

doi: 10.32620/oikit.2026.107.13

УДК 658.012.011.56

О. В. Белявський, О. В. Косенко

Опції тестування та захисту автоматизованого технологічного обладнання

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»

У роботі розглянуто проблему забезпечення безаварійної експлуатації технологічного обладнання, що функціонує в автоматичному режимі, на прикладі лінії збирання пневматичних циліндрів. Показано, що зі зростанням складності автоматизованих систем, підвищенням швидкодії та збільшенням кількості операцій, які виконуються без участі оператора, суттєво зростають вимоги до надійності обладнання, точності взаємного позиціонування елементів та своєчасного виявлення аварійних і предаварійних станів. Особливу увагу приділено операціям прецизійного з'єднання критичних елементів конструкції, для яких характерні похибки у вигляді несоосності, перекосу осей та невідповідності просторової орієнтації деталей, що можуть призводити до зниження ресурсу механізмів або відмови обладнання. Запропоновано підхід до організації тестового та покрокового режимів роботи автоматичної системи керування, який дозволяє здійснювати поетапний контроль виконання технологічних операцій, ідентифікувати похибки позиціонування та відмови виконавчих механізмів без переходу системи в аварійний режим. Розглянуто принципи побудови асинхронного керуючого автомата з використанням типових модулів керування пневмоциліндрами, а також механізмів часової синхронізації керуючих і зворотних сигналів. Наведено структуру типового керуючого модуля, який забезпечує узгодження зовнішніх асинхронних сигналів з внутрішньою тактовою синхронізацією та реалізує контроль допустимого часу виконання технологічних операцій. Запропоновані технічні та алгоритмічні рішення підвищують надійність функціонування автоматичних ліній збирання, забезпечують своєчасне виявлення відмов, зменшують імовірність аварійних ситуацій та створюють передумови для впровадження інтелектуальних систем діагностики й захисту сучасного технологічного обладнання.

Ключові слова: автоматичне технологічне обладнання, пневматичний циліндр, похибки позиціонування, асинхронний автомат, покроковий режим, тестування, система керування.

Вступ

Забезпечення безаварійної експлуатації технологічного обладнання, що працює в автоматичному режимі, є однією з ключових проблем сучасної автоматизації виробничих процесів. Актуальність цієї проблеми постійно зростає у зв'язку з ускладненням конструкцій технологічного обладнання, підвищенням швидкодії автоматизованих ліній та збільшенням кількості операцій, які виконуються без безпосередньої участі оператора. У таких умовах навіть незначні відхилення параметрів позиціонування або збої в роботі виконавчих механізмів можуть призводити до аварійних ситуацій, зниження якості продукції та зупинки виробничого процесу.

Особливо відповідальними є операції прецизійного з'єднання критичних елементів механічних систем, де висувуються підвищені вимоги до точності взаємного розташування деталей. До найбільш поширених похибок під час таких операцій належать несоосність з'єднаних елементів, перекіс їх осей, а також помилки орієнтації деталей у просторі. Виникнення подібних похибок у процесі автоматичного збирання ускладнює забезпечення стабільної та безпечної роботи обладнання і потребує застосування спеціалізованих засобів контролю та

захисту.

Сучасні системи автоматичного керування передбачають використання функцій самотестування, контролю стану виконавчих механізмів і сенсорних систем, а також алгоритмів ідентифікації аварійних і передаварійних режимів. Важливу роль при цьому відіграють тестові та покрокові режими роботи, які дозволяють здійснювати поетапний аналіз виконання технологічних операцій, локалізувати причини відмов і зменшити ризик пошкодження обладнання.

У даній роботі розглядаються підходи до побудови системи керування автоматичною лінією збирання пневматичних циліндрів з використанням асинхронного керуючого автомата. Основна увага приділяється аналізу можливих помилок позиціонування, організації покрокового режиму виконання технологічного циклу та реалізації модулів керування, що забезпечують часову синхронізацію та контроль коректності виконання операцій.

