction of automated packaging of hacksaw blades allows to increase the speed of packaging, improve the safety of workers by minimizing the risk of cuts from the sharp edges of hacksaw blades.

The paper proposes a schematic diagram of the equipment arrangement in the room where the cutting tool is packaged, as well as a cyclogram of the system cylinders and their pneumatic circuit. Also, the subroutines of the PLC that controls the automated cutting tool packaging line are presented.

Keywords: cutting tool, automation, hacksaw blades, product packaging line, Siemens, sensors, conveyor, pneumatic cylinder.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Упаковка представляє собою не лише забезпечення естетичного вигляду продукції, але й найчастіше вона несе функцію забезпечення захисту продукції від механічних пошкоджень, маркування моделі продукції, коротку інструкцію, інформацію про виробника, тощо. У випадку із гострими предметами пакування ще й несе функцію захисту людей від травмування на порізів.

Автоматизація процесу пакування продукції зменшує витрати на робочу силу працівників. У випадку із гострим ріжучим інструментом автоматизація лінії пакування продукції підвищує безпеку працівників та зменшує ризик виникнення нещасних випадків у працівників, таких як порізів, поранень, тощо. Автоматизований процес пакування дозволить зменшити кількість помилок, які можуть виникнути,

підвищити рівень точності стосовно кількості продукції в одній упаковці, збільшити ефективність та швидкість технологічного процесу виготовлення продукції.

Аналіз досліджень та публікацій

Компанія Bahco розпочала своє існування ще у XIX сторіччі. Засновником компанії вважається Йохан Петер Йохансон. Саме йому приписується винахід різновидних гайкових ключів. Ще у 1896 році Йохансон створив Bahco разом із Бернтом Аугустом Х'єртом. У 2005 році відбулася реорганізація європейських підрозділів компанії АБ «Бакка Груп» в інфраструктуру SNA Europe (підрозділ Snap-on Inc. (США), що доповнило існуючий асортимент професійного інструменту Ванс, Lindstrom, Belzer новими торговими марками - Irazola, Palmera, Acesa, Irimo» [1].

Компанія Bahco виготовляє широкий асортимент продукції, до якої входять розвідні ключі, ножовки по дереву, напиліники, шарнірно-зубчастий інструмент, викрутки, гайкові ключі, динамометричні інструменти, трубні ключі та інструменти для трубопроводів, пневматичний, автомобільний та діагностичний інструмент, освітлювальне обладнання, спеціалізовані електронні інструменти, інструменти для підрізки, біметалеві ножові полотна, кільцеві та стрічкові пили.

Виробництво компанії Bahco фізично розташовується на декількох заводах, кожен із яких спеціалізується на виготовленні певного асортименту продукції. Один із таких заводів спеціалізується на випуску ножівкових полотен для різання по металу та по дереву. Ножівкові полотна Sandflex Bi-metal моделі 3906 (рис. 1) складають приблизно 60% від загального обсягу виробництва серед всіх різновидів ножівкових полотен, що відповідає близько 75 мільйонам одиниць таких полотен щорічно [2].

