

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ**

І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова

**ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ
ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ
КОМПЛЕКСІВ АСУ ТП**

Навчальний посібник



УДК 681.51

Н40

Рецензенти:

– Притчин С. Е., д-р техн. наук, професор кафедри автоматизації та інформаційних систем, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського;

– Хорошайло Ю. Є., канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри проектування та експлуатації електронних апаратів, Харківський національний університет радіоелектроніки.

*Рекомендовано Вченою радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол №5/1 від 04.05.2023 р.).*

Невлюдов І. Ш.

Н40 Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно-технічних комплексів АСУ ТП : Навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова. – Харків: Видавництво Іванченка І. С., 2023. – 267 с.

ISBN 978-617-8059-95-8

DOI: 10.30837/978-617-8059-95-8

У навчальному посібнику розглядаються питання практичного застосування віртуальних макетів технічних засобів автоматизації, які використовуються для розроблення програмно-технічних комплексів сучасних АСУ ТП. Наведено приклади найпоширеніших технічних засобів автоматизації технологічних процесів і реалізації керування ними за допомогою релейно-контактної логіки.

Зміст навчального посібника «Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно-технічних комплексів АСУ ТП» відповідає освітнім програмам підготовки бакалаврів і магістрів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

УДК 681.51

ISBN 978-617-8059-95-8
DOI: 10.30837/978-617-8059-95-8

© І. Ш. Невлюдов,
С. П. Новоселов,
О. В. Сичова, 2023

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Віртуальні прилади та цифрові двійники технологічного обладнання АСУ ТП	13
1.1 Визначення цифрового двійника	13
1.2 Зв'язки між цифровими двійниками в системах.....	15
1.3 Цифровий двійник в життєвому циклі об'єкта	17
1.4 Розробка цифрового двійника.....	22
1.5 Технічні аспекти цифрового двійника	25
1.6 Цифровий двійник на практиці.....	30
1.7 Контрольні питання	35
2 Технічні засоби для автоматизації технологічних процесів.....	36
2.1 Світлова колона (світлофор)	36
2.1.1 Застосування світлових колон на виробництві	36
2.1.2 Опис конструкції макету світлової колони	40
2.1.3 Алгоритм роботи світлової колони	47
2.2 Штампувальний автомат	48
2.2.1 Різновиди штампувальних автоматів	48
2.2.2 Лабораторний макет для вивчення принципів роботи штампувального автомату.....	51
2.2.3 Навчальний програмований логічний контролер NTech PLC206-D	59
2.3 Конвеєр і технологічна лінія	67
2.4 Пристрій живлення деталями технологічної лінії	73
2.4.1 Принцип дії накопичувачів деталей.....	73
2.4.2 Опис конструкції макету накопичувача та принципу його роботи	77
2.4.3 Опис структурної схеми модуля керування накопичувачем.....	80
2.5 Модуль вводу/виводу дискретних сигналів	81
2.5.1 Призначення модулів вводу/виводу дискретних сигналів	81
2.5.2 Структурна схема модулю вводу/виводу дискретних сигналів.....	83

2.6 Модулі формування дискретних і аналогових сигналів. Модуль сенсорних кнопок керування.....	86
2.6.1 Модуль формування дискретних сигналів	86
2.6.2 Модуль сенсорних кнопок для управління технологічним обладнанням	92
2.6.3 Модуль формування аналогових сигналів	96
2.7 Організація введення аналогових сигналів	98
2.7.1 Загальні відомості про модуль вводу аналогових сигналів.....	98
2.7.2 Опис структурної схеми навчального модуля вводу аналогових сигналів	101
2.7.3 Опис схеми захисту входів від пошкодження.....	106
2.8 Контрольні питання	107
3 Опис віртуальних приладів	108
3.1 Віртуальний прилад «Світлова колона»	108
3.2 Віртуальний прилад «Штампувальний автомат»	115
3.3 Віртуальний прилад «Конвеєр та технологічна лінія».....	122
3.4 Віртуальний прилад «Модуль формування та відображення стану дискретних сигналів»	129
3.5 Віртуальний прилад «Програмований логічний контролер. Модулі вводу-виводу дискретних сигналів».....	133
3.6 Віртуальний прилад «Дозатор»	135
3.7 Віртуальний макет «Аналого-цифровий перетворювач».....	138
3.7.1 Віртуальний прилад «Семисегментний чотирьохрядний цифровий індикатор»	138
3.7.2 Віртуальний прилад «Аналого-цифровий перетворювач»	142
3.8 Контрольні питання	145
4 Побудова логічних елементів засобами релейно-контактної логіки	146
4.1 Вхідні та вихідні контакти LD	146
4.1.1 Вхідні контакти	146
4.1.2 Вихідний елемент (катушка)	150
4.2 Основи бінарної логіки	152
4.2.1 Основні поняття алгебри логіки	152

4.2.2 Основні логічні функції.....	153
4.3 Створення логічних елементів засобами LD.....	162
4.3.1 Приклад створення логічного елемента НІ.....	162
4.3.2 Приклад створення логічного елемента І.....	164
4.3.3 Приклад створення логічного елемента І-НІ.....	165
4.3.4 Приклад створення логічного елемента АБО.....	166
4.3.5 Приклад створення логічного елемента АБО-НІ.....	168
4.3.6 Приклад створення логічного елемента заперечне АБО.....	169
4.3.7 Приклад створення логічного елемента заперечне НІ.....	172
4.3.8 Моделювання роботи асинхронного триггеру.....	174
4.3.9 Приклад створення програми для автоматизованої охоронної сигналізації на логічних елементах.....	180
4.4 Синтез багатотактних автоматів.....	184
4.5 Контрольні питання.....	199
5 Таймери та елементи затримки в LDmicro та LD.....	200
5.1 Основні відомості.....	200
5.1.1 Таймер із затримкою вмикання TON (TURN-ON DELAY).....	200
5.1.2 Таймер із затримкою вимкнення TOF (TURN-OFF DELAY).....	203
5.1.3 Таймер фіксованого часу вмикання THІ (TIMER HIGH).....	205
5.1.4 Таймер фіксованого часу вимкнення TLO (TIMER LOW).....	206
5.1.5 Таймер з накопиченням часу вмикання RTO (RETENTIVE TIMER) ..	208
5.1.6 Таймер з накопиченням часу вимкнення RTL (RETENTIVE TIMER LOW).....	211
5.1.7 Циклічний таймер TCU (CYCLIC TIMER).....	213
5.2 Приклади використання таймерів в технологічних програмах.....	214
5.2.1 Приклад застосування таймерів TON та TOF.....	214
5.2.2 Приклад застосування циклічного таймеру TCU.....	217
5.2.3 Приклад застосування таймеру фіксованого часу вмикання THІ.....	219
5.2.4 Приклад програми керування пультом охоронної сигналізації.....	222
5.3 Контрольні питання.....	225
6 Використання спеціалізованих інструкцій LD-micro.....	226
6.1 Застосування цифрових індикаторів в технічних засобах автоматизації.....	226

6.2 Організація введення аналогових сигналів засобами LD	241
6.2.1 Загальні відомості	241
6.2.2 Реалізація індикатору рівня аналогового сигналу у вигляді стовпчикової діаграми	243
6.2.3 Відображення отриманих даних від АЦП на семисегментному індикаторі	245
6.2.4 Конвертація даних від АЦП в значення вимірюваної величини	252
6.2.5 Використання резистивних дільників для вимірювання напруги, що перевищує максимально дозволене значення на вході АЦП	260
6.3 Контрольні питання	264
Перелік використаних джерел	265

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АСУ	– автоматизована система управління;
АСУ ТП	– автоматизована система управління технологічними процесами;
АЦП	– аналого-цифровий перетворювач;
ГАВ	– гнучкі автоматизовані виробництва;
ГВС	– гнучкі виробничі системи;
ЕППЗП	– електрично-перепрограмований постійний запам'ятовуючий пристрій;
ІЧ	– інфрачервоне;
КІТАМ	– кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки;
ЛЕ	– логічний елемент;
ЛП	– логічний пристрій;
МК	– мікроконтролер;
ПЛК	– програмований логічний контролер;
ПК	– персональний комп'ютер;
ХНУРЕ	– Харківський національний університет радіоелектроніки;
ЧПУ	– числове програмне управління;
API	– application programming interface (програмний інтерфейс програми);
IDE CODESYS	– інтегроване середовище розробки додатків для програмованих контролерів;
RTL	– таймер з накопиченням часу вимкнення (retentive timer low);
RTO	– таймер з накопиченням часу вмикання (retentive timer);
ТСУ	– циклічний таймер (cyclic timer);
ТНІ	– таймер фіксованого часу вмикання (timer high);
TLO	– таймер фіксованого часу вимкнення (timer low);
ТОF	– таймер із затримкою вимкнення (turn-off delay);
TON	– таймер із затримкою вмикання (turn-on delay).

ВСТУП

Будь-яку технологічну програму найкраще тестувати на реальному обладнанні. Це дозволяє знайти неточності в коді та алгоритмах, що закладені в його роботу. На етапі підготовки фахівців, в процесі навчання, коли досвіду роботи з програмованими логічними контролерами (ПЛК) ще недостатньо, лабораторні макети відіграють найважливішу роль – розвивають навички в інженерів передбачувати можливі наслідки від помилки в програмі. Для цього створюються макети реальних пристроїв, верстатів або навіть цілих автоматизованих виробничих ділянок.

На кафедрі комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки (КІТАМ) Харківського національного університету радіоелектроніки [1, 2] в лабораторії «Промислової автоматизації та мехатроніки ім. С. В. Денисова» в навчальний процес впроваджено декілька спеціалізованих навчальних стендів в яких промислові програмовані логічні контролери та засоби автоматизації поєднані з навчальними макетами. Це і стенд фірми ОВЕН «Автоматизація управління вентиляцією на виробничому підприємстві», Навчально-методичні лабораторні комплекси від компанії «CAMOZZI Automation» – «Пневматика», «Пневмоприводи та мехатроніка».

Також в лабораторії власноруч викладачами та студентами створюються комплекти навчального обладнання і виконавчих пристроїв для проведення лабораторних робіт. За допомогою таких комплектів поступово створюється діюча модель автоматизованої ділянки збирання засобів радіоелектроніки для моделювання основних принципів роботи сучасного виробництва в рамках концепції Industry 4.0.

Вже виготовлено і впроваджено в навчальний процес такі макети: навчальний програмований контролер; модуль дискретного вводу-виводу; модуль аналогового вводу; макет штампувального автомату; макет світлової колони; модульний ПЛК в основі якого працює міні-ПК Raspberry PI.

Перевага лабораторних макетів – це можливість наочно побачити результати роботи програми для ПЛК в дії на прикладі реального обладнання.

Особливості застосування макетів – це їх обмежена кількість і можливість працювати з ними за розкладом протягом лабораторних занять, або після навчання в наукових студентських гуртках. Але, як показує практика, деякі студенти мають бажання продовжувати дослідження вже вдома, виконуючи індивідуальні завдання, або вивчаючи позапланові матеріали. В таких випадках постає закономірне питання – як забезпечити кожного, хто бажає, персональним лабораторним стендом? Відповідь знаходиться на поверхні: використовувати віртуальні аналоги реальних макетів.

Концепція віртуальних макетів передбачає можливість як найповніше імітувати поведінку реальних пристроїв. Це стосується і анімації переміщення рухомих частин приладу, і способів підключення до самого макету.

Деякі інтегровані середовища розробника мають вбудовані засоби візуалізації, за допомогою яких інженер може створювати графічні інтерфейси керування та відображення інформації, що отримується від датчиків. Наприклад, в IDE CODESYS такий компонент Visualisation, який дозволяє створювати різноманітні екрани візуалізації за допомогою графічних примітивів.

Існують також інструменти, які дозволяють лише писати програмний код на одній з технологічних мов програмування, або на традиційній для програмістів мові, але не мають ніякої можливості візуального відображення стану роботи обладнання.

Запровадження дистанційного навчання в останні роки внесло свої корективи в графік навчального процесу та показало важливість кожної складової в підготовці сучасних фахівців hi-tech спеціальностей. Вже на перших тижнях гостро відчувалось відсутність можливості використання спеціалізованих макетів студентами вдома при виконанні лабораторних робіт. Тому було вирішено створити універсальну програмну платформу для віртуалізації вже існуючих лабораторних макетів і розроблення нових. В основу платформи була закладена можливість взаємодії з віртуальним пристроєм через декілька комунікаційних протоколів: Serial Protocol, Modbus TCP/IP, Inter-Process Communication.

Крім того, брались до уваги компетенції професійної підготовки майбутніх фахівців, а також сучасні тенденції розроблення засобів радіоелектроніки з використанням Arduino серед студентів та навіть школярів.

Наприклад, Serial Protocol широко використовується під час поєднання периферійних пристроїв з контролерами Arduino, а також є не менш популярним в промисловій автоматизації. Реалізація даного протоколу в віртуальному макеті дає можливість використовувати його не тільки для поєднання з середовищем розробки програмного засобу і налагодження написаної програми, а й для самостійного використання програми, як незалежного віртуального пристрою.

Протокол Modbus TCP/IP використовується в промисловості для поєднання засобів автоматизації в єдину промислову мережу. В процесі створення програмного забезпечення та для перевірки правильності функціонування з певною версією ПЛК без наявності самого пристрою в різних IDE вбудовують можливість програмної симуляції. Але, наприклад, в інтегрованому середовищі CODESYS є суттєвий недолік – це неможливість протестувати алгоритм взаємодії між декількома пристроями з використанням комунікаційних протоколів, а також відсутність прямого доступу з програми, робота якої симулюється, до об'єкту керування. Використання протоколу Modbus TCP/IP в поєднанні з CODESYS Control Win V3, дає можливість поєднати середовище CODESYS і віртуальний макет безпосередньо в режимі симуляції.