Основна частина

Проблема забезпечення безаварійної експлуатації технологічного обладнання (ТО), яке працює в автоматичному режимі, була і залишається актуальною протягом усього часу використання такого ТО. Актуальність проблеми лише збільшується, що зумовлене ускладненням ТО та збільшенням числа функцій, які виконуються в автоматичному режимі [1, 2].

Найбільш відповідальними виявляються операції прицезійного з'єднання критичних елементів конструкцій, які повинні забезпечувати безаварійний характер функціонування механізму.

Функції тестування та захисту потребують наявності додаткових сенсорних пристроїв та алгоритмів ідентифікації аварійних станів, зокрема і наявності відповідних дисплейних функцій, які дозволяють провести ідентифікацію відмови та методів її ліквідації. Останні виводяться на монітори сучасних інтерактивних систем у вигляді підказок можливих дій оператора для виходу з аварійного стану.

В даній роботі розгляду підлягає розробка методів аналізу та захисту автоматичного обладнання, наприклад, лінії збирання пневматичних циліндрів, що дана на рис. 1.

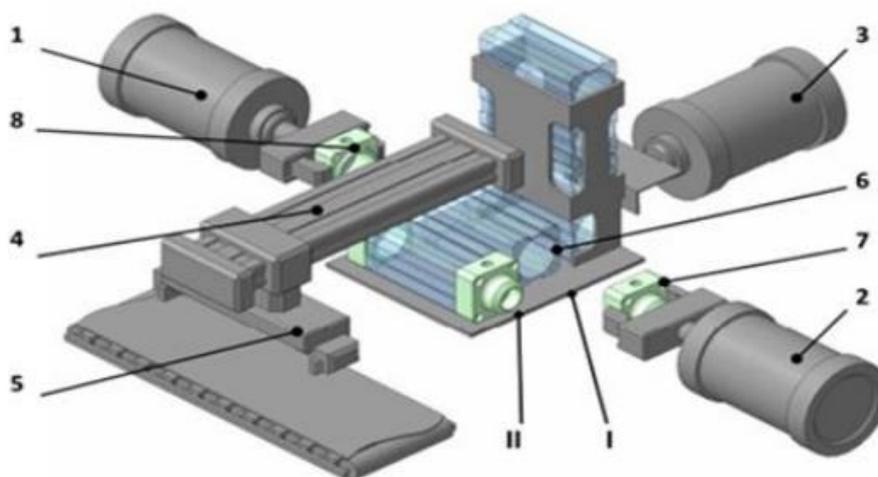


Рис. 1. Лінія збирання пневматичних циліндрів: 1, 2 – пневмоприводи подачі торцевих кришок циліндру; 3 – пневмопривод подачі корпусу циліндра; 4 – привод відвантаження зібраної конструкції; 5 – пневматичний схват

Корпус циліндра з касетного накопичувача приводом 3 подається на позицію встановлення кришок циліндра I. В полуму штоку циліндра 2 попередньо розміщений пневмопоршень зі штоком, на якому розміщена передня кришка 7. Задня кришка 8 попередньо розміщена в схваті привода 1. Операція встановлення кришок циліндра потребує їх прецизійного позиціонування в схватах циліндрів 1 і 2 відносно осі корпусу та направляючих елементів так, як показано на рис. 2.