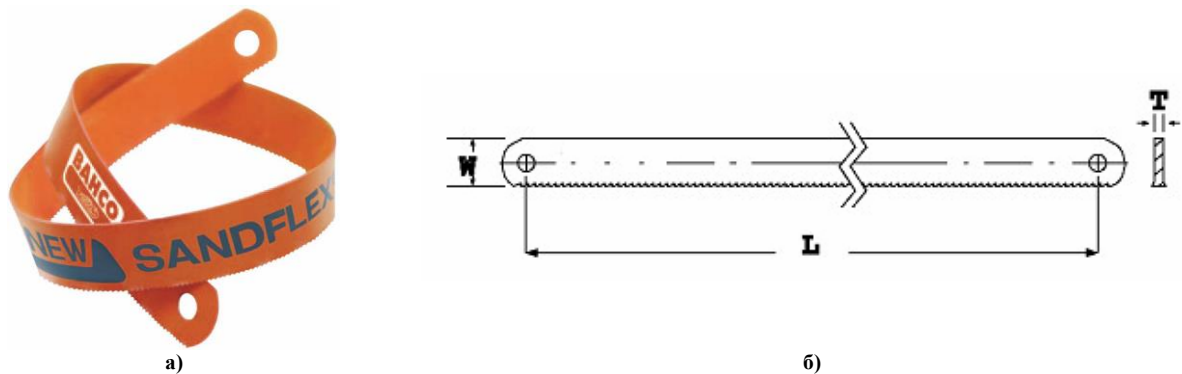


Рис. 1. Ножівкове полотно Sandflex Bi-metal моделі 3906:
а - зовнішній вигляд; б – принципова схема

За статистичними даними компанії Bahco [3] найбільш поширеною серед покупців є коробка із ножівкових полотен в кількості 100 одиниць (рис. 2). Приблизно 80% закупівель ножівкових полотен Sandflex становить саме такий варіант пакування.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є: автоматизація процесу пакування біметалічних полотен для ручних пилок Sandflex виробництва компанії Bahco.



Рис. 2. Упаковка 100 ножівкових полотен Sandflex

Виклад основного матеріалу

Поточний технологічний процес пакування ножівкових полотен (НП) починається із нанесення маркування. Цей процес напівавтоматизований та потребує часткового залучення оператора для наповнення візка із НП без маркування та наповнення візка із пустими коробками. Леза із нанесеним маркуванням формують стопки по 10 полотен у кожній, після чого вони вручну переміщуються оператором маркувальної

машини до станції пакування. На станції пакування розміщується робоче місце ще одного оператора, робота якого полягає лише у пакуванні НП у коробки. Після процесу закінчення пакування полотен у коробку, вони складуються і зберігаються у візку до моменту його наповнення. Наповнений візок в подальшому переміщується до станції зварювання, де відбувається остаточне закріплення конструкції упаковки.

Розташування обладнання у приміщенні, де відбувається процес пакування НП, наведено на рис. 3.

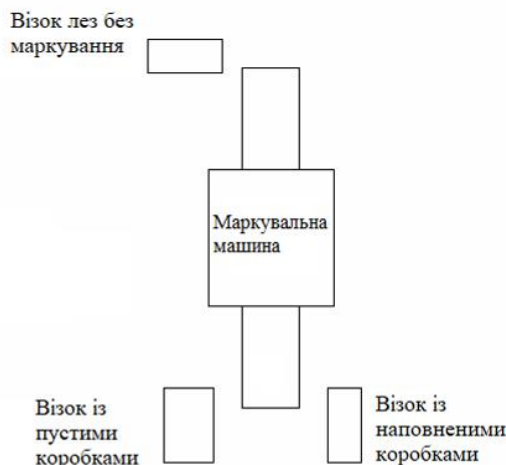


Рис. 3. Поточна схема розташування обладнання

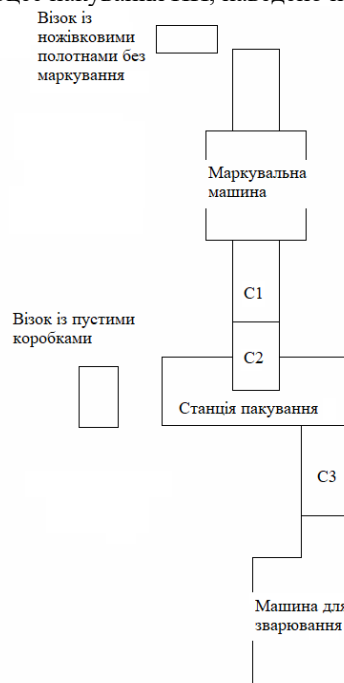


Рис. 4. Схема розташування обладнання автоматизованої лінії пакування ножівкових полотен

В рамках поставленої мети можна виділити наступні задачі автоматизації лінії пакування продукції.