В процесі навчання основам програмування ПЛК використовується програмний засіб LDmicro. Цей проєкт динамічно розвивається, має відкритий вихідний код та перетворює звичайний мікроконтролер в «промисловий» контролер, що програмується за допомогою технологічної мови LD. Наразі цей проєкт вже поширився на такі сімейства, як AVR, PIC, STM, ESP, Arduino. Таким чином, студенти можуть використовувати наявні в них модулі на базі вказаних мікроконтролерів для самостійного збирання засобів автоматизації їх власних проєктів. Наявність відкритого коду дало можливість зробити необхідні зміни в роботі програми та додати таку функцію, як обмін даними між зовсім незалежними програмами через іменовані канали (Named Pipes) за допомогою технології IPC (Inter-Process Communication).

Поєднавши всі ці технології вдалося створити універсальну платформу для подальшого розвитку віртуалізації лабораторних навчальних макетів. Вона складається з трьох рівнів: комунікаційного, обробки даних, візуалізації (рис. В.1).

Загальний комунікаційний рівень використовується для взаємодії зі сторонніми програмними середовищами розробки технологічних програм, або навіть з апаратними засобами.

Рівень накопичення та обробки даних використовується для обміну інформацією між нижнім і верхнім рівнями. На даному рівні виконується інтерпретація змінних, що використовуються у технологічній програмі та масивами даних, з якими працюють графічні компоненти.

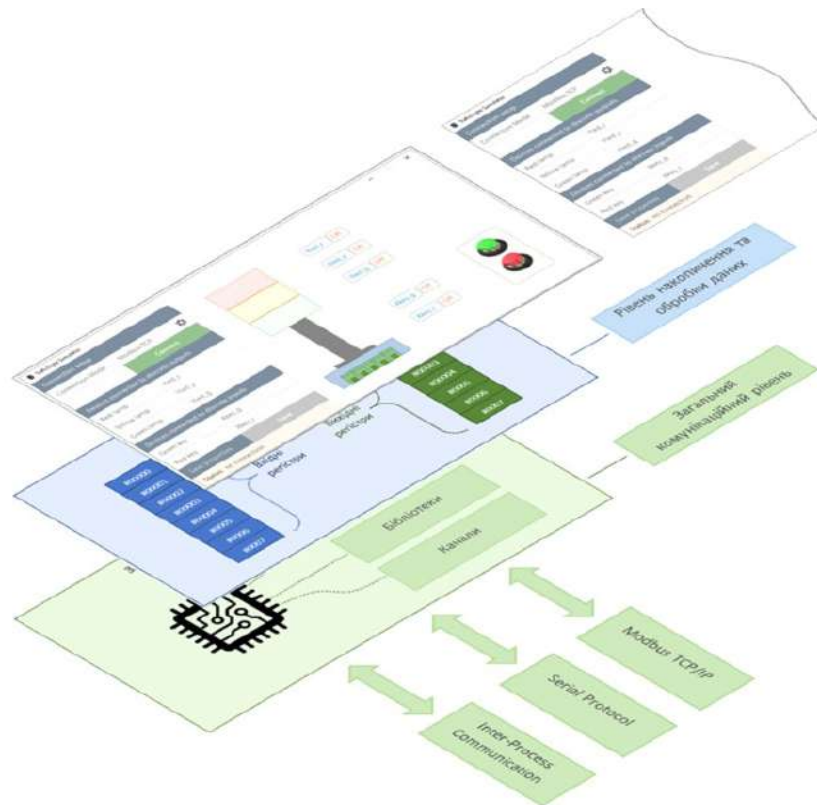


Рисунок В.1 – Архітектура віртуальної платформи

Візуалізація процесу відбувається на верхньому рівні. Він створюється засобами програмування мовою C# та його зовнішній вигляд залежить від принципу дії того макету, дія якого симулюється і може бути реалізована як 3D або 2D-анімація. За допомогою вбудованого редактора властивостей призначаються змінні та закріплюються за відповідними графічними компонентами. В подальшому, отриманні дані візуалізуються, а динамічні компоненти, наприклад, кнопки,

генерують потік інформації, яка впливає на хід роботи технологічної програми. Таким чином відбувається емуляція роботи реального пристрою

Така структура дозволила розробляти різні віртуальні макети з потрібним графічним наповненням, але базуючись на загальному принципі взаємодії з засобами розробки технологічних програм, що закладено на нижніх рівнях. Поступово доповнюючи комунікаційний рівень підтримкою нових протоколів, розширюватиметься сфера застосування існуючих віртуальних макетів.

Навчальний посібник складається з шести розділів. Матеріал подано в зручній та доступній для вивчення студентами формі з великою кількістю ілюстрацій та практичними прикладами.

В першій частині подано опис поняття цифрового двійника, його місце в АСУ ТП, наведено приклади практичного використання. Другий розділ містить інформацію про реальні технічні засоби автоматизації технологічних процесів на виробництві, а також їх лабораторні аналоги. В третьому розділі подано опис віртуальних приладів. Четвертий розділ присвячений питанням побудови логічних елементів засобами релейно-контактної логіки, містить приклади створення різних логічних елементів. У п'ятому і шостому розділах розглядаються таймери та інші спеціалізовані інструкції LD-micro.

Зміст навчального посібника «Застосування цифрових двійників технічних засобів автоматизації для розроблення програмно технічних комплексів АСУ ТП» відповідає освітнім програмам підготовки бакалаврів і магістрів, які навчаються за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

1 ВІРТУАЛЬНІ ПРИЛАДИ ТА ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ АСУ ТП

1.1 Визначення цифрового двійника

Цифровий двійник (Digital Twin) – програмний аналог фізичного пристрою, що моделює внутрішні процеси, технічні характеристики і поведінку реального об'єкта в умовах впливу перешкод та навколишнього середовища. Важливою особливістю цифрового двійника є те, що для завдання на нього вхідних впливів використовується інформація з датчиків реального пристрою, який працює паралельно. Робота можлива як в онлайн, так і в офлайн режимах. Далі можливе проведення порівняння інформації віртуальних датчиків цифрового двійника з датчиками реального пристрою, виявлення аномалій та причин їх виникнення [3, 4].

Встановлення датчиків на реальний пристрій здійснюється у процесі впровадження на підприємстві технологій промислового Інтернету речей (IIoT).

Без створення цифрових двійників виробів неможливе впровадження сучасної технології PLM (Product Lifecycle Management, управління життєвим циклом виробу). IIoT і PLM – невід'ємні атрибути «розумної фабрики» (Smart Factory). Її характерна риса – формування і використання цифрової моделі матеріальних потоків, тобто, цифрового двійника вже не окремого виробу, а виробничої системи.

Усі перелічені технології – це підходи до реалізації концепції Четвертої індустріальної революції (Industry 4.0). Якщо для традиційної промисловості набуття необхідних характеристик виробу ведеться через численні натурні випробування, то завдання Індустрії 4.0 – проводити багаторазові випробування за допомогою цифрового двійника, а натурні випробування проходити з першого разу.

Цифровий двійник виробу містить:

- геометричну і структурну модель об'єкта;
- набір розрахункових даних деталей, вузлів і виробів загалом;
- математичні моделі, які описують всі фізичні процеси, що відбуваються у виробі;

- інформацію про технологічні процеси виготовлення та збирання окремих елементів і виробу в цілому;
- систему керування життєвим циклом виробу.

Цифровий двійник об'єкта – це засіб доступу до інформації про життєвий цикл та єдиний інтерфейс до неї. Цифрові двійники можуть бути створені для будь-якої сутності, яка цікавить підприємство. Цифровий двійник складається із даних, цифрових моделей та сервісних інтерфейсів (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Структура цифрового двійника об'єкту

Цифровий двійник застосовується на всіх стадіях життєвого циклу виробу, включаючи проектування, виробництво, експлуатацію та утилізацію.

На етапі ескізного проектування створюються варіанти комп'ютерної моделі виробу, яка розробляється для оцінки і вибору можливих технічних рішень.

На етапі технічного проектування вибраний на попередньому етапі варіант доопрацьовується та уточняється з використанням моделей елементів. Отримана в результаті модель виробу дозволяє врахувати та оптимізувати взаємодію всіх елементів з урахуванням режимів роботи та впливів навколишнього середовища, її вже можна називати цифровим двійником виробу, який розробляється.

На етапі виготовлення розроблена модель допомагає визначити необхідні допуски при виготовленні для досягнення необхідних характеристик і забезпечення безвідмовної роботи виробу протягом усього терміну служби, а також дозволяє швидко виявляти причини несправностей у процесі тестування.

На етапі експлуатації модель цифрового двійника може бути доопрацьована та використана для реалізації зворотного зв'язку з метою внесення коректив у розробку й виготовлення виробів, діагностику та прогнозування несправностей, підвищення ефективності роботи, для виявлення нових запитів споживачів.

Цифрові двійники можна класифікувати за наступним принципом:

- цифрові двійники-прототипи (Digital Twin Prototypes, DTP);
- цифрові двійники-екземпляр (Digital Twin Instance, DTI);
- агреговані цифрові двійники (Digital Twin Aggregate, DTA).

DTP містить інформацію, необхідну для опису та створення фізичних версій екземплярів виробу. Ця інформація містить геометричну та структурну моделі, технічні вимоги та умови, вартісну модель, розрахункову (проектну) і технологічну моделі виробу. DTP можна вважати умовно-постійною віртуальною моделлю виробу.

DTI виробу описують конкретний фізичний екземпляр виробу, з яким двійник залишається пов'язаним протягом усього терміну служби. Двійники цього типу створюються на базі DTP і додатково мають виробничу й експлуатаційну моделі, які містять історію виготовлення виробу, застосування матеріалів і комплектуючих, а також статистику відмов, ремонтів, заміни вузлів і агрегатів тощо. Таким чином, DTI виробу змінюється відповідно до змін фізичного екземпляра під час його експлуатації.

DTA виробу визначається як інформаційна система управління фізичними екземплярами сімейства виробів, яка має доступ до всіх його цифрових двійників.

Класифікація двійників виробничої системи:

- цифровий двійник усієї виробничої системи (BC);
- цифровий двійник виробничої лінії;
- цифровий двійник конкретного активу у виробничій лінії.

1.2 Зв'язки між цифровими двійниками в системах

Рівень абстракції цифрового двійника залежить від умов використання, для яких він розробляється (рис. 1.2).

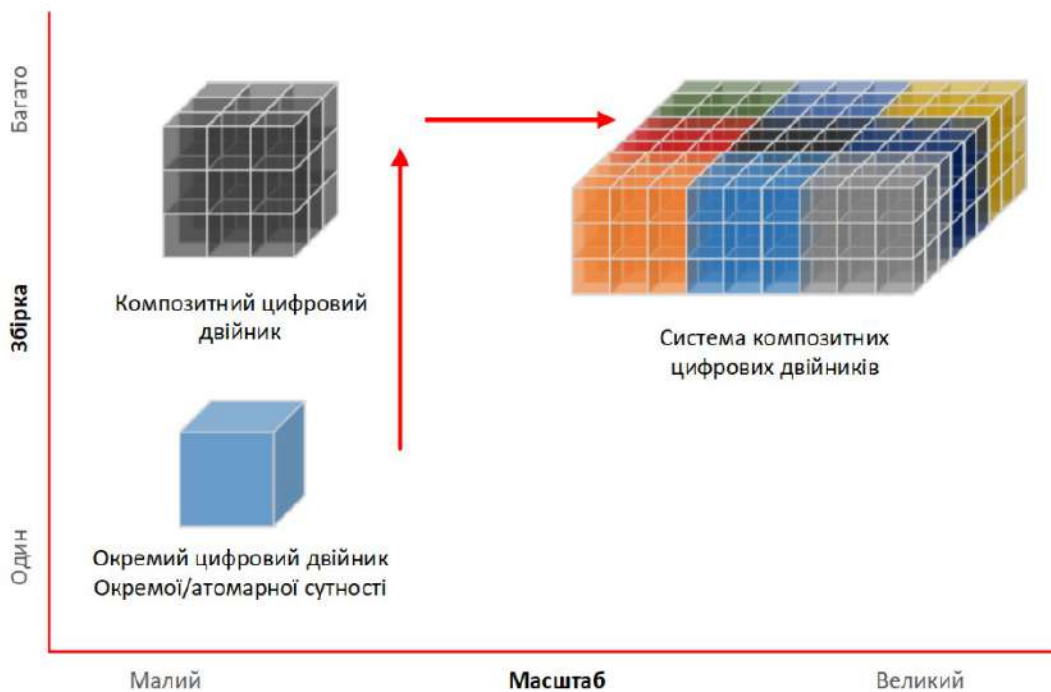


Рисунок 1.2 – Утворення композитного цифрового двійника

Окремий цифровий двійник – це єдине ціле, яке не потребує подальшого розбиття. Наприклад, коробка передач чи двигун шарового млина в шахті на рівні моніторингу може розглядатися як єдиний об’єкт. Збірка дискретних цифрових двійників для утворення композитного цифрового двійника (рис. 1.2) показана у вигляді вертикального розширення, що описує збільшення складу від одиниці до множини сутностей.

Складений (компонентний) цифровий двійник – це комбінація окремих цифрових двійників, що представляє собою об’єкт, який складається з кількох окремих компонентів або частин. Композиція може проходити на різних рівнях. Наприклад, виробнича комірка – це складне утворення, чий цифровий двійник складається з цифрових двійників пристроїв у цій комірці.

У композитному цифровому двійнику зв’язки між елементами (рис. 1.3) можуть бути такими:

- ієрархічними – аналогічно до їх реальних аналогів, набір цифрових двійників-компонентів об’єднується у цифрового двійника устаткування; кілька цифрових двійників устаткування становлять цифрового двійника виробничої лінії,

а набір цифрових двійників виробничих ліній може бути зібраний в цифрового двійника заводу і так далі;

– асоціативними – між цифровими двійниками, як і між їх реальними прототипами, є асоціації. Цифровий двійник газопроводу пов'язаний цифровими двійниками процесів видобування та споживання газу;

– одноранговими (peer-to-peer) – зв'язки між рівноправними вузлами можна спостерігати в групі обладнання однакового чи схожого типів, що виконує такі ж чи подібні функції. Загальний ефект всього обладнання – це просто сума ефектів, що продукуюються кожним елементом групи. Як приклад це може бути вітрова електростанція, вітрогенератори якої формують композитний цифровий двійник вітрової турбіни.