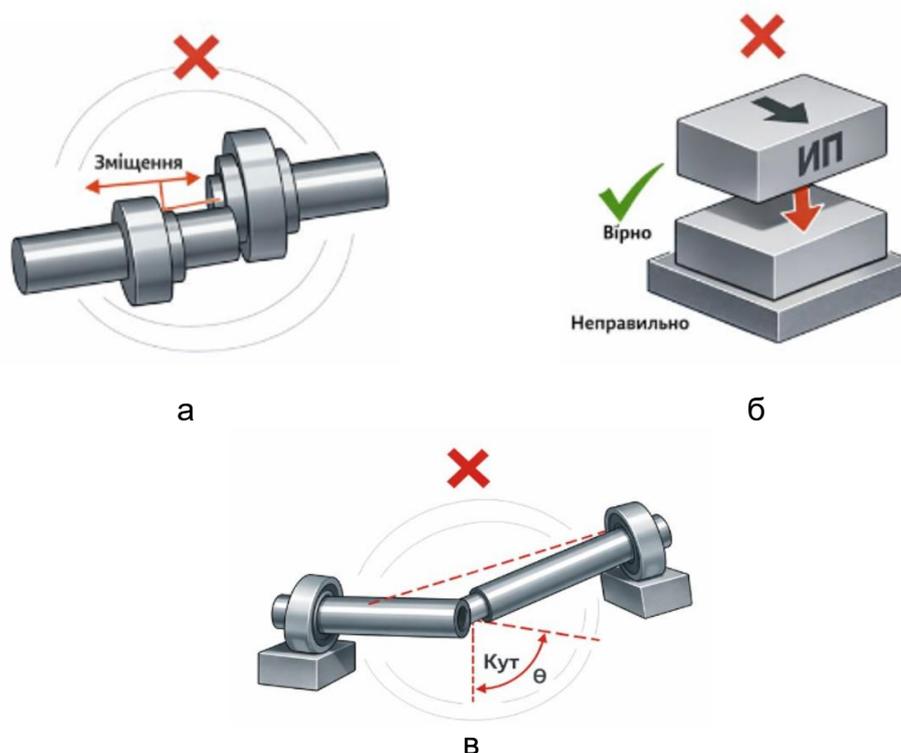


Рис. 2. Можливі похибки позиціонування елементів конструкції:
а) несоосність; б) невідповідність орієнтації сторін (верх/низ); в) перекіс осей

Автоматичне визначення і виправлення похибок позиціонування потребує встановлення відповідних датчиків лінійних та кутових розмірів, а також сенсорів сил притискання, що виникають при операції заpresування кришок. Для точного позиціонування циліндра 6 передбачений поперечний виступ в позиції I збирання циліндру. Для унеможливлення зміщень корпусу під дією силових впливів, передбачене притиснення корпусу циліндра 6 до площини I пневмоприводом 6 (на схемі не показаний).

Робота взагалі всіх керуючих МП пристроїв автоматики починається з самотестування і тестування всіх керованих об'єктів, що підключені до системи. В професійному обладнанні тестування відбувається постійно у так званому «фоновому» режимі [С] в періоди, коли обчислювальні ресурси МП системи не задіяні на виконанні основних керуючих алгоритмів технологічної задачі (верстат з ЧПК, бортовий комп'ютер транспортного засобу, газовий котел системи опалення, тощо). Тестуванню підлягають як безпосереднє виконання окремих команд процесора (тест команд), так і тестування цілісності зовнішніх пристроїв МП системи: пристроїв пам'яті, зовнішніх регістрів, окремих датчиків та агрегатів. В системах, де тестування виконавчих елементів може призвести до фатальних

наслідків, передбачається їх перемикання в особливий режим тестування не пов'язаний з безпосередньою експлуатацією. Системи, де тестування взагалі унеможливлене (ланцюгова реакція, тощо) передбачають математичне моделювання розвитку процесу.

В нашому випадку передбачимо тестовий режим перевірки, в якому можна ідентифікувати будь-яку похибку роботи системи при виконанні робочого циклу зборки. З цією метою передбачимо в системі покроковий режим виконання кожної процедури, який буде вмикатися перемикачем «Тест», а кожна наступна процедура здійснюватиметься за кнопкою «Такт», розміщеною на панелі оператора (ПО). Для верстата з ЧПК такий режим відповідає покадровому виконанню програми, коли перехід до наступного кадру здійснюється при наданні певної команди від ПО.