1. Переміщення порожніх коробок до місця пакування ножівкових полотен.
2. Утримання та відкриття коробки. Автоматизована лінія пакування повинна визначати характеристики позиції для пакування.
3. Процес пакування 100 ножівкових полотен в одну коробку. Лінія автоматизованого пакування повинна гарантувати точне значення у 100 одиниць ножівкових полотен в кожній коробці.
4. Закриття коробки після виконання процесу пакування. Виконується шляхом зварювання двох ручок на коробці. Тобто, система пакування повинна забезпечувати повне закриття коробок перед зварюванням.
5. Переміщення заповнених коробок на наступний етап. Наповнені ножівковими полотнами коробки повинні бути підготовлені до їх перевезення до наступної станції, тобто в кінці процесу пакування вони повинні розміщуватись у візку.

Для вирішення поставлених задач можна застосувати пневматичний підхід до автоматизації процесу пакування різального інструменту, а саме ножівкових полотен. В такій системі буде використовуватись ряд циліндрів в якості виконавчого механізму, а також датчики та конвеєри. Робота наведених елементів системи буде контролюватись програмованим логічним контролером (ПЛК). Ескіз розташування обладнання в цеху пакування продукції при пневматичному підході наведений на рис. 4.

Після завершення нанесення маркування, ножівкові полотна виходять із маркувальної машини, при чому мають одну певну орієнтацію по відношенню до машини. Перший конвеєр, позначений C1 на рис. 2.1, переміщує стопки НП від маркувальної машини до наступного конвеєра, який позначений C2. Цей конвеєр має ту ж саму орієнтацію, що і конвеєр C1, але швидкість його роботи вища. Такий приріст швидкості забезпечує збільшення відстані між стопками НП на конвеєрі C2. В кінці C2 розміщується одна перешкода для зупинки НП в позиції, яка відповідає позиції пакування.

В якості виконавчого механізму у системі виступають пневматичні циліндри (рис. 5), а саме:

- DNCB-32-400-PPV-A-532734 (1 штука, вартість 3813 гривень) [4];
- DFM-20-400-B-PPV-A-GF (1 штука, вартість – 2698 гривень) [5];
- DNCB-32-80-PPV-A – 532727 (2 штуки, вартість 2570 гривень) [6];
- DSNU-8-50-P-A– 532727 (2 штуки, вартість 1685 гривень) [7];
- DNCB-32-25-PPV-A – 532724 (1 штука, вартість 1338 гривень) [8].

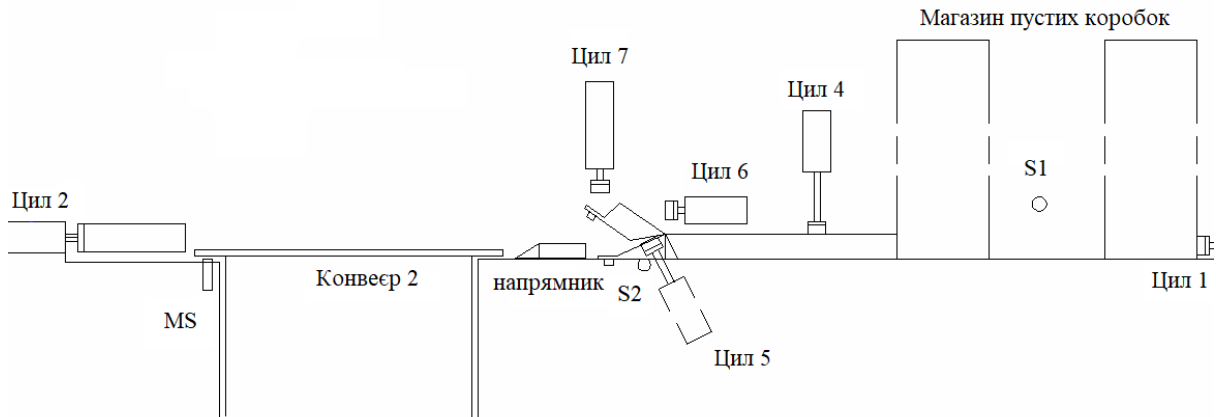


Рис. 5. Принципова схема пакувальної станції

Вартість циліндрів M_{cyl} становитиме:

$$M_{cyl} = 3813 + 2698 + 2570 \cdot 2 + 1685 \cdot 2 + 1338 = 18359 \text{ гривень} \quad (1)$$

S1 – це рефлекторний датчик наближень, який розташовується з одного боку магазину. Цей датчик сигналізує якщо магазин порожній. В такому випадку датчик видає один світловий сигнал, який повідомляє оператору про необхідність заповнення магазину.