Рисунок 1.3 – Відношення між цифровими двійниками у збірці

1.3 Цифровий двійник в життєвому циклі об'єкта

Зазвичай інформація про об'єкт розкидана по багатьом інформаційним ресурсам (рис. 1.4), які створені та підтримуються різними організаціями. Це призводить до руйнування інформаційного потоку впродовж життєвого циклу об'єкта через те, що інформаційні ресурси можуть некоректно обмінюватися

даними. Деяка інформація може дублюватися або містити протиріччя, а деяка – взагалі бути відсутньою. В результаті на пошук потрібної інформації, приведення її у потрібний вигляд і створення в ній семантичних зв’язків витрачається багато часу. Більш того, це може призвести до конфліктів в оперативній інформації і посприяти прийняттю неефективних рішень. Крім того, окремі інформаційні банки перешкоджають впровадженню передових методів, таких як розширена аналітика та штучний інтелект, які потребують доступу до великих обсягів інформації.



Рисунок 1.4 – Експлуатація без цифрових двійників

Цифрові двійники допомагають впоратися з проблемою окремих інформаційних сховищ (рис. 1.5). Цифровий двійник виступає як проксі, який централізовано збирає дані про кожний об’єкт, а потім через інтеграційні інтерфейси (наприклад, Application Programming Interfaces, API) робить доступною цю інформацію різним сферам бізнесу в залежності від їх специфічних застосувань.

Це покращує процес прийняття рішень завдяки загальному розумінню робочого стану та знижує загальну вартість життєвого циклу експлуатації та обслуговування заводу.

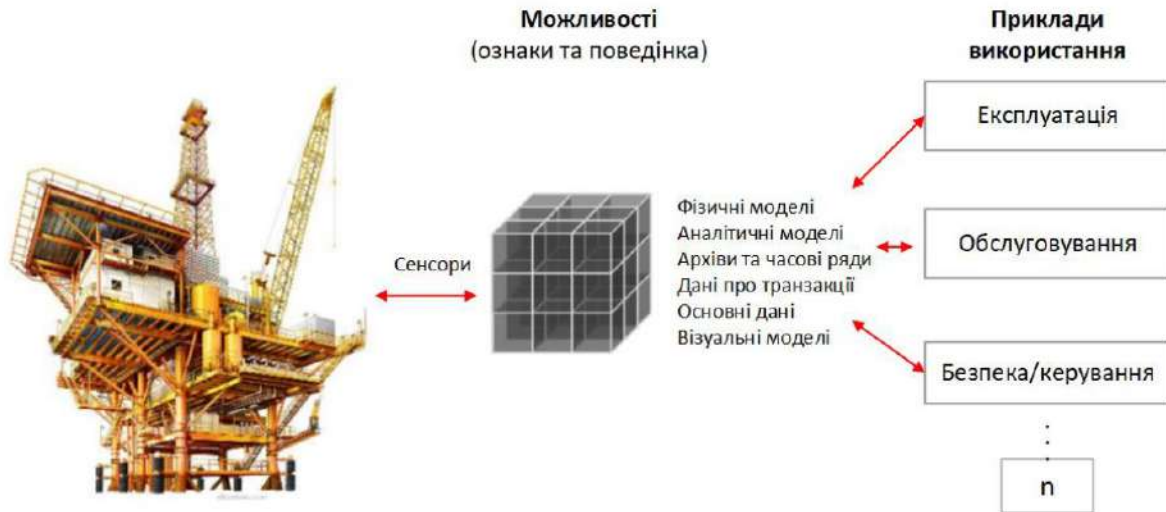


Рисунок 1.5 – Експлуатація із цифровими двійниками

Розглянемо приклад, як цифровий двійник розвивається впродовж життєвого циклу об'єкта, навіть за межами організації (рис. 1.6). У виробничих системах виробник може додати новий тип продуктів до каталогу типів. Споживач обирає типи продуктів, які він хотів би замовити, з каталогу, та розміщує замовлення. Продукт виготовляється та доставляється до споживача. Тим часом, споживач може застосувати різні інструменти для інженерного та віртуального введення в експлуатацію, щоб налаштувати продукт, визначити його параметри та подивитись на взаємодію з іншими продуктами на своєму заводі. Коли реальний продукт доставляється до споживача, він монтується, налаштовується і запускається в експлуатацію. Під час експлуатації продукт може потребувати різного обслуговування. Інформація, отримана під час обслуговування, може надалі використовуватися споживачем для уточнення його наступних замовлень. Виробник може бути поінформований про виявлені у продукті проблеми та використати це для подальшого покращення якості своєї продукції.

Цей простий приклад показує інформаційний потік через границю між виробником і споживачем. На сьогодні цей потік у значній мірі порушений. Наприклад, у компанії можуть бути різні інструменти для вибору, налаштування та віртуального введення в експлуатацію, які не дуже добре взаємодіють між собою та не можуть обмінюватися інформацією. Оперативна інформація щодо продукту може оброблятися в його програмному забезпеченні, а дані про обслуговування зберігаються у відповідних базах даних і відділені від процесу вибору продукту. Навіть якщо існує домовленість про надання часткової оперативної інформації та даних про обслуговування виробнику, вона все одно розкидана по базах даних та спеціалізованому програмному забезпеченні. Її складно вчасно, дешево та без втрат зібрати до купи.

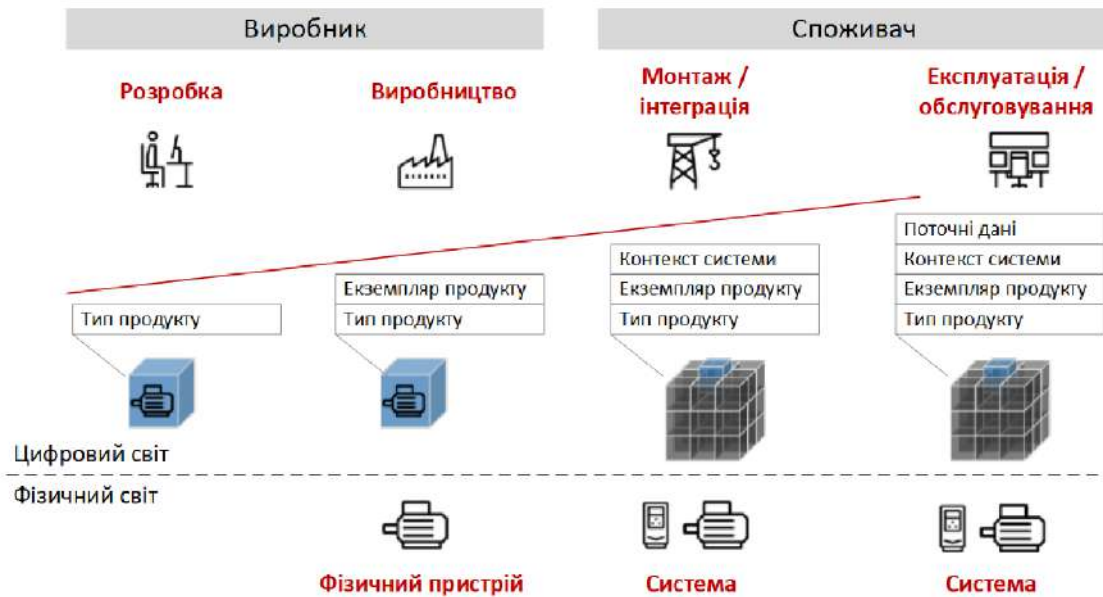


Рисунок 1.6 – Цифровий двійник зменшує розмір інформаційних сховищ

Цифровий двійник об'єкта – це засіб доступу до інформації про життєвий цикл та єдиний інтерфейс до неї. Цифрові двійники можуть бути створені для будь-якої сутності, яка цікавить підприємство. У наведеному прикладі виробник може визначити собі цифрові двійники для типів продукції, додавши до них всю відповідну інформацію, таку як аналіз ринків, креслення автоматизованого проектування, документацію та відомості про продуктивність, отримані від

користувачів. Виробник може також створити цифрового двійника для своєї продукції та зберігати виробничу та сервісну інформацію, отриману від користувачів, просто в ньому. Це дає виробникові єдиний інтерфейс для доступу до всієї інформації про тип продукту та сам продукт, що може мати цінність для кількох компаній водночас. Одна сутність може мати кілька цифрових двійників, тому що контекст може відрізнятися й інформація використовується по-різному.

Між цифровими двійниками різних сутностей, як і в реальному світі, існують семантичні зв'язки. Нехтування ними перетворить позбавлений зв'язків двійник на банк даних самого себе. Так як інформація надходить з різних джерел, в різний час і в різних форматах, встановлення таких зв'язків автоматично стає одним з найбільших викликів в процесі розробки цифрових двійників.

Завдяки забезпеченню єдиної точки входу інформації життєвого циклу сутностей, забезпеченню зв'язків інформації в середині одного цифрового двійника або між різними двійниками, можна досягти багатьох переваг.

Цифрові двійники можуть слугувати основою для застосувань розширеної аналітики та штучного інтелекту, які використовуватимуть та збагачуватимуть контент цифрового двійника. Як альтернатива, розширена аналітика та застосування штучного інтелекту можуть бути частиною цифрового двійника, перетворюючи його на інтелектуальний самодостатній об'єкт.

Не завжди можна виміряти кожний важливий фізичний параметр. Цифрові двійники за допомогою вбудованих фізичних моделей можна використати для створення високоточних програмних датчиків або віртуальних сенсорів, та використовувати їх як заміну фізичним вимірюванням. Використовуючи цифрові двійники, до підконтрольного процесу можна застосувати розширену аналітику та провести симуляцію, щоб передбачити його поведінку у майбутньому.

Поточні вимірювання технологічних параметрів активу, отримані від датчиків, не завжди точні через можливі поломки або дрейф характеристик. Коли аномалія в показниках виникає через відмову датчика, а не через операційну несправність фізичного активу, реакція на аварійну ситуацію не має призвести до непотрібного вимкнення. Фізичні моделі та цифровий двійник можна використати для узгодження даних, щоб підвищити якість вимірювань і впевнитися в їх істинності. Наприклад, в цифровому двійникові електростанції простий тепло-

масовий баланс в контурі допоможе узгодити дані та розпізнати можливу відмову датчика.

Цифрові двійники полегшують спільну розробку на всіх етапах життєвого циклу. Це скорочує час, витрачений на пошук та експорт-імпорт інформації в інструменти, які задіяні в різних задачах.

Цифрові двійники можуть вирішувати експлуатаційні проблеми та проблеми обслуговування, щоб інакше могли б призвести до вартісних простоїв.

Цифрові двійники покращують якість, так як багато помилок у виробництві виникають через недостовірну чи запізнілу інформацію.

Цифрових двійників можна зробити доступними для будь-кого, будь-де і в будь-який час. Обмін досвідом по всьому світі забезпечує цілодобове обслуговування та швидке реагування при максимальному залученні експертів. У випадку, коли для впровадження потрібні операції за місцем, можна залучати місцевих інженерів із віддаленою підтримкою експертів.

Отже, цифрові двійники надають систематичну методологію, технологію та інструменти для представлення складних фізичних і логічних середовищ та забезпечують ефективні моніторинг, діагностику, прогнозування та прописування дій фізичних і логічних об'єктів.

1.4 Розробка цифрового двійника

Для того, щоб представляти об'єкти реального світу в динаміці, екземпляри цифрового двійника повинні бути з'єднані з їхніми фізичними оригіналами, інколи в режимі реального часу, для збирання та упорядкування даних відповідних об'єктів реального світу. Для аналізу цих даних у цифровому двійнику мають бути розрахункові та аналітичні моделі, щоб описувати, діагностувати, прогнозувати та симулювати стани і поведінку реальних об'єктів і систем.

Висновки, отримані в результаті такого аналізу, можуть бути поєднані із бізнес-логікою та цілями для оптимізації виробничих процесів. Щоб цього досягти, розробка цифрового двійника повинна включати сервісні інтерфейси для інтелектуальних промислових застосувань для доступу до даних та аналітичних висновків.

Цифровий двійник складається із даних і розрахункових моделей (тут і далі – просто «моделей») та сервісних інтерфейсів (рис. 1.7). Так само, як об’єктно-орієнтована мова програмування має дані, методи та інтерфейси.



Рисунок 1.7 – Складові цифрового двійника

Цифровий двійник повинен містити дані про свою фізичну копію, тому що вони потрібні моделям, щоб відобразити та оцінити стани і поведінку об’єкта. У багатьох випадках дані можуть складатися з інформації про весь життєвий цикл реального об’єкта. У випадку устаткування – це дані етапу проектування (специфікації, моделі проектування, виробничі процеси і технічні характеристики), етапу виробництва (дані про працівників, виробниче обладнання, матеріали та деталі, методи виробництва та дані про контроль якості), етапу експлуатації (дані про встановлення та конфігурацію, поточні та архівні стани і параметри, відмітки про обслуговування) та навіть дані про процедуру утилізації. Також можуть міститися дані комерційного характеру, такі як записи транзакцій тощо.

Для відображення, розуміння та прогнозування робочих станів і поведінки двійників, цифрова копія повинна включати в себе розрахункові або аналітичні моделі, а також моделі, які використовуються для призначення дій, заснованих на

бізнес-логіці та цілях відповідного об'єкта фізичного світу. Такі моделі можуть містити моделі на основі фізики чи хімії, інженерні чи імітаційні моделі, моделі даних на основі статистики, машинного навчання та штучного інтелекту.

Для допомоги людині у розумінні поточних робочих станів і поведінки об'єкту також можуть бути просторові моделі та моделі з елементами доповненої реальності.

Для доступу до своїх даних і використання своїх можливостей цифровий двійник має містити набір сервісних інтерфейсів для промислових застосунків чи інших двійників. Хоча форма і зміст об'єктів реального світу дуже відрізняються, повинні існувати високорівневі інваріантні конструкції з деякими спільними для кожного цифрового двійника атрибутами даних і моделей, щоб до них можна було одноманітно звертатися та викликати їх.