Для створення покрокового режиму в синхронному автоматі довелося б використати лише один тригер. У випадку ж асинхронного автомата весь робочий цикл прийдеться розбити на окремі кадри, кожен з яких буде синхронізований з кінцем попереднього за допомогою багаторозрядного регістра зсувів, який синхронізуватиметься тактовою командою з ПО. При автоматичному виконанні програми в цей регістр повинні бути занесені логічні «одиниці» в асинхронному режимі. При такому підході до конструювання схеми асинхронного автомата можна припустити, що вона буде створена з окремих функціональних блоків, схожих за своєю структурною схемою, які відповідають за рух конкретного механізму і вмикаються за розкладом, який надається з одного боку потребами технологічного процесу, а з другого - сигналом синхронізації подій. При цьому програмування зводиться лише до створення логіки включень та відключень стандартних керуючих модулів МП системи. Залишається невизначеним питання часової синхронізації керуючого фронту зовнішнього сигналу відповіді механізма з внутрішнім сигналом тактової синхронізації керувального автомата. Це питання можна вирішити за допомогою збереження відповіді до приходу сигналу синхронізації деяким ускладненням конструкції типового керуючого модуля. Приклад такого модуля мовою FBD «Owen Logic» [3] наведений на рис. 3.

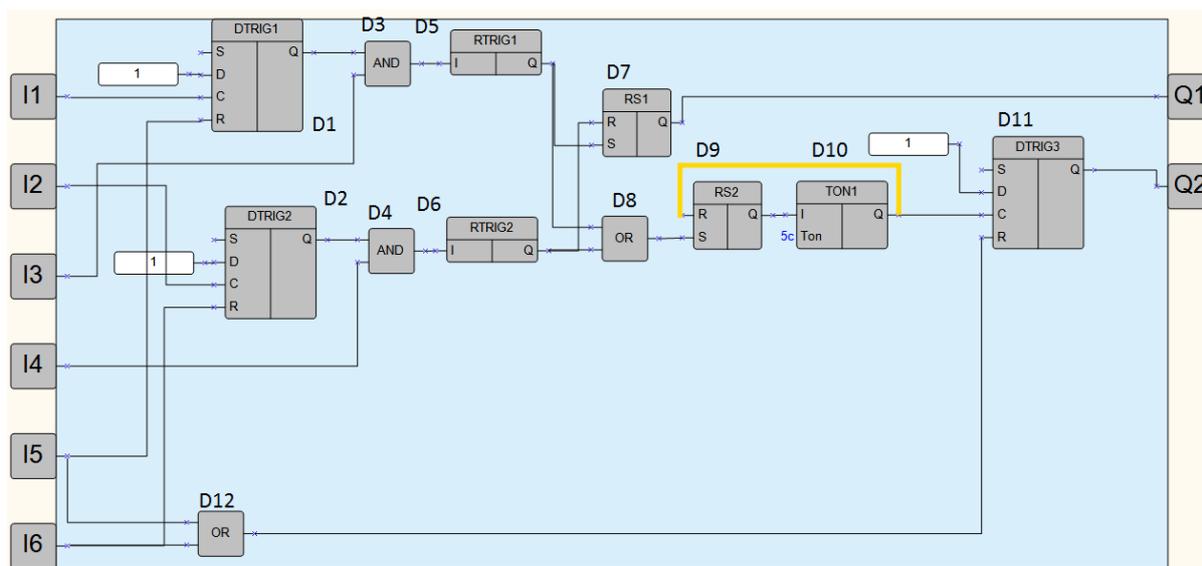


Рис. 3. Типовий модуль керування пневмоциліндром в складі асинхронного автомату

В схемі типового модуля керування команда виконавчому механізму запам'ятовується тригером D7 (потенціальний асинхронний симетричний RS-тригер), який керується двома однотипними схемами, в яких елементи D1 і D2 призначені для фіксації команди, яка відбувається в будь-який час (входи I1, I2 типового модуля), а далі переноситься до тригера D7 синхронно через елементи D3...D6 за допомогою зовнішніх сигналів синхронізації (входи I3, I4 типового модуля).