Цил 1 – це пневматичний циліндр, який використовується в системі пакування ножівкових полотен для виштовхування коробки із магазину в напрямку пакувальної станції. Якщо на пакувальній станції знаходиться коробка, то циліндр не буде виштовхувати нову коробку на станцію. Для визначення наявності коробок на пакувальній станції використовується мікроперемикач S2. Як тільки на пакувальній станції розміщується порожня коробка, зверху активується циліндр 4, задача якого полягає в утриманні коробки в положенні для пакування. Функція циліндру 3 полягає в тому, щоб штовхати заповнену ножівковими полотнами коробку в напрямку конвеєра 3.

Ще три циліндри, позначені 5, 6 та 7, застосовуються для виконання процесів відкриття та закривання коробки. Задача циліндру 5 полягає в тому, що він тримає відкритою кришку в процесі наповнення коробок, в той час як циліндр 6 штовхає кришку в горизонтальному напрямку. Циліндр 7 штовхає коробку вниз, в результаті чого виконується закриття коробки.

Пневматична схема циліндрів наведена на рис. 6, а циклограма їх роботи у системі автоматизованого пакування – на рис. 7.

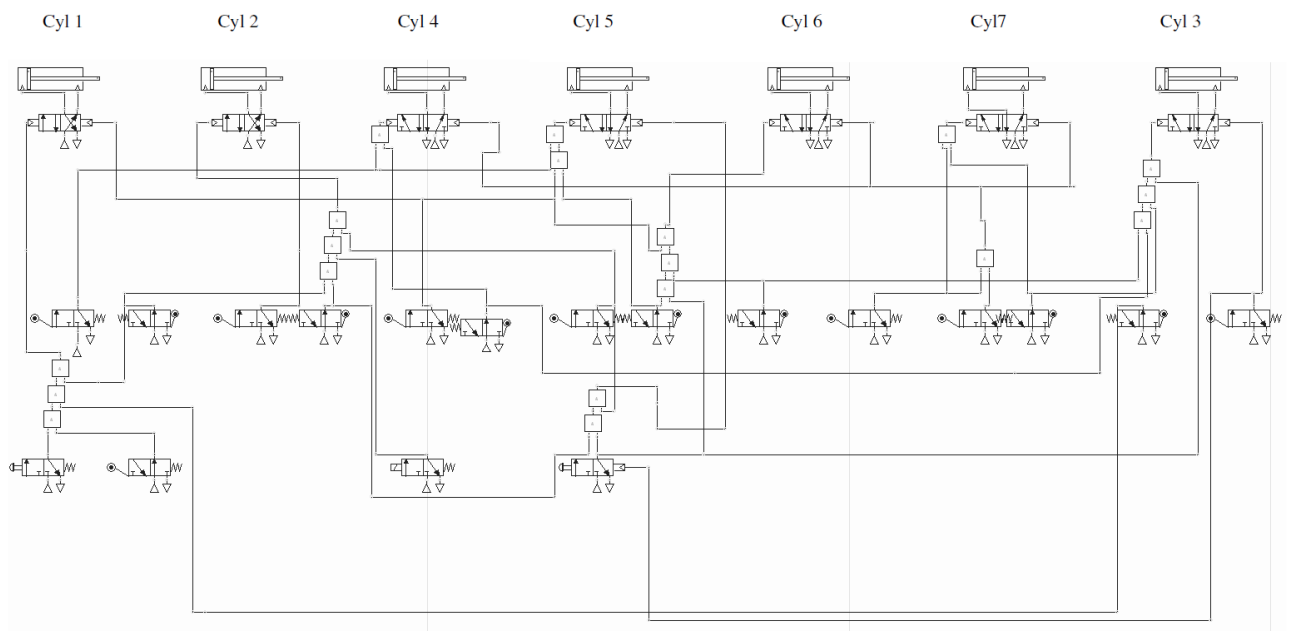


Рис. 6. Пневматична схема циліндрів

Крім того, в системі передбачається використання двох видів пневматичних клапанів: JMF-4-1/8-4556 у кількості 2 штук, вартість 2148 гривень та CRE10-M1BH-5J-M5 – 196875 у кількості 5 штук, вартість 3045 гривень. Тоді вартість клапанів M_{valve} становитиме:

$$M_{valve} = 2148 \cdot 2 + 3045 \cdot 2 = 19521 \text{ гривня} \quad (2)$$

В кінці конвеєра 2 для зупинки ножівкових полотен використовується одна перешкода. Вздовж конвеєра розміщується п'ять датчиків, які позначені MS від 0 до 4. Ці датчики визначають наявність п'яти стопок ножівкових полотен на позиції пакування.

В автоматизованій системі пакування ножівкових полотен використовується ряд датчиків. Індуктивний датчик наближення призначений для визначення відсутності або наявності металевих предметів на конвеєрі та в інших місцях системи за допомогою електронного безконтактного датчика. В якості індуктивного датчика наближення (ІДН) в системі автоматизованого пакування ножівкових полотен пропонується використовувати датчик Sien M8B-PS-S-L (рис. 8, а). Його вартість в Україні становить 2400 гривень [9], загальна кількість для системи становить 5 штук.

Ємнісний датчик наближення (ЄДН) дозволяє виявляти об'єкти базуючись на їх діелектричній проникності. В системі автоматизованого пакування ножівкових полотен такі датчики будуть використовуватись для виявлення заповненості контейнера із готовими упаковками ножівкових полотен, а також для виявлення наявності пустих коробок на конвеєрі. Пропонується використовувати ємнісний датчик Autonics CR18-8DN2 (рис. 8, б). Вартість такого датчика становить 1848 гривень [10].