Можна будувати цифрових двійників відповідно до типів їх реальних аналогів (рис. 1.8).

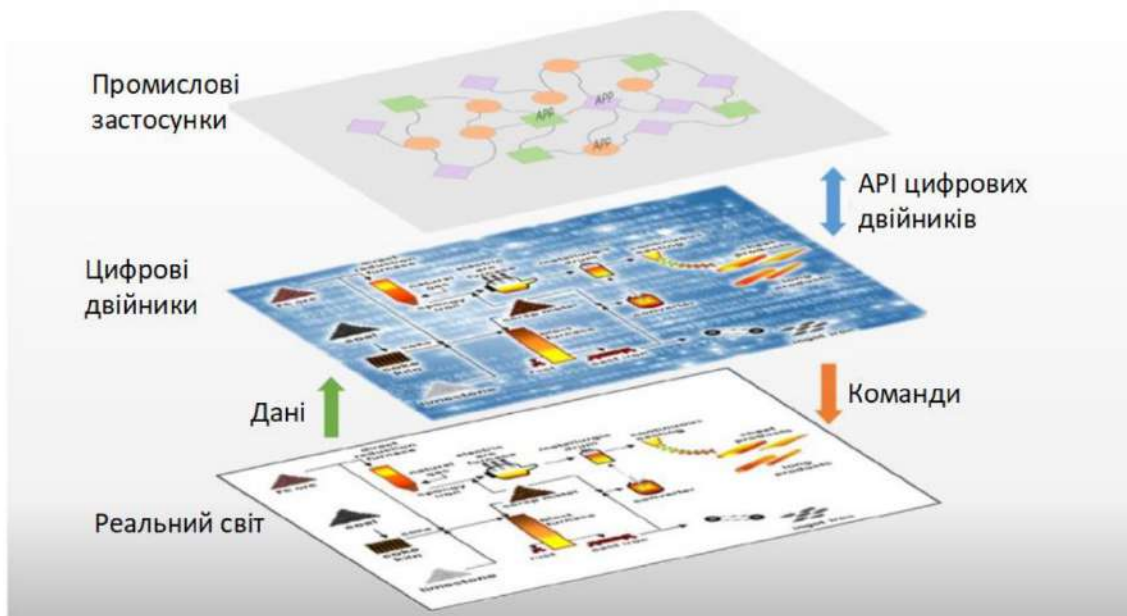


Рисунок 1.8 – Цифрові двійники поєднують розробку та використання

Екземпляри створюються на основі шаблонів їх типів у відповідності до конфігурації середовища. Так само можна встановити логічні зв'язки між екземплярами залежно від їх типів.

1.5 Технічні аспекти цифрового двійника

Деякі технічні аспекти цифрового двійника, що будуть пояснені далі, зображені на рис. 1.9.

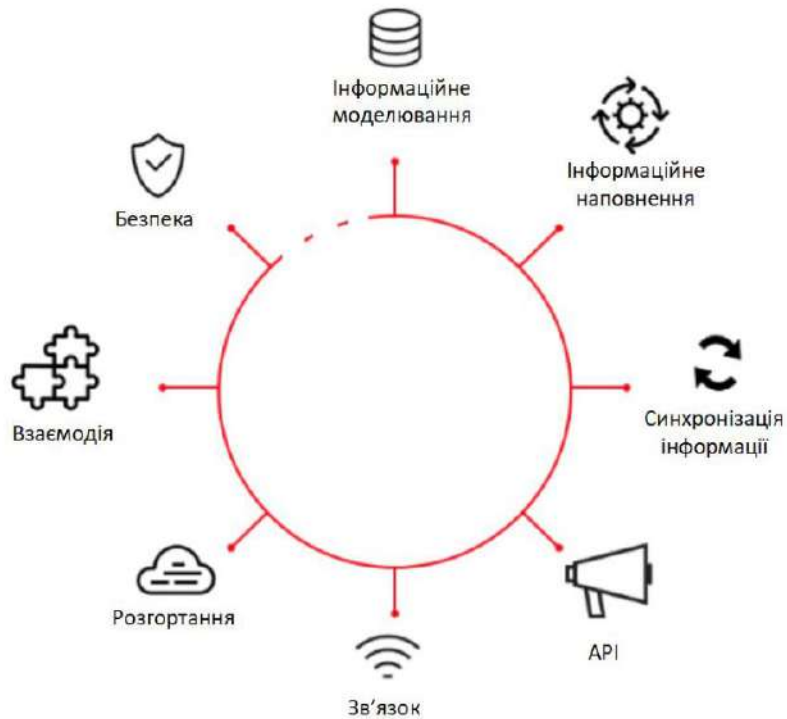


Рисунок 1.9 – Технічні аспекти цифрового двійника

Інформаційне моделювання. Основний елемент цифрового двійника – це інформація, яка стосується різних етапів життєвого циклу сутності. Тут мають бути прийняті ряд ключових рішень, наприклад:

- мета-модель цифрових двійників, яка описує різні внутрішні моделі для різних застосувань;
- механізми структурування та модульності вмісту цифрових двійників, а також розширення вмісту, коли впродовж життєвого циклу об'єкта стають доступними нові види інформації про нього;
- стандарти, які мають бути прийнятими для визначення структури і вмісту цифрових двійників, щоб полегшити обмін даними між компаніями;
- механізми для співставлення існуючої інформації з такими стандартами;

– механізми моделювання відношень між інформацією в середині одного цифрового двійника та засоби моделювання різних збірок цифрових двійників.

Інформаційне наповнення. Інформація для цифрових двійників надходить з різних джерел. Деякі можуть міститися в середині самих двійників. Наприклад, якщо застосунок розширеної аналітики використовує вміст цифрового двійника як свій вхід, то застосунок може лише зберігати результати аналізу в цьому двійникові. У відношенні до інформаційного наповнення цифрових двійників залежно від джерел інформації мають бути прийняті різні принципові рішення, механізми для:

- наповнення інформації з різних джерел, таких як пристрої, застосунки, бази даних чи інші цифрові двійники;
- копіювання інформації в цифрові двійники або посилання на неї, або комбінація цих дій за запитом;
- кешування інформації та наповнення інформації онлайн та офлайн (наприклад, для постійного моніторингу реальних об'єктів або автономних симуляційних тестів).

Синхронізація інформації. Сюди можна віднести:

- засоби синхронізації інформації між цифровим двійником і відповідними джерелами інформації в обох напрямках – від джерел до двійника і навпаки;
- механізми синхронізації інформації між багатьма цифровими двійниками, які є частинами різних складених форм;
- політики (такі як безпека та частота синхронізації) виконання синхронізації та стандарти і засоби забезпечення сумісності цифрових двійників та їх інформаційних джерел для полегшення синхронізації.

API. Цифрові двійники взаємодіють з іншими компонентами. Для полегшення взаємодії мають бути різні програмні інтерфейси:

- API, які підходять до різних типів застосунків (таких як програми для моделювання в реальному часі, аналітичні застосунки та застосунки зі штучним інтелектом), які використовують та наповнюють вміст цифрового двійника;
- API для взаємодії з іншими цифровими двійниками, можливо навіть між постачальниками;
- API для взаємодії із відповідною сутністю для полегшення збору інформації та керування нею і для взаємодії з іншими інформаційними джерелами для збагачення та синхронізації вмісту цифрових двійників.

Щодо доступу до інформації також повинні бути прийняті принципові рішення, такі як:

- механізми автономного (офлайн) доступу до інформації (наприклад, у формі файлів з різними форматами);
- механізми доступу до інформації в режимі онлайн (наприклад, у формі RESTful API);
- механізми потокового або порційного обміну інформацією;
- API для взаємодії на рівнях хмарних сервісів, граничних пристроїв і приладів (наприклад, хмара-хмара, пристрій-хмара та хмара-пристрій), а також стандарти інтерфейсів для полегшення взаємодії між постачальниками.

Зв'язок є ключовим фактором взаємодії між цифровими двійниками. Різні ключові рішення мають стосуватися і зв'язку. Наприклад:

- механізми унікальної ідентифікації двійника та пов'язаної з ним сутності для встановлення зв'язку між ними;
- механізми автоматичного виявлення базової сутності у мережі для встановлення зв'язку з його цифровим двійником;
- механізм виявлення інших цифрових двійників для встановлення зв'язку між ними та стандарти зв'язку для полегшення взаємодії між постачальниками.

Розгортання. Цифрові двійники можуть бути розгорнуті будь-де від граничного пристрою до хмари, залежно від вимог застосування. Вибір, як правило, базується на таких факторах, як:

- вимоги до затримки та часу відгуку;
- взаємодія та інтеграція з іншими системами;
- вимоги до керування;
- вимоги до складності та продуктивності аналітики.

Для розгортання цифрових двійників потрібні будуть механізми, які:

- розгортають вміст цифрового двійника у певному місці, як-то пристрій IoT, граничний пристрій чи хмарне середовище;
- виявляють окремі цифрові двійники, розподілені по різних місцях, щоб об'єднати їх у структуру композитного цифрового двійника;
- підтримують поліморфних цифрових двійників, що означає, що цифровий двійник може бути розгорнуто у різних форматах на різних місцях розгортання.

Один екземпляр цифрового двійника повинен розглядатися як майстер-копія з її основними моделями, основними даними та відповідними визначеннями, які зберігаються в репозиторії (рис. 1.10). Інші екземпляри можуть бути адаптовані для різних застосувань.

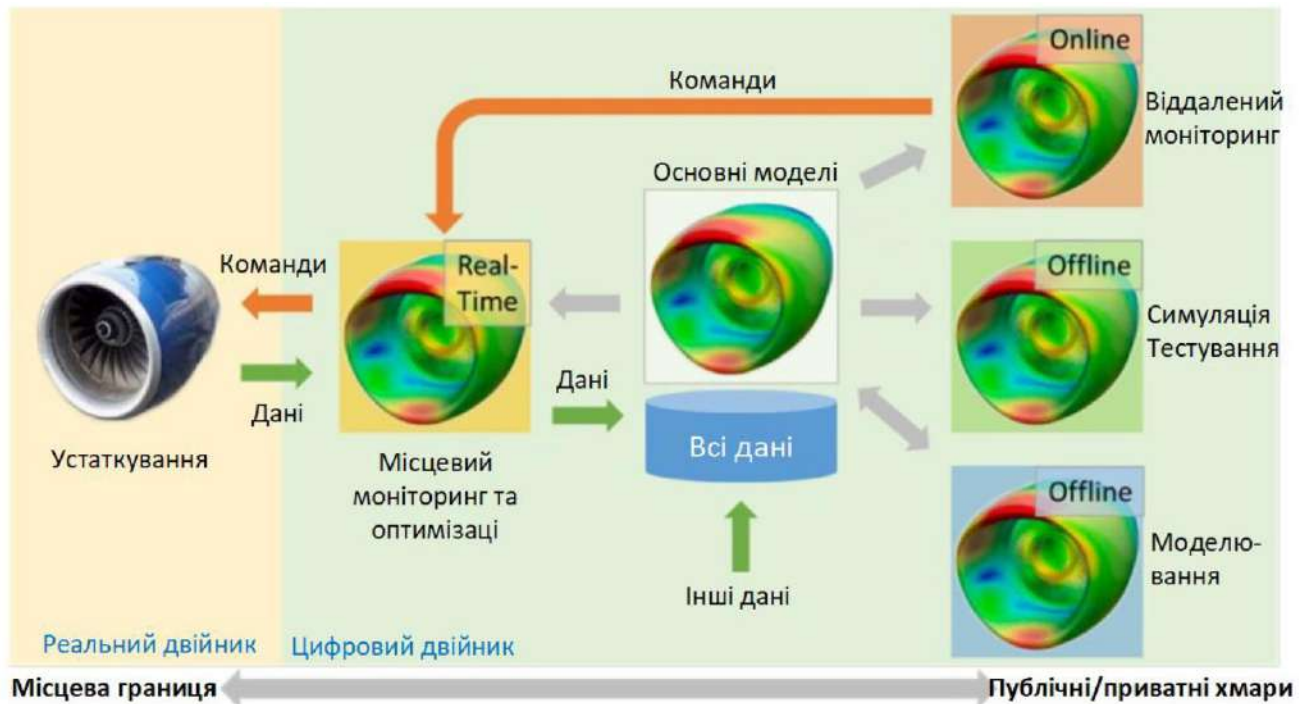


Рисунок 1.10 – Модель розгортання цифрових двійників

Наприклад, для потреб моделювання використовуються автономні (офлайн) екземпляри, а для віддаленого моніторингу – онлайн екземпляри. В останньому випадку інформація буде оновлюватися постійно, відображаючи поточний стан реального об’єкту. Інколи цифровий двійник може бути розгорнутий поряд з фізичним екземпляром, щоб гарантувати швидкий зворотний зв’язок від активу для місцевого моніторингу чи забезпечення аналізу активу в близькому до реального часі.

Безпека: взаємодія цифрових двійників з різними сутностями заснована на різних міркуваннях щодо безпеки. По відношенню до розгортання цифрових двійників потрібно прийняти низку ключових рішень.

Наприклад:

- механізми для забезпечення доступу до вмісту окремого цифрового двійника, наприклад, за допомогою контролю доступу на основі рольової моделі;
- механізми для забезпечення доступу до окремих цифрових двійників, що надаються різними постачальниками, у складі збірних цифрових двійників;
- механізми для забезпечення взаємодії з базовим об'єктом через його цифрового двійника;
- методи забезпечення достовірності інформації, моделей та інших метаданих, таких як ідентифікаційні дані компонентів, їх криптографічні ключі, а також права та привілеї доступу;
- методи безпечного розгортання цифрових двійників та забезпечення правильних, незмінених версій програмного забезпечення для підвищення надійності рішення, що може допомогти захистити інтелектуальну власність певних типів цифрових двійників;
- методи, де це доцільно, для допомоги у вирішенні суперечок, якщо це буде потрібно для встановлення походження або часу певної інформації.