Схема на елементах D8...D12 призначена для контролю часу виконання технологічної операції. Якщо сигнали датчиків якості запізняться в часі, в тригер D11 буде записана логічна «одиниця», що свідчитиме про відмову механізму, або про його перевантаження.

Структурна схема системи керування лінією зборки з можливістю покрокового виконання алгоритму наведена на рис 4. На входи I1 та I2 контролера подані тактові сигнали і сигнал готовності системи (наявність енергоживлення) відповідно. Інші сигнали підписані на схемі.

Тактові сигнали зовнішньої синхронізації поступають на лічильник CTN1, де підраховуються за порядковим номером. Через елементи порівняння (EQ) імпульси синхронізації подаються на відповідні керувальні модулі, що визиває їх взаємодію з обладнанням в певній фазі технологічного процесу.

В разі несвоєчасного виконання будь-якої операції (час затримки більший 5С) з'являється сигнал логічної одиниці на виході Q7 контролера (похибка).

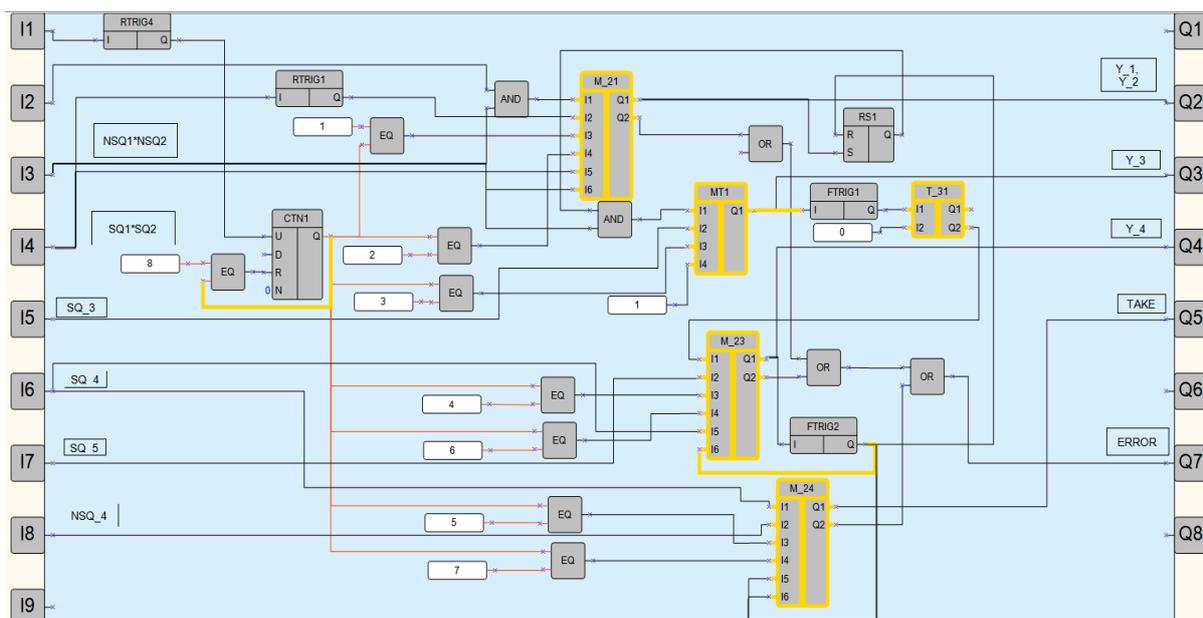


Рис. 4. Структурна схема системи керування лінією збирання пневматичних циліндрів: M_21...M_24 – типові модулі керування пневмоциліндрами; MT1- нетиповий модуль (без зворотних зв'язків); T_31 – реле затримки часу

Висновки

В роботі проведений аналіз методів створення керуючих автоматів на базі промислових логічних контролерів з метою покращення їх тестових можливостей та функцій захисту ТО. Запропонований метод синтезу асинхронних цифрових автоматів на базі типових функціональних модулів, які виконані у вигляді

макрОВИзначень, що охоплюють основні функції технологічного завдання. Режим тестування технологічного обладнання здійснюється в покроковому виконанні технологічного завдання, що забезпечується переведенням МП-автомату в кроковий режим.