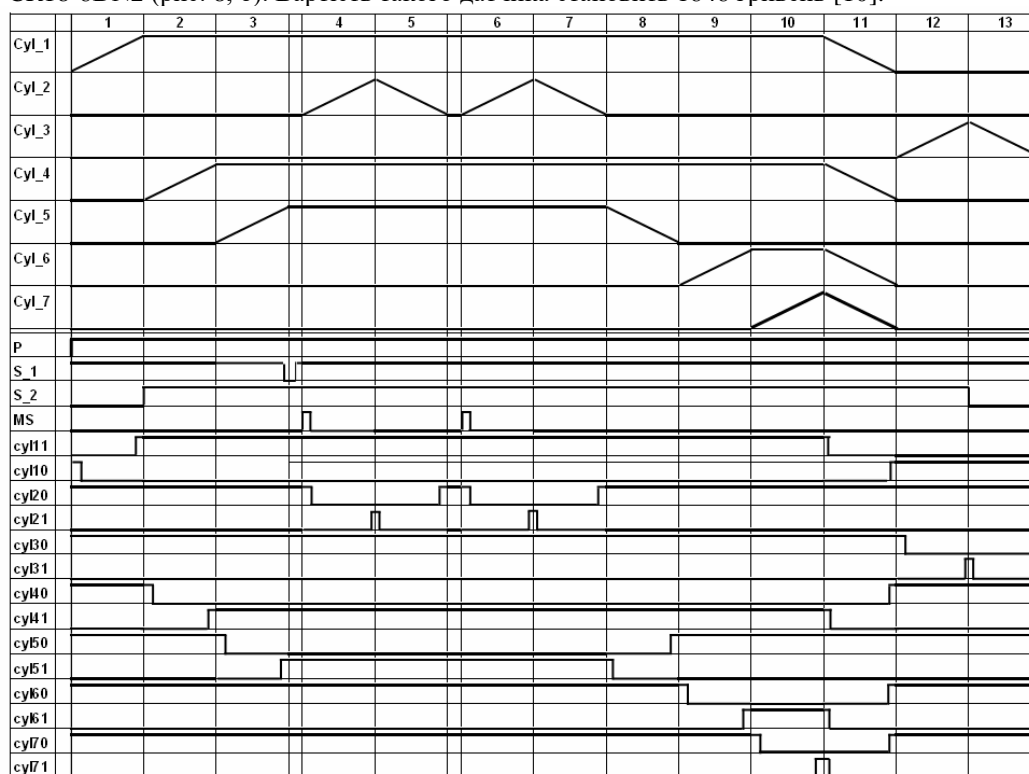


Рис. 7. Циклограма роботи циліндрів



Рис. 8. Датчики у системі автоматизованого пакування ножівкових полотен:
а - Індуктивний датчик Sien M8B-PS-S-L; б - ємнісний датчик Autonics CR18-8DN2;
в - оптичний датчик SOEG-RSP-Q30-PS-K-2L

Ще один із датчиків, який буде використовуватись в системі – це оптичний датчик SOEG-RSP-Q30-PS-K-2L (рис. 8, в). Вартість датчика становить 3441 гривня [11]. Необхідна кількість для системи автоматизованого пакування ножівкових полотен становить 2 штуки. В якості мікроперемикача обрано модель SR-3-E-SW – 14797 в кількості 1 штука, вартістю 1804 гривні. Тоді вартість датчиків в системі становитиме:

$$M_{sensors} = 3441 \cdot 2 + 2400 \cdot 5 + 1848 \cdot 2 + 1804 = 24382 \text{ гривні} \quad (3)$$

З'єднання пакувальної станції із зварювальним апаратом виконано конвеєром 3 з метою пришвидшення процесу пакування. Тому зварювальний апарат на схемі розташування обладнання (рис. 4) змінив своє положення у порівнянні із початковим розташуванням (рис. 3). Відстань між станцією пакування та зварювальним апаратом за новим розташуванням обладнання становить 2 метри.

Конвеєр С3 передбачається із нахилом, оскільки висота пакувальної станції від підлоги складає 900 мм, а зварювального апарату – 1200 мм. Також слід врахувати, що швидкість роботи зварювального апарату більша, ніж пакувальної станції. Тому процес зварювання передбачається із зупинками через певні проміжки часу. Ці зупинки забезпечуються використанням оптичного датчика, який буде відслідковувати рівень заповненості конвеєра 3.

Відстань між коробками на конвеєрі 3 повинна становити не більше 100 мм, тоді конвеєр 3 буде виступати в якості буфера. Обидва конвеєри 2 і 3 передбачаються як стрічкові із шириною 300 мм, що забезпечить належне утримання на їх поверхнях коробок із НП.

Слід відзначити, що конвеєр 3 виконує ще одну функцію – функцію буфера між пакувальною станцією та зварювальним апаратом. У випадку зупинки останнього, процес пакування ножівкових полотен буде продовжуватись до тих пір, поки не спрацює датчик наближення S3. Цей датчик розміщується в кінці конвеєра 3, задача якого відмічати факт заповнення конвеєра.

В якості програмованого логічного контролеру (ПЛК) для системи автоматизованої лінії пакування ножівкових полотен пропонується використовувати Simatic S7-300 фірми Siemens (рис. 9). Особливості таких контролерів, які засновуються на центральних процесорах, включають в себе [12]:

- можливість розширення системи при її модернізації;
- завдяки модульній конструкції можливо використовувати різноманітні функціональні, сигнальні та комунікаційні модулі для максимальної адаптації до конкретно поставлених задач;
- просте включення в мережеві структури, підтримка інформаційних технологій та широкі комунікаційні можливості;
- можливість вибору із широкого діапазону ЦПУ в залежності від поставлених задач автоматизованого керування;
- відсутність необхідності в буферних батареях, зручна конструкція; робота на природному охолодженні, в результаті чого значно зменшуються витрати на експлуатацію.