Взаємодія – це «здатність двох або більше систем чи застосунків обмінюватися інформацією та взаємно використовувати отриману інформацію». Для забезпечення сумісності, для визначення синтаксису інформації, її семантики, очікуваної поведінки та правил обміну інформацією потрібні міжнародні стандарти або загально визнані комунікаційні протоколи [5]. Для цього аспекту цифрових двійників мають бути прийняті різні ключові рішення. Наприклад:

- механізми та стандарти для забезпечення взаємодії багатьох цифрових двійників між собою;
- механізми та стандарти для забезпечення взаємодії різних програмних застосунків з цифровими двійниками;
- механізми та стандарти для забезпечення взаємодії цифрових двійників та їх базових об'єктів;
- механізми та стандарти для забезпечення взаємодії цифрових двійників з базовими інформаційними джерелами.

1.6 Цифровий двійник на практиці

Різними компаніями та дослідниками пропонується велика кількість прикладів цифрових двійників. Цей розділ містить кілька прикладів з різних галузей.

Цифровий двійник на виробництві. До складу комерційного літака входять різні компоненти від різних постачальників. Це, наприклад, двигуни, шасі, авіоніка тощо. Тобто цифровий двійник літака – це збірка двійників цих частин. Авіакомпанії – це оператори, які зазвичай купують або орендують літаки у компанії, що відповідає за весь літак. У результаті, на момент доставки літака, за його цифрового двійника нестиме відповідальність виробник літака. Виробник, у свою чергу, покладатиметься на виробників цифрових двійників основних компонентів, таких як двигуни. Ці двійники повинні мати можливість взаємодіяти на єдиній або споріднених платформах. З часом, цих двійників треба обслуговувати, щоб підтримувати в актуальному стані.

Щодо цінності для бізнесу, цифровий двійник літака корисний у предиктивному обслуговуванні, ефективності експлуатації (наприклад, ефективності споживання палива) та розробці стратегії обслуговування активів. Зважаючи на те, що строк експлуатації літака може сягати десятків років і вартість технічного обслуговування літака впродовж строку служби може перевищити його початкову вартість, то використання цифрових двійників є важливою перевагою.

Цифровий двійник в енергетиці та житлово-комунальному господарстві. У процесі гранулювання необхідне ефективне керування піччю та супутнім обладнанням – для енергоефективності, забезпечення високої продуктивності печі та вимог щодо якості.

Цифровий двійник печі гранулювання (рис. 1.11) працює в тандемі з розподіленою системою керування заводу. Він використовується для неперервної оптимізації роботи в режимі реального часу, пропонуючи оператору оптимальні уставки.

Цифровий двійник включає в себе попередню обробку даних, імітаційну модель поведінки обладнання (як на основі даних, так і фізичних властивостей) та модулі самонавчання і рішення (які оптимізують вхідні дані з урахуванням

процесів, якості, безпеки та поточних обмежень). У цифровому двійникові для прогнозування невідомих витрат, температур та концентрації рециркульованих газів використовуються дані з понад 7000 датчиків і програмних сенсорів.

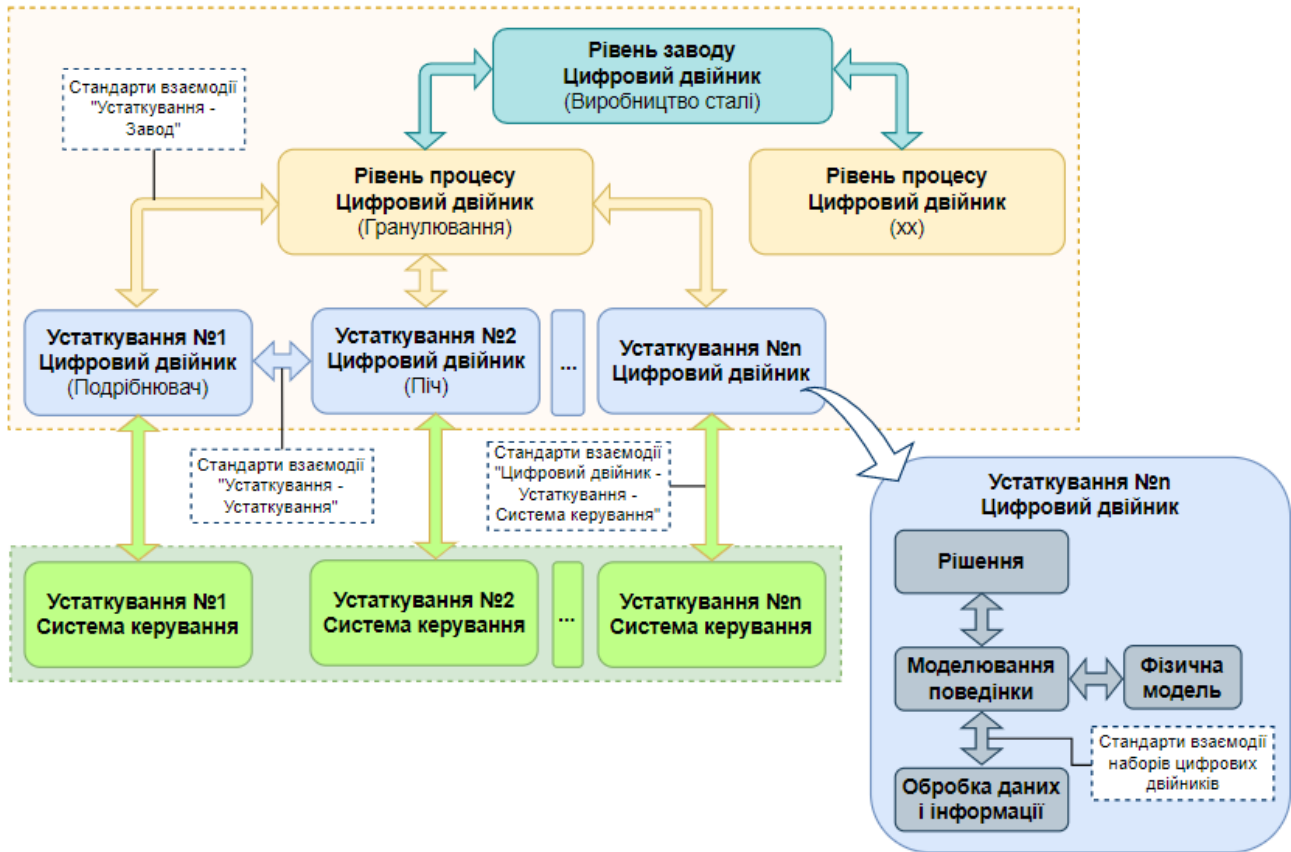


Рисунок 1.11 – Цифровий двійник для процесу гранулювання

Цифровий двійник для сталеливарної промисловості містить:

- цифрового двійника на рівні обладнання для контролю кожної одиниці устаткування;
- субблоків, які роблять можливим створення цифрових двійників на рівні обладнання;
- зв'язки між цифровими двійниками та існуючими системами автоматичного керування;
- цифрового двійника технологічного процесу, що контролює обладнання у процесі;

– цифрового двійника рівня заводу, що контролює послідовності процесів на заводі.

Під час висунення вимог до функціональної сумісності, необхідно враховувати стандарти функціональної взаємодії для зв'язку між блоками. У цьому сценарії цифровий двійник приносить таку цінність бізнесу:

– оптимізація ключових параметрів в реальному часі забезпечує зниження споживання палива на 2%, підвищення продуктивності на 3%;

– розрахунок у режимі реального часу різних показників якості, таких як міцність на стискання гранул та робочих параметрів печі, наприклад температура шару, допомагає оператору приймати швидкі та правильні рішення без необхідності проводити лабораторні тести і припущення.

Цифровий двійник в нафто-газовій галузі. Робота цифрового двійника для моніторингу підземних свердловин впродовж всього життєвого циклу нафтової свердловини починається на етапі розвідки, коли для запуску свердловини використовуються імітаційні моделі на основі сейсмічних та інших підземних даних.

Цифровий двійник свердловини – це складна система. Модель буріння складається з чотирьох унікальних незалежних елементів, кожний з яких сам по собі являється композитним цифровим двійником. Це – надра, стовбур свердловини, бурова та наземна техніка. Надра, у свою чергу, містять в собі оточуючі геологічні утворення, пласт та призабійні зони. Ці чотири складні первинні елементи даних можна розглядати як приклади того, що потрібно промодельовати, щоб отримати інформацію для будівництва свердловини:

- стовбур свердловини;
- фізику бурильної колони;
- контроль тиску (властивості бурового розчину);
- склад та цілісність пласта (поряд зі стовбуром).

Датчики контролю свердловини та бурової установки, у поєднанні з можливостями штучного інтелекту у скануванні величезних обсягів геологічних та робочих даних в екземплярі двійника, забезпечують оперативний контроль та взаємодію між наземними та підземними операціями.

Цифровий двійник моніторингу підземної свердловини розвивається разом із її життєвим циклом задля додаткових рішень у видобуванні, обслуговуванні, завершенні експлуатації та консервуванні.

Цей двійник несе таку цінність для компанії:

- надає механізм для оцінки стратегій зменшення витрат, оптимізації бурових операцій та видобування. Цей цифровий двійник забезпечує краще розуміння фінансових, технічних та робочих параметрів для керування свердловинами у режимі реального часу;

- цифровий двійник підземної свердловини може покращити загальний показник цілісності свердловини та процеси будівництва свердловин, підтримуючи розробку гнучких та ефективних робочих процесів та полегшуючи процедури прийняття рішень у відношенні найвигідніших варіантів розвідки, буріння, видобування та завершення експлуатації.

Цифровий двійник у гірничій справі. Цифровий двійник для гірничих робіт з акцентом на технічне обслуговування виробничих активів містить інформацію, яка необхідна для прийняття найкращих рішень щодо обслуговування: за допомогою аналізу поточного стану чи прогнозу. Він також надає інформацію для планування пріоритетності робіт, базуючись на фактичних параметрах та поточних показниках активу.

Цифровий двійник технічного обслуговування активів використовується у багатьох задачах компанії, і тому, для забезпечення точності та повної відповідності інформації зв'язаному активу, а також потрібного користувачу рівня деталізації, потребує доступу до різних систем.

Цифровий двійник взаємодіє з:

- системами керування активами підприємства (Enterprise Asset Management, EAM);

- локальними та загальновиробничими базами даних;

- ІТ-системами замовників;

- існуючими системами автоматичного керування.

У цьому випадку цифровий двійник формує таку комерційну цінність:

- здатність покращити середній час між відмовами (MTBF) та середній наробіток на відмову, допомагаючи у практиках керування виробничими активами.

Це стає можливим завдяки своєчасного надання інформації, ближче до реального часу, ніж раніше. Поєднання цього з важливою інформацією системи ЕАМ в середині цифрового двійника сприяє прийманню ключових рішень;

- реалізація всього потенціалу шахт для мінімізації втрат через проблеми в обслуговуванні устаткування;
- збільшення точності планування, що, в свою чергу, сприяє кращому контролю обладнання та переходу до прогностичного обслуговування активів;
- зменшення загальних витрат за рахунок більшої прозорості процедур обслуговування активів.

Цифровий двійник в автоматизації технологічних процесів. Цифровий двійник партії хімічної продукції об'єднує всю потрібну інформацію про цю партію. Цікавою інформацією тут є технологічні параметри (такі як температура, тиск та вологість) під час виробництва кожної конкретної партії.

Цифровий двійник надає інформацію для контролю відповідних показників (в'язкість, рівень рН, агрегатний стан) поточного стану продукції. На основі цих даних можна провести симуляцію та спрогнозувати оптимальні технологічні параметри для наступних виробничих етапів, щоб забезпечити заплановану якість продукції.

Зміни у властивостях продукції можуть зберігатися в базах даних часових рядів, що дозволяє відстежити критично важливі для якості значення до певного часу та місця, тим самим виявивши першопричину. Ця функціональність робить цифрового двійника продукції ключовим елементом процесу керування якістю.

Оскільки цифровий двійник партії хімічної продукції дає розуміння історичних даних цієї партії, його можна надавати замовнику разом з реальною продукцією. Зібрані дані допомагають покупцеві у наступних етапах обробки чи у кінцевому застосуванні.

За такого сценарію цифровий двійник генерує комерційну цінність у тому, що:

- прозорість та відстежуваність технологічних параметрів можуть використовуватися в реакції на скарги;
- погана якість продукції може бути виявлена безпосередньо, що перешкоджає виконанню подальших дорогих виробничих кроків;

- аналіз якості продукції та попередніх виробничих параметрів призводить до кращого розуміння виробництва;
- загальна якість продукції може зрости завдяки інтелектуальному моделюванню технологічних параметрів.

1.7 Контрольні питання

1. Що таке цифровий двійник?
2. Які особливості розвитку технологій промислового Інтернету речей?
3. Поясніть структуру цифрового двійника.
4. Які типи цифрових двійників існують?
5. Поясніть різницю між окремим і композитним цифровим двійником.
6. Цифрові двійники в життєвому циклі об'єкта.
7. З яких складників складається цифровий двійник?
8. Сутність інформаційного моделювання, як одного з аспектів цифрового двійника.
9. Назвіть особливості використання програмних інтерфейсів для взаємодії цифрових двійників з іншими компонентами.
10. В чому полягає моделювання розгортання цифрових двійників?
11. Наведіть приклади використання цифрових двійників на практиці.

2 ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Світлова колона (світлофор)

2.1.1 Застосування світлових колон на виробництві

Автоматизовані і роботизовані виробництва мають ряд особливостей, що впливають на безпеку. Вони мають в своєму складі найрізноманітніші пристрої і машини, в тому числі численні транспортні системи. Гнучкі автоматизовані виробництва (ГАВ) займають значні площі. Обладнання, що входить до їх складу, може займати різні рівні за висотою приміщення, розміщуючись навіть на двох і більше поверхах, при цьому управління ведеться з одного пульта, одним або більшою кількістю постачальників. При цьому змінився характер праці, для працівників на ГАВ переважають форми розумової праці, праця стає менш важкою, але більш напруженою.