Список літератури

1. Жабін, В. І. Прикладна теорія цифрових автоматів: навч. посібн. / В. І. Жабін, І. А. Жуков, І. А. Климено, В. В. Ткаченко. – К.: Нац. авіац. ун-т, 2007 р. – 363 с.
2. Кочубей, О. О. Прикладна теорія цифрових автоматів: Логічні основи: навч. посіб. / О. О. Кочубей, О. В. Сопільник. – Д.: РВВ ДНУ; вид-во ДНУ, 2009 р. – 264 с.
3. Библиотека подпрограмм фирмы «Owen» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://aqteck.ua/ru/arhiv-produkcii/programmnoe-obespechenie-owen-logic>

References

1. Zhabin, V. I. Applied theory of digital automata: textbook / V. I. Zhabin, I. A. Zhukov, I. A. Klymeno, V. V. Tkachenko. – Kyiv: National Aviation University, 2007. – 363 p.
2. Kochubey, O. O. Applied theory of digital automata: Logical foundations: textbook / O. O. Kochubey, O. V. Sopilnyk. – D.: RVV DNU; DNU Publishing House, 2009. – 264 p.
3. Library of subprograms of the firm «Owen» [Electronic resource] .Access mode: <https://aqteck.ua/ru/arhiv-produkcii/programmnoe-obespechenie-owen-logic>

Надійшла до редакції 24.01.2026, розглянута на редколегії 10.02.2026

Automated process equipment testing and protection options

The paper considers the problem of ensuring trouble-free operation of technological equipment operating in automatic mode, using the example of a pneumatic cylinder assembly line. It is shown that with the increasing complexity of automated systems, increasing speed and increasing the number of operations performed without the participation of the operator, the requirements for equipment reliability, accuracy of mutual positioning of elements and timely detection of emergency and pre-emergency states are significantly increasing. Particular attention is paid to operations of precision connection of critical structural elements, which are characterized by errors in the form of misalignment, skew of axes and inconsistency of spatial orientation of parts, which can lead to a decrease in the resource of mechanisms or equipment failure. An approach to organizing test and step-by-step modes of operation of an automatic control system is proposed, which allows for phased control of the execution of technological operations, identification of positioning errors and failures of actuators without the system going into emergency mode. The principles of constructing an asynchronous control machine using typical pneumatic cylinder control modules, as well as mechanisms for time synchronization of control and feedback signals, are considered. The structure of a typical control module is presented, which ensures coordination of external asynchronous signals with internal clock synchronization and implements control of the permissible time for performing

technological operations. The proposed technical and algorithmic solutions increase the reliability of automatic assembly lines, ensure timely detection of failures, reduce the likelihood of emergency situations and create the prerequisites for the implementation of intelligent diagnostic and protection systems for modern technological equipment.

Keywords: automatic technological equipment, pneumatic cylinder, positioning errors, asynchronous machine, step-by-step mode, testing, control system.

Відомості про автора:

Белявський Олександр Вадимович – старший викладач кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; o.bieliavskiy@khai.edu; ORCID: 0000-0002-5782-8437.

Косенко Оксана Валеріївна – старша викладачка кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем, Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут» м. Харків, Україна; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778

About the Author:

Oleksandr BIELIAVSKYI – senior teacher of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; o.bieliavskiy@khai.edu; ORCID: 0000-0002-5782-8437.

Oksana KOSENKO – senior teacher of Department of Theoretical Mechanics, Engineering and Robomechanical Systems, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine; o.kosenko@khai.edu; ORCID: 0009-0007-6264-5778