Рис. 9. ПЛК Simatic S7-300 фірми Siemens

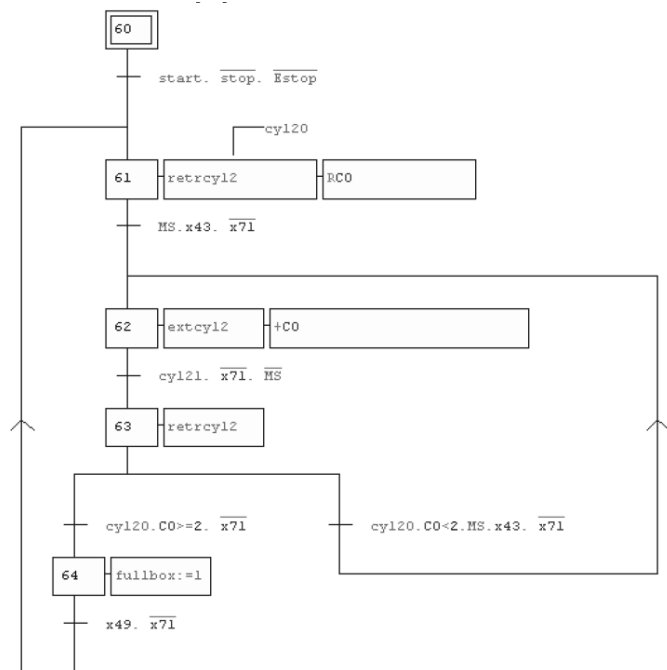


Рис. 10. Підпрограма пакування ножівкових полотен (G60)

Вартість підбраного ПЛК становить 55 000 гривень. В якості модуля живлення пропонується використання джерела живлення PS-307 в кількості 1 штука, виробник – фірма Siemens, вартість 5 500 гривень. Модуль цифрового входу в кількості 2 штуки пропонується також від Siemens, модель SM321 (16 X), вартість кожного становить 8078 гривень. Модуль цифрового виходу фірми Siemens в кількості 2 штуки, вартістю 11 000 гривень кожен моделі SM322 (16 X).

Тоді вартість ПЛК становитиме:

$$M_{PLC} = 55000 + 5500 + 8078 \cdot 2 + 11000 \cdot 2 = 98656 \text{ гривень} \quad (4)$$

Загальна вартість системи автоматизованого пакування ножівкових полотен становитиме:

$$M = M_{cyl} + M_{valve} + M_{sensors} + M_{PLC} = 18359 + 19521 + 24382 + 98656 = 160918 \text{ гривень} \quad (5)$$

В рамках поставлених задач щодо автоматизації лінії пакування ножівкових полотен основним завданням ПЛК є керування циліндрами системи у кількості 7 штук, а також всіма вхідними сигналами від кнопок та датчиків. Програма розділена на ряд підпрограм, загальна кількість яких складає 7 штук. Кожна з цих підпрограм контролює частину технологічного процесу, а саме:

- рух конвеєра 2 – підпрограма G0;
- рух конвеєра 3 – підпрограма G10;
- магазин із пустими коробками – підпрограма G20;
- передача сигналу про пустий магазин із порожніми коробками - підпрограма G30;
- станція пакування - підпрограма G40;
- пакування ножівкових полотен - підпрограма G60 (рис. 10);
- пауза в роботі лінії - підпрограма G70;
- аварійна зупинка - підпрограма G100.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В результаті автоматизації лінії пакування ножівкових полотен було запропоновано пневматичний підхід до вирішення поставленої задачі. Лінія автоматизованого пакування запроєктована як напівавтоматизована, в якій оператор виконує лише загальний нагляд за ходом технологічного процесу та реагує на сигнал аварійної зупинки. Запровадження автоматизації дозволить збільшити швидкість пакування до 350 полотен на хвилину. Вартість запроєктованої системи становить 160 918 гривень.