Забезпечення безпеки і комфортності праці в гнучкій виробничій системі (ГВС) має ряд особливостей:

- автоматичні пристрої, роботи, електронні системи можуть виходити з ладу, створюючи небезпечні ситуації, як правило, поза візуальним контролем людини безпосередньо в місці поломки;

- ГВС мають у своєму складі різноманітні пристрої і машини, зокрема численні транспортні системи;

- ГВС займають значні площі, тому обладнання, що входить до їх складу, може займати різні рівні за висотою приміщення, навіть на два і більше поверхів, при цьому управління ведеться з одного пульта одним або більшою кількістю приладів керування;

- під час налагодження, переналагодження, програмування засобів управління, а також у ході профілактичних і ремонтних робіт працівнику доводиться перебувати в робочих зонах обладнання, у тому числі в зоні рухомих частин.

Застосування пристроїв автоматичного контролю і сигналізації (інформаційні, попереджувальні, аварійні) – найважливіша умова безпечної і надійної роботи обладнання. Пристрої контролю – це прилади для вимірювання тиску, температури, статистичних і динамічних навантажень та інших параметрів, що характеризують роботу устаткування і машин.

Для виключення зіткнення промислових роботів з людиною, вони оснащуються безконтактними датчиками, які виявляють присутність людини в безпосередній близькості від рухомих частин. Датчики викликають спрацювання системи зупинки робота. Ефективність використання датчиків контролю значно підвищується в ході об'єднання з системами сигналізації (звуковими, світловими, кольорними, знаковими або комбінованими). Сигналізаційні пристрої слугують для інформування персоналу про появу виробничої небезпеки і про роботу технологічного обладнання.

Одним з найпоширеніших пристроїв світлової та звукової сигналізації є світлова колона, яка подана на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд світлової колони

Світлодіодна сигнальна колона слугує для світлової та звукової сигналізації стану обладнання, подачі дозвільних або заборонних світлових сигналів і попередження персоналу про аварійні та надзвичайні ситуації пов'язаних з безпечною роботою обладнання.

Світлосигнальні колони використовуються для візуального та звукового сповіщення персоналу про стан технологічного процесу. Колони застосовуються в самих різних галузях промисловості і можуть видавати сигнали різного типу та тривалості – миготіння, спалахи, постійне горіння, поворотні сирени й тощо залежно від важливості сигналу.

Світлодіодні сигнальні колони можуть бути одноколірними або багатоколірними, із звуковою сигналізацією або без неї. Застосовуються на конвеєрах та інших транспортних системах, термопластавтоматах і екструдерах, фасувальному і пакувальному обладнанні, на обладнанні, де потрібні підвищені заходи безпеки.

Світлові і звукові сигнали є основними елементами безпеки системи. Для забезпечення коректного тлумачення, за Європейськими стандартами прийнято використання звукових і візуальних пристроїв у системах.

Сигнальні колони можуть мати до семи модулів, послідовно зібраних з наступних колірних елементів: червоний, жовтий, помаранчевий, синій, зелений і білий. Збирання елементів швидко і просте. Кожен колір або звуковий сигнал вказує на подію в робочій системі та сигналізує про рівень небезпеки відповідно до стандартів за EN 981 / EN 60073. Модуль білого кольору не має специфічного значення і використовується користувачем на свій розсуд.

У таблиці 2.1 наведено пояснення щодо кольорової індикації, що відображається даними пристроями.

Окремі елементи колони можуть мати такі виконання:

- елемент, що постійно світиться (лампа розжарювання, світлодіод);
- миготливий елемент (лампа розжарювання, світлодіод);
- світловий елемент з одним спалахом;
- елемент, що обертається (світлодіод);
- звуковий елемент (гудок);
- звуковий елемент (сирена).

Сигнальні колони можуть бути безпосередньо під'єднані до шинної системи, наприклад, AS-Interface через адаптер, який може бути вбудованим. Це зменшує витрати на передачу даних. Двожильний кабель фіксується в гвинтових затискачах у сполучному елементі.

Таблиця 2.1 – Пояснення щодо кольорової індикації у світлофорах

Візуальний код	Червоний	Жовтий	Помаранчевий	Зелений	Білий
Значення	Небезпека. Аварія	Попередження і увага Ненормальна ситуація	Обов'язкова команда	Нормальна ситуація. Звичайна робота	Немає специфічного значення
Звук	Часта модуляція повторення високої частоти	Короткий сигнал, що повторюється	Змінний сигнал постійного струму	Постійний довгий сигнал після аварії	Інші звуки
Дія	Негайне втручання для усунення аварії	Необхідно контрольне втручання	Необхідне втручання для виконання команди	Втручання не потрібно	Залежно від обставин

Адаптер має бути першим модулем, який буде під'єднаний у сполученому елементі. Максимальна кількість наступних сигнальних елементів може бути не більше чотирьох.

Загальна архітектура взаємодії між модулями виробничої системи з використанням блока світлової і звукової сигналізації подана на рис. 2.2.

Як можна бачити з даного рисунка, промислова ділянка складається з декількох верстатів (промислового обладнання), програмованого логічного контролера, промислової мережі, блоків світлової і звукової сигналізації.

Кожен верстат має свою робочу зону, де виконуються технологічні операції. Доступ до даної зони контролюється набором датчиків. З появою людини в межах робочої зони датчики надсилають тривожні сигнали до контролера промислового обладнання, а вони, в свою чергу, через промислову мережу до програмованого логічного контролера.

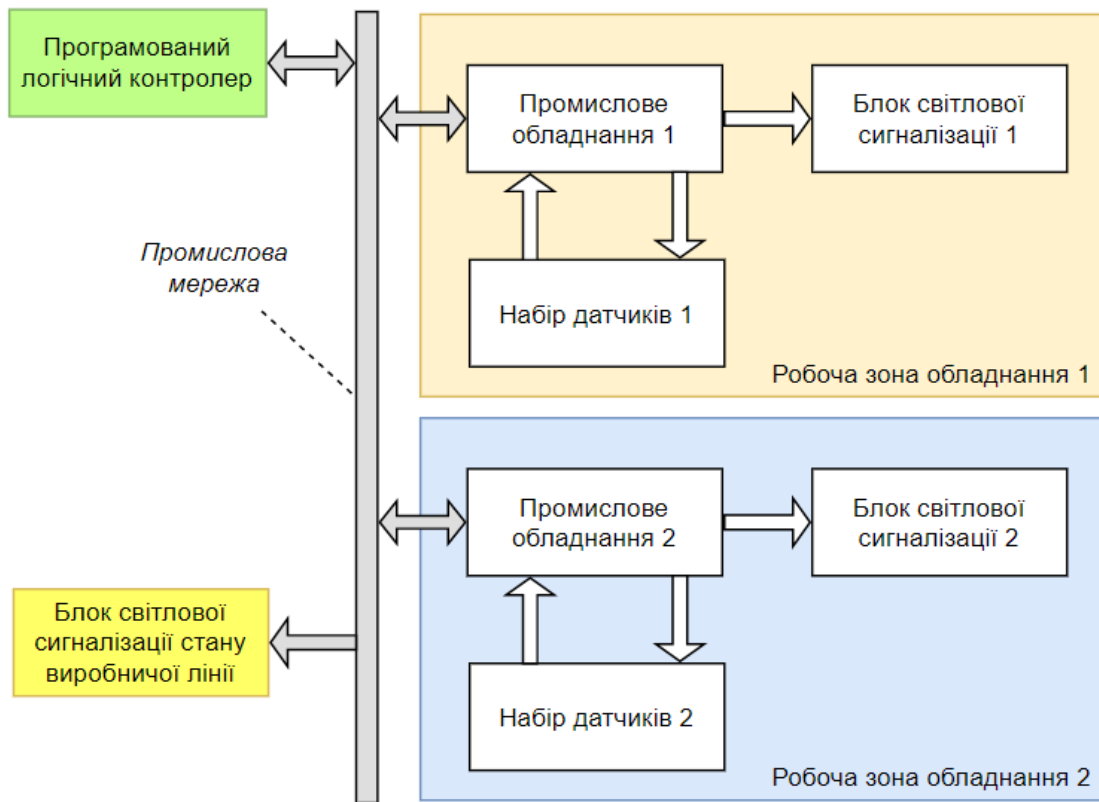


Рисунок 2.2 – Загальна архітектура взаємодії між модулями виробничої системи з використанням блоку світлової і звукової сигналізації

2.1.2 Опис конструкції макету світлової колони

Блоки світлової і звукової сигналізації можуть бути під'єднані безпосередньо до обладнання або до промислової мережі. Залежно від рангу датчика, який спрацював, приймається рішення про рівень сигналізації.

На рис. 2.3 подано приклад конструктивного виконання блоку світлової колони та варіант її вертикального кріплення. Даний модуль має власний блок управління, що містить мікроконтролер та необхідні блоки узгодження з промисловим обладнанням. Завдяки цьому, пристрій можна підключити до вихідних контактів кінцевих датчиків, або кнопок керування без використання керуючого ПЛК.

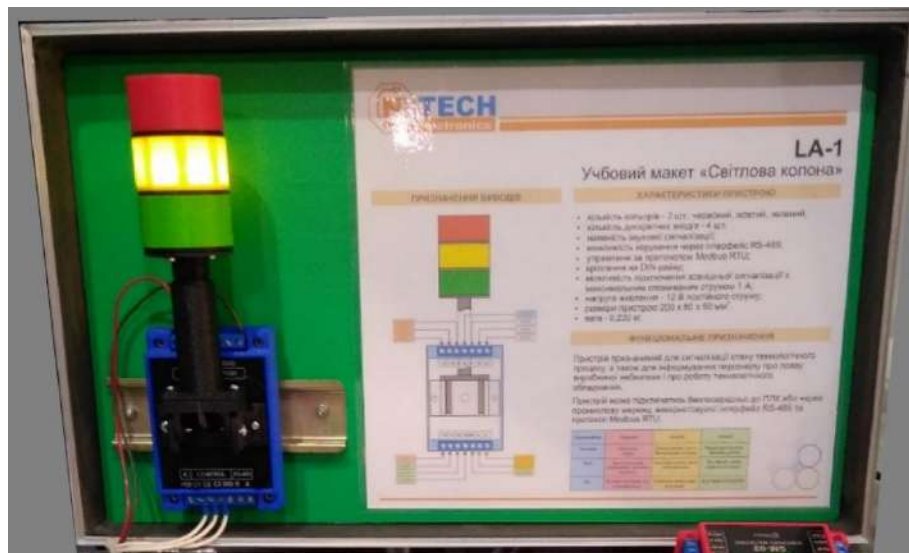


Рисунок 2.3 – Приклад виконання блоку світлової колони та варіант її вертикального кріплення

Також, даний модуль може поєднуватись із ПЛК за допомогою промислової мережі та протоколу Modbus. В такому разі світлова сигналізація буде підпорядковуватись командам від керуючого контролеру та працювати згідно алгоритму управління промисловою лінією.

Структурна схема модуля керування блоком світлової і звукової сигналізації подана на рис. 2.4.

Як можна бачити з наведеного рисунку, до складу модуля керування входять:

- мікроконтролер;
- блоки узгодження з вхідними контактами;
- блоки узгодження з пристроєм індикації;
- блоки індикації;
- блок узгодження з пристроєм випромінювання звуку;
- блок звукової сигналізації;
- перетворювач інтерфейсу.

Мікроконтролер приймає та обробляє команди від головного контролера в форматі протоколу Modbus RTU, або персонального комп'ютера. В залежності від прийнятої команди, виконується вмикання відповідних блоків звукової або світлової індикації.

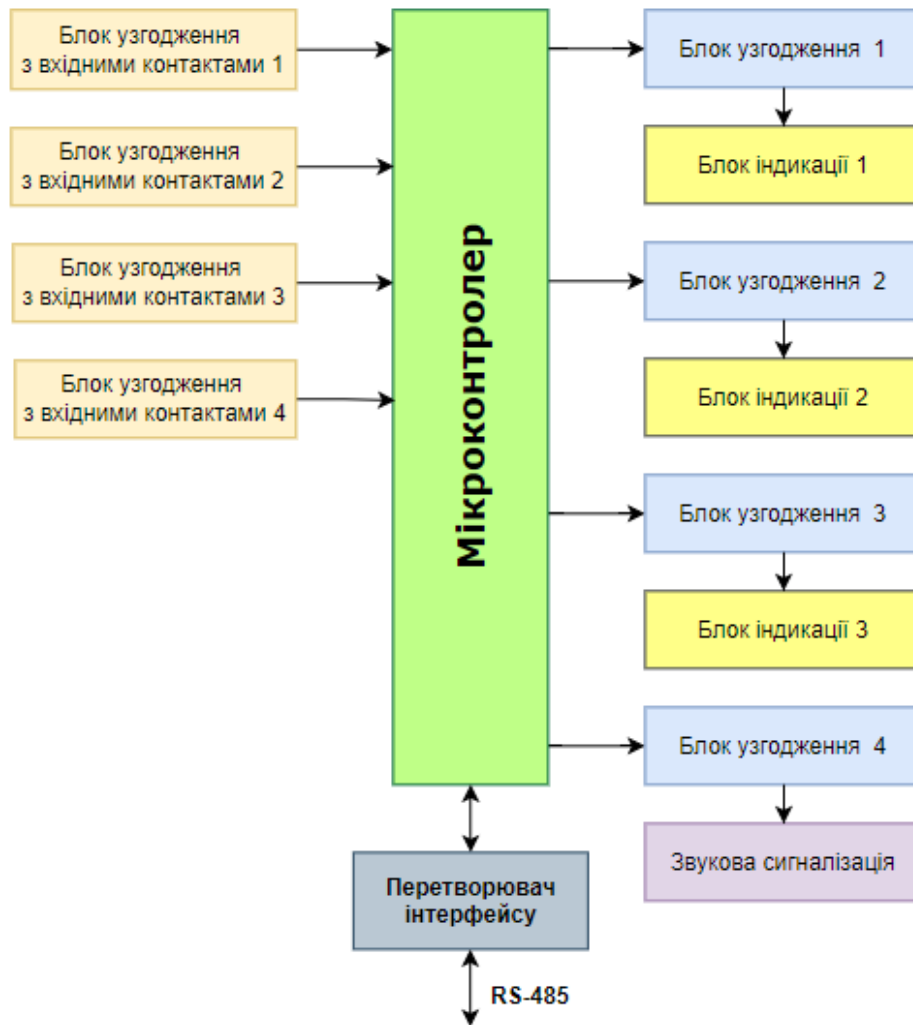


Рисунок 2.4 – Структурна схема модуля керування блоком світлової і звукової сигналізації

Перетворювач інтерфейсів виконує функцію узгодження рівнів сигналів мережі RS-485 і транзисторної логіки мікроконтролера. Через блок перетворення інтерфейсів до даного модуля світлової і звукової індикації надходять сигнали керування.