Література

1. Bahco. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://instrument-service.com/brands/bahco>
2. Bahco SANDFLEX® bi-metal metal saw blades 3906-300-18-10P. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.toolnation.com/bahco-sandflex-bi-metal-metal-saw-blades-3906-300-18-10p.html>
3. Bahco News. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.bahco.com/int_en/news.html
4. Пневматичний циліндр DNCB-32-400-PPV-A – 532734. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ebay.com/itm/175686766116>
5. Пневматичний циліндр DFM-20-400-B-PPV-A-GF. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.ebay.com/b/Festo-Double-Rod-Cylinder-Hydraulic-Pneumatic-Cylinders/184027/bn_114978617
6. Пневматичний циліндр DNCB-32-80-PPV-A – 532727. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ftp.festo.com/Public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/RU_RU/532727.pdf
7. Пневматичний циліндр DSNU-8-50-P-A. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://technical.com.ua/pnevmocilindr-dsnu-8-50-p-a>
8. Пневматичний циліндр DNCB-32-25-PPV-A – 532724. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ftp.festo.com/Public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/RU_RU/532724.pdf
9. Індуктивний датчик Sien M8B-PS-S-L. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://technical.com.ua/the-inductive-sensor-sien-m8b-ps-s-l>
10. Ємнісний датчик Autonics CR18-8DN2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://rozetka.com.ua/289262653/p289262653/?utm_l=r&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA3uGqBhDdARIsAFeJ5r0-0SJ5-4mlt1HjIbAZErPJwuJuetkryjwhQXFFG_yXFOyojALZuAaAoW6EALw_wcB
11. Оптичний датчик SOEG-RSP-Q30-PS-K-2L. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://technical.com.ua/the-optical-sensor-soeg-rsp-q30-ps-k-2l>
12. Програмований контролер Simatic S7-300, Siemens. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://eleksun.com.ua/blog/article/programnyy-kontroler-simatic-s7-300-siemens>

References

1. Bahco. [Electronic resource]. - Access mode: <https://instrument-service.com/brands/bahco>.
2. Bahco SANDFLEX® bi-metal metal saw blades 3906-300-18-10P. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.toolnation.com/bahco-sandflex-bi-metal-metal-saw-blades-3906-300-18-10p.html>.
3. Bahco News. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.bahco.com/int_en/news.html.
4. Pneumatic cylinder DNCB-32-400-PPV-A - 532734. [Electronic resource]. - Access mode: <https://www.ebay.com/itm/175686766116>
5. Pneumatic cylinder DFM-20-400-B-PPV-A-GF. [Electronic resource]. - Access mode: https://www.ebay.com/b/Festo-Double-Rod-Cylinder-Hydraulic-Pneumatic-Cylinders/184027/bn_114978617.
6. Pneumatic cylinder DNCB-32-80-PPV-A - 532727. [Access mode: https://ftp.festo.com/Public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/RU_RU/532727.pdf.
7. Pneumatic cylinder DSNU-8-50-P-A. [Electronic resource]. - Access mode: <http://technical.com.ua/pnevmocilindr-dsnu-8-50-p-a>.
8. Pneumatic cylinder DNCB-32-25-PPV-A - 532724. [Electronic resource]. - Access mode: https://ftp.festo.com/Public/PNEUMATIC/SOFTWARE_SERVICE/DataSheet/RU_RU/532724.pdf.
9. Sien M8B-PS-S-L inductive sensor. [Electronic resource]. - Access mode: <http://technical.com.ua/the-inductive-sensor-sien-m8b-ps-s-l>.
10. Capacitive sensor Autonics CR18-8DN2. [Electronic resource]. - Access mode: https://rozetka.com.ua/289262653/p289262653/?utm_l=r&gad_source=1&gclid=Cj0KCQiA3uGqBhDdARIsAFeJ5r0-0SJ5-4mlt1HjIlbAZEzrPJwuJuetkryjwhQXFFG_yXFOyojALZuAaAoW6EALw_wcB
11. Optical sensor SOEG-RSP-Q30-PS-K-2L. [Electronic resource]. - Access mode: <http://technical.com.ua/the-optical-sensor-soeg-rsp-q30-ps-k-2l>.
12. Programmable controller Simatic S7-300, Siemens. [Electronic resource]. - Access mode: <https://eleksun.com.ua/blog/article/programnyy-kontroler-simatic-s7-300-siemens>.