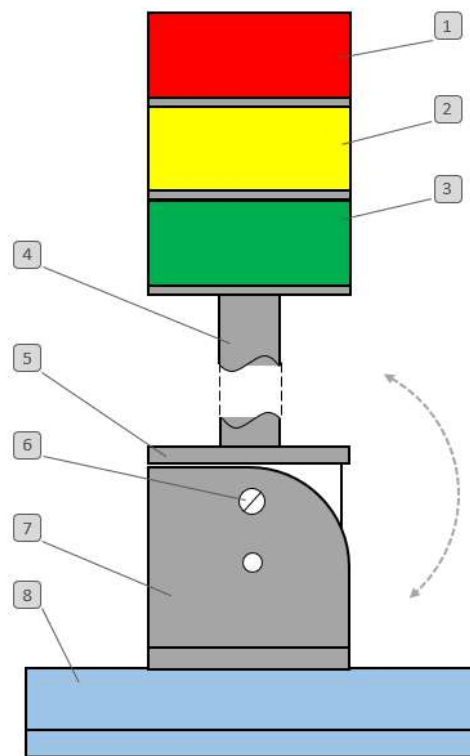
Блоки узгодження із вхідними контактами виконані на базі оптичних перетворювачів. Вони призначені для захисту входів мікроконтролера від виходу з ладу через неправильне підключення кнопок керування.

Блоки узгодження з пристроєм індикації призначені для під'єднання потужного світлового приладу до виходів мікроконтролера. Вони виконані на потужних транзисторних ключах.

Блок індикації виконаний на дискретних світлодіодах, які запаяні на гнучкій друкованій платі, та скручені за периметром кольорового стакану, в який вони вставляються.

Блок звукової сигналізації виконано на спеціалізованому звуковому пристрої BUZZER. Для керування блоком звукової сигналізації також використовується потужний транзистор, який увімкнений за ключовою схемою.

На рис. 2.5 показана конструкція навчального макету, який використовуватиметься для тестування програми керування світловою колоною.



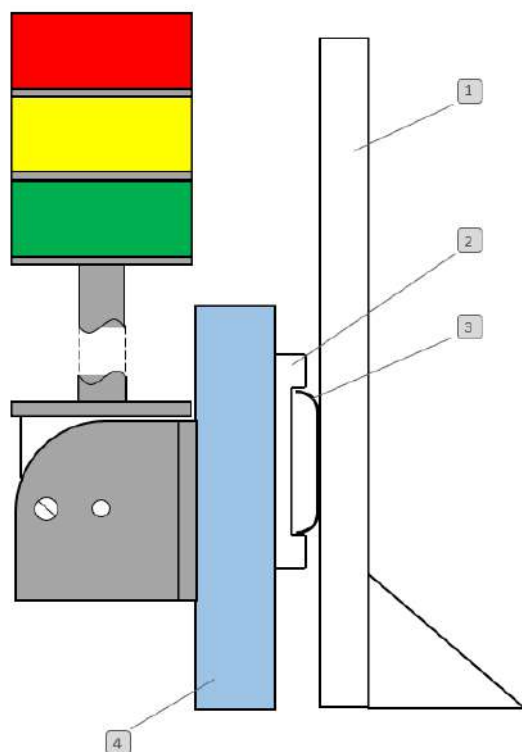
- 1 – блок індикації червоного кольору; 2 – блок індикації жовтого кольору;
3 – блок індикації зеленого кольору; 4 – стійка, що складається;
5 – основа для кріплення; 6 – стопорний гвинт; 7 – кронштейн; 8 – блок керування

Рисунок 2.5 – Конструкція навчального макету «Світлова колона»

До складу макету входять:

- блок індикації червоного кольору 1;
- блок індикації жовтого кольору 2;
- блок індикації зеленого кольору 3;
- стійка, що складається 4;
- основа для кріплення 5;
- стопорний гвинт 6;
- кронштейн 7;
- блок керування 8.

Конструкція пристрою передбачає використання його як у настільному варіанті (рис. 2.5), так і в випадку кріплення на DIN-рейку (рис. 2.5). Для зміни варіанта кріплення передбачено рухомий механізм зміни орієнтації стійки 4. Стопорний гвинт 6 може фіксувати основу для кріплення 5 в одному з двох положень. На рис. 2.6 подано варіант кріплення пристрою на DIN-рейку.



1 – основа; 2 – скоба; 3 – DIN-рейка; 4 – модуль керування

Рисунок 2.6 – Варіант кріплення пристрою на DIN-рейку

З рисунку можна бачити, що модуль керування 4 за допомогою скоби 2 кріпиться на DIN-рейку 3, яка в свою чергу, закріплена на жорсткій основі 1. Даний варіант використовується для стаціонарного розміщення макету, наприклад, у навчальній лабораторії.

Для підключення пристрою до ПЛК використовується низка комутаційних пристроїв – клемників, які розташовані з двох боків модуля керування, як подано на рис. 2.7.

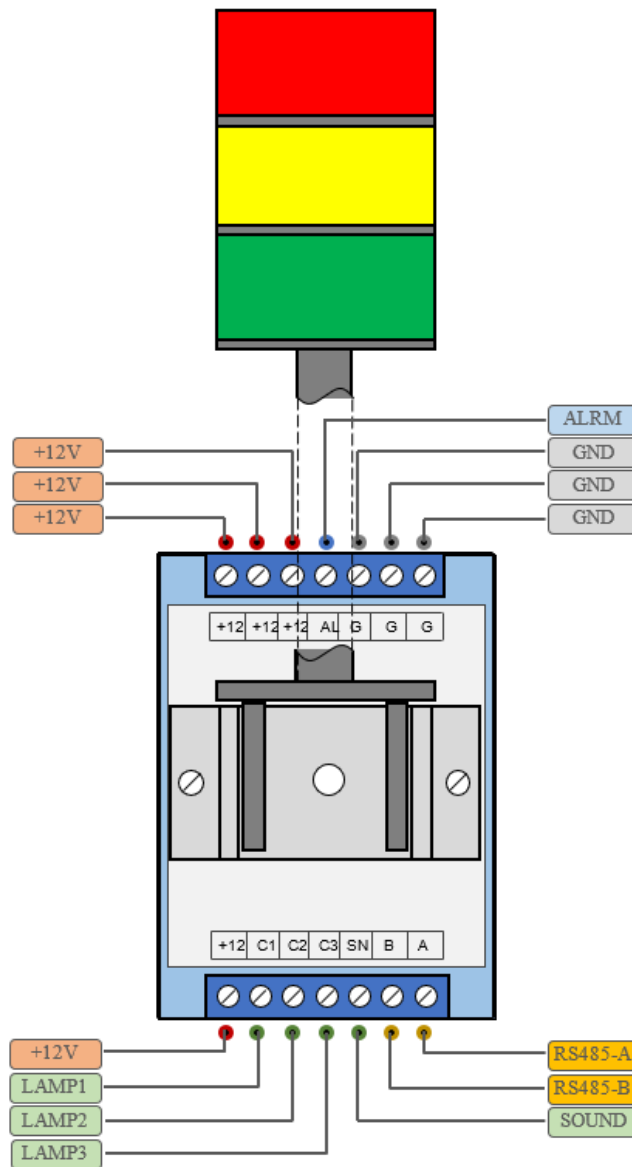


Рисунок 2.7 – Схема розташування контактів на клемниках блоку керування

На клемники виведено контакти підключення:

- напруги живлення 12 В;
- зовнішнього сигналу звукової сигналізації (ALRM);
- входу керування сигнальною лампою 1 (червоний);
- входу керування сигнальною лампою 2 (жовтий);
- входу керування сигнальною лампою 3 (зелений);
- контакту А інтерфейсу RS-485;
- контакту В інтерфейсу RS-485;
- входу керування звуковою сигналізацією (SOUND).

Пристроєм можна керувати як за допомогою команд, які передаються промисловою мережею через інтерфейс RS-485, або безпосередньо підключенням кнопок, або виходів ПЛК до вхідних контактів пристрою.

Схема підключення кнопок керування до модуля керування світловою колоною подана на рис. 2.8. Для роботи модуля керування потрібне зовнішнє джерело живлення напругою 12 В. Воно підключається до відповідних контактів правого з'єднувача. Вхідна частина модуля живиться від ізольованого джерела, що підключається позитивним полюсом до контакту «+12 В» лівого з'єднувача. Кнопки керування мають замикати входи LAMP1...LAMP3, або SUND до мінусу даного джерела живлення.

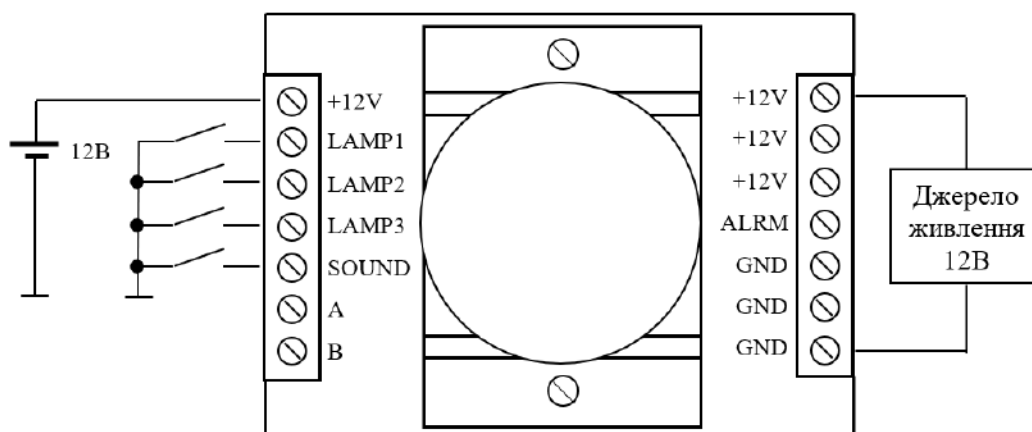


Рисунок 2.8 – Схема підключення зовнішніх контактів для керування світловою колоною

На контакти А і В за правилами інтерфейсу RS-485 можна встановити резистор 120 Ом для узгодження з промисловою мережею у тому випадку, коли перетворювач інтерфейсів виявиться останнім в ланцюзі промислової мережі.

2.1.3 Алгоритм роботи світлової колони

Розглянемо приклад програми управління роботою світлової колони. Дана програма вирішуватиме задачу управління трафіком переміщення мобільних платформ у виробничому приміщенні за простим алгоритмом:

- крок 1 – вмикається червоне світло на 45 секунд;
- крок 2 – на 2 секунди вмикається жовте світло;
- крок 3 – вмикається зелене світло на 45 секунд;
- крок 4 – на 2 секунди вмикається жовте світло;
- крок 5 – перехід на крок 1.

На рис. 2.9 подана діаграма станів автомату послідовного перемикавання кольорів у світлофорі.

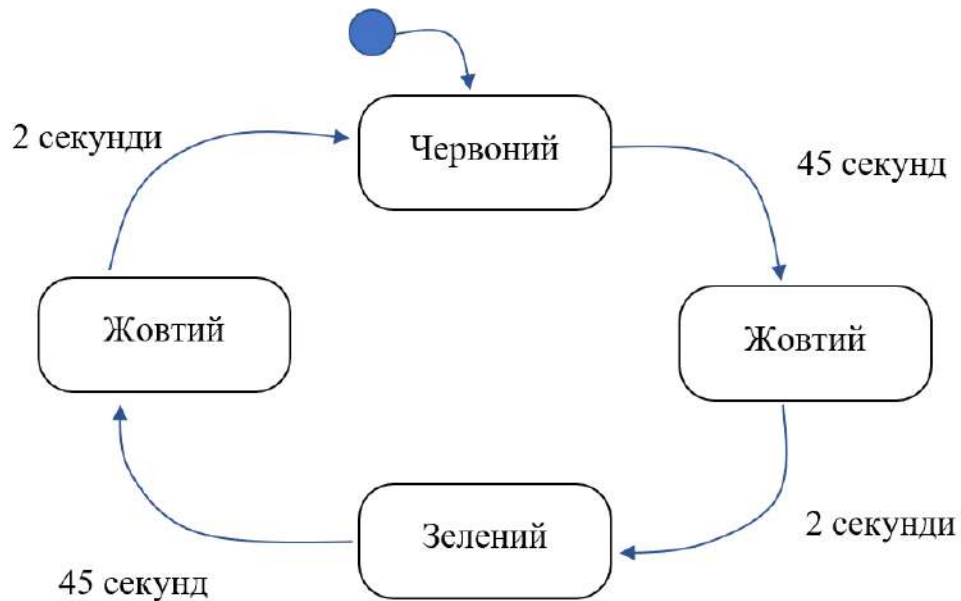


Рисунок 2.9 – Діаграма станів автомату перемикавання кольорів у світлофорі

Для реалізації заданого алгоритму побудуємо часову діаграму управління світлофором (рис. 2.10).

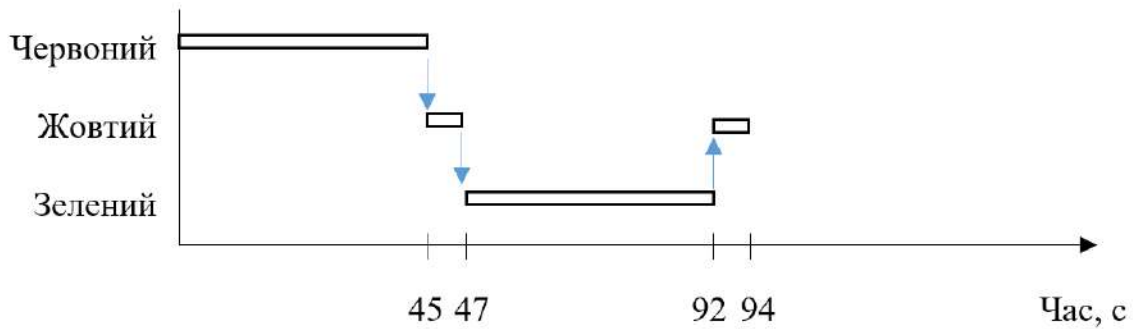


Рисунок 2.10 – Часова діаграма управління світлофором

Якщо слід модифікувати алгоритм перемикання світлофора і зробити так, щоб жовтий колір вмикався з закінченням часу світіння червоного (на останніх двох секундах), то часова діаграма матиме вигляд, як подано на рис. 2.11.

Після змінення алгоритму роботи програми зміниться і загальний час на виконання всієї програми, який становитиме 92 с.

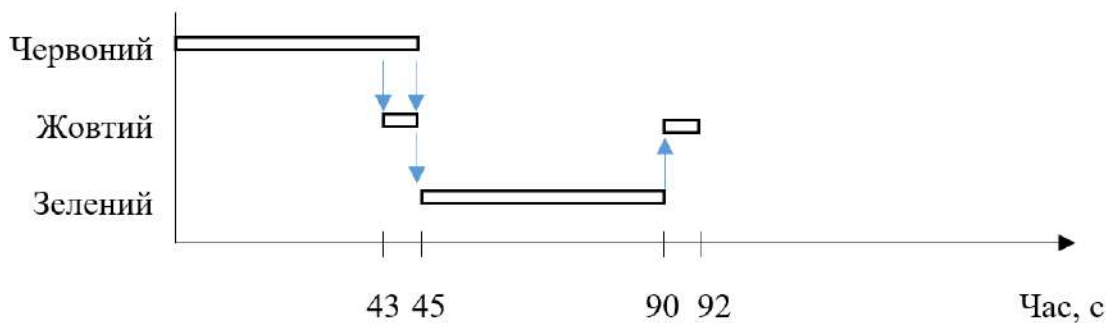


Рисунок 2.11 – Часова діаграма управління світлофором

2.2 Штампувальний автомат

2.2.1 Різновиди штампувальних автоматів

Штампувальне обладнання використовується в різних галузях промисловості для виконання пробивання, неглибокої витяжки, гнуття, вирубки металу або різноманітних неметалевих мас. Гідравлічний штампувальний прес дозволяє зробити виробництво максимально автоматизованим. Використовуючи таке обладнання істотно збільшується обсяг оброблених деталей високої якості.

Гідравлічні штампувальні преси застосовуються на будь-яких типах виробничих ліній. Штампувальні верстати використовують для операцій як холодного, так і гарячого штампування. Штампувальний прес кривошипний найчастіше застосовується в різних галузях промисловості.

Прес для штампування має привід, за рахунок обертального руху якого здійснюються зворотно-поступальні переміщення встановленого повзуна. Можна відрегулювати робочий хід повзуна. Є можливість налаштувати обладнання як на разове спрацьовування, так і на багаторазове (автоматичну роботу). В якості робочого інструменту в пресах такого типу застосовують штамп, який надійно закріплений на рухомому повзуні. Привід будь-якого штампувального верстата складається з електричного мотора, маховика, спеціального шатуна тощо. Нерухома частина верстата для штампування монтується до робочого столу.

Найпоширенішими є механічні приводні кривошипні преси. Таке обладнання поділяється за способом впливу на оброблюваний матеріал. Так, є кривошипний прес простої дії, який обладнаний одним повзуном, подвійної дії з двома повзунами, які незалежно переміщуються, потрійної дії з двома верхніми повзунами, які незалежно переміщуються і одним нижнім.

Гідравлічний прес для штампування першого типу широко застосовується для різноманітних штампувальних робіт. Гідравлічний штампувальний прес другого типу слугує для проведення різноманітних витяжних робіт. Гідравлічний верстат для штампування третього типу використовується для виконання операцій складної глибокої витяжці різних виробів, заготовок і деталей.

Також гідравлічні верстати для штампування поділяють за умовами роботи і видів оброблюваних виробів. У таких верстатах можуть бути станини, які розташовані по різному, відрізняються формами та розміром. Наприклад верстати існують горизонтальні, вертикальні, одностійкові, похилі, двостійкові.

Одностійкові преси повністю відкриті як з боків, так і спереду. Таке обладнання оснащено спеціальним кривошипно-шатунним механізмом, який стоїть на кінці робочого валу. Нерухомий, підйомний і поворотний робочі столи верстатів для штампування потрібні для обробки штучних заготовок, різного смугового матеріалу тощо.

Двостійковий гідравлічний прес для штампування також оснащений кривошипно-шатунним механізмом, який розташований між двома підшипниками корінного типу.

До переваг кривошипного гідравлічного штампувального преса можна віднести:

- високу міцність і простоту конструкції;
- використання для гарячого і холодного штампування без застосування спеціального додаткового обладнання;
- порівняно недороге обслуговування і ремонт;
- високу надійність і довговічність;
- можливість встановити додаткове обладнання, наприклад, спеціальну пневматичну подушку, різні захисні огорожі тощо.

До основних характеристик штампувальних пресів можна віднести:

- габаритні розміри;
- максимальна товщина оброблюваних на верстаті виробів, деталей та заготовок;
- відстань робочого ходу повзуна (найбільша та найменша);
- номінальне зусилля, яке створюється пресом;
- потужність приводу;
- найбільша відстань між встановленим повзуном і робочим столом, можливість його зміни (межі);
- наявність можливості встановлення додаткового спеціального обладнання.

На рис. 2.12 подано пробивний прес серії FlexPunch компанії EHRT Maschinenbau GmbH, який має гнучку модульну систему. Дана серія оснащена трьома керованими осями з ЧПУ, що дозволяє виготовляти деталі із практично ідеальною точністю.

Для регулювання верстата не потрібні додаткові співробітники, що дозволяє заощадити значну кількість часу. Оператор відповідає лише за запуск верстата, подачу матеріалу, а потім зняття з виробництва деталей. Однак завдяки додатковим опціям, процеси подачі матеріалу та зняття деталей можуть бути додатково автоматизовані.



Рисунок 2.12 – Пробивний прес FlexPunch компанії EHRТ
Maschinenbau GmbH

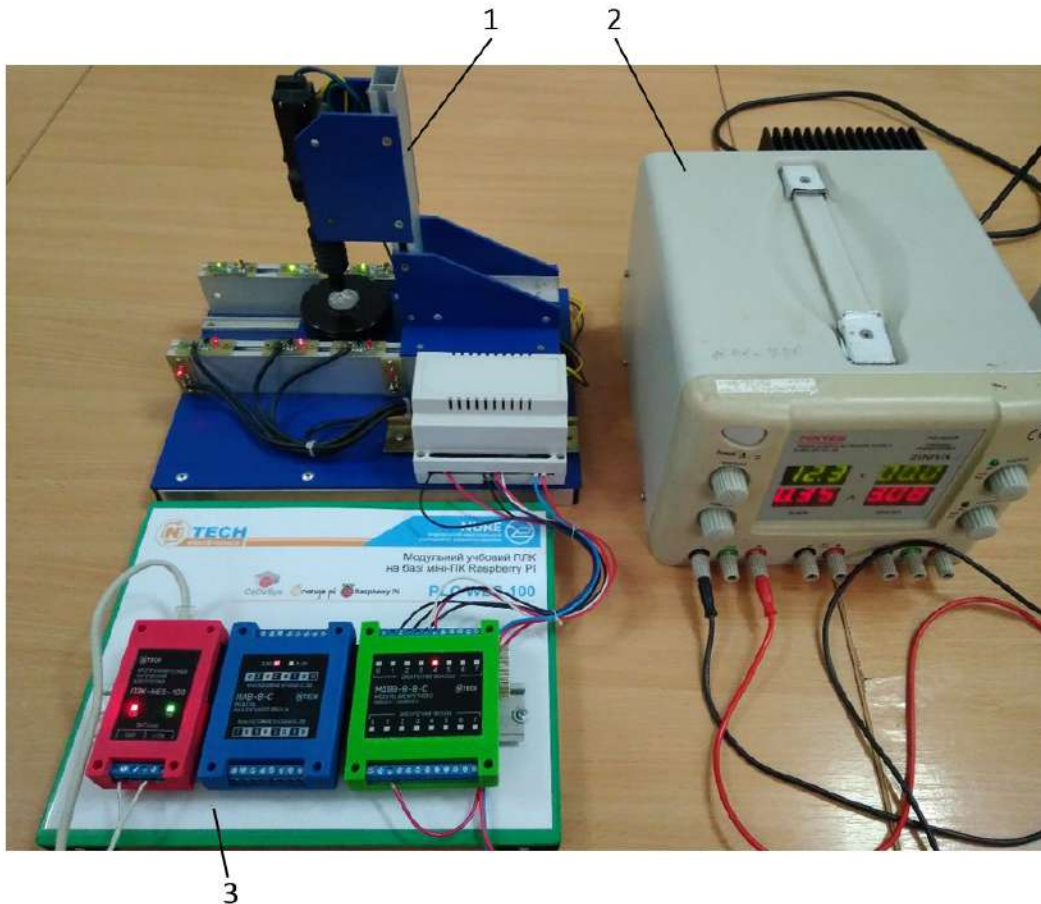
Машинний ПЛК Beckhoff дозволяє здійснювати технічне обслуговування машин та оновлення програмного забезпечення за допомогою віддаленого доступу.

Система інструментів EHRТ забезпечує просту та швидку зміну інструментів, що забезпечує мінімальний час налаштування. Існує кілька варіантів сортувальної стрічки, які також можуть бути оснащені різними пристроями, що виштовхують.

2.2.2 Лабораторний макет для вивчення принципів роботи штампувального автомату

Зовнішній вигляд лабораторного макету та приклад його підключення показано на рис. 2.13. Для керування макетом використовується навчальний промисловий контролер, виготовлений викладачами кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки Харківського національного університету радіоелектроніки.

В даному випадку застосовано модульний ПЛК WES-100, який працює на базі міні-ПК Raspberry Pi. Макет штампувального автомату має власний модуль керування, який перетворює дискретні сигнали від ПЛК в сигнали управління виконавчими механізмами.



1 – макет штампувального автомата; 2 – лабораторний блок живлення;
3 – навчальний модульний ПЛК

Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд лабораторного макету та приклад його підключення

Ескіз лабораторного макету штампувального автомату представлено на рис. 2.14. До складу макету входять:

- механізм штампування;
- рухома платформа;
- датчики положення об'єкту та платформи.

Принцип дії макету наступний. Рухома платформа може виконувати рух за заданим напрямком, який визначається рейками. Рух платформи забезпечено за допомогою мікродвигуна постійного струму. Змінюючи полярність можна організувати рух як вперед так і в зворотному напрямку.

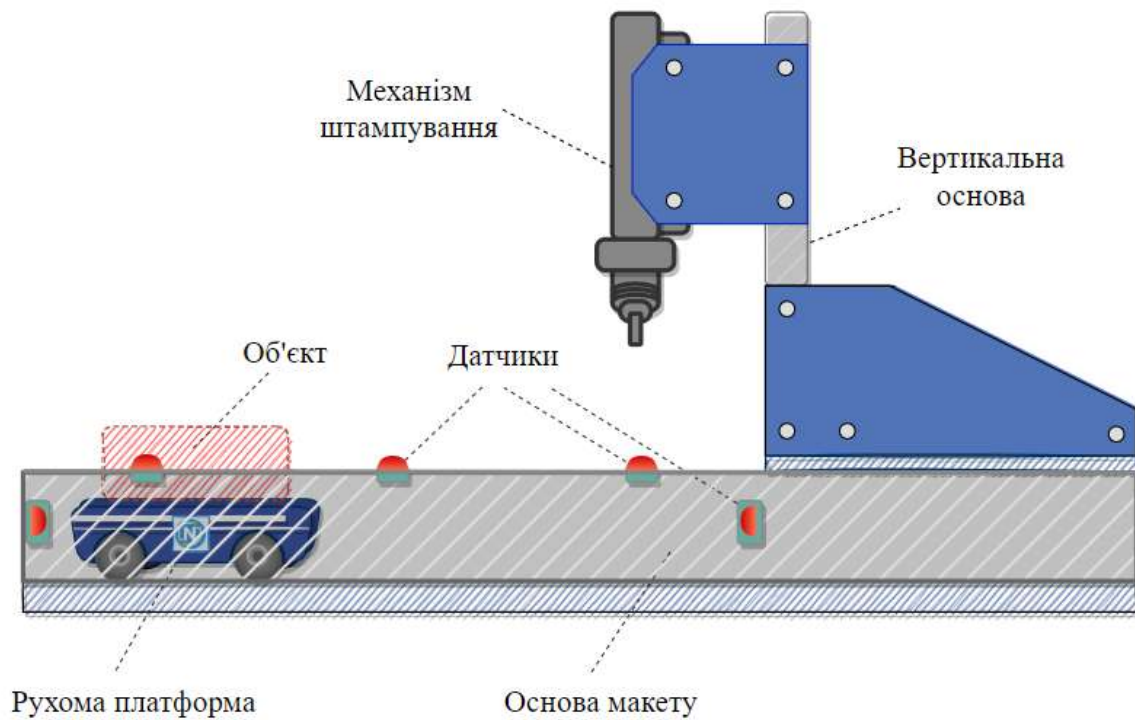


Рисунок 2.14 – Ескіз лабораторного макету

На рис. 2.15 зображено фрагмент макету, на якому можна бачити рейки та саму платформу. Основне призначення платформи – доставлення об'єкту (деталі, заготовки) із зони завантаження в робочу зону автомата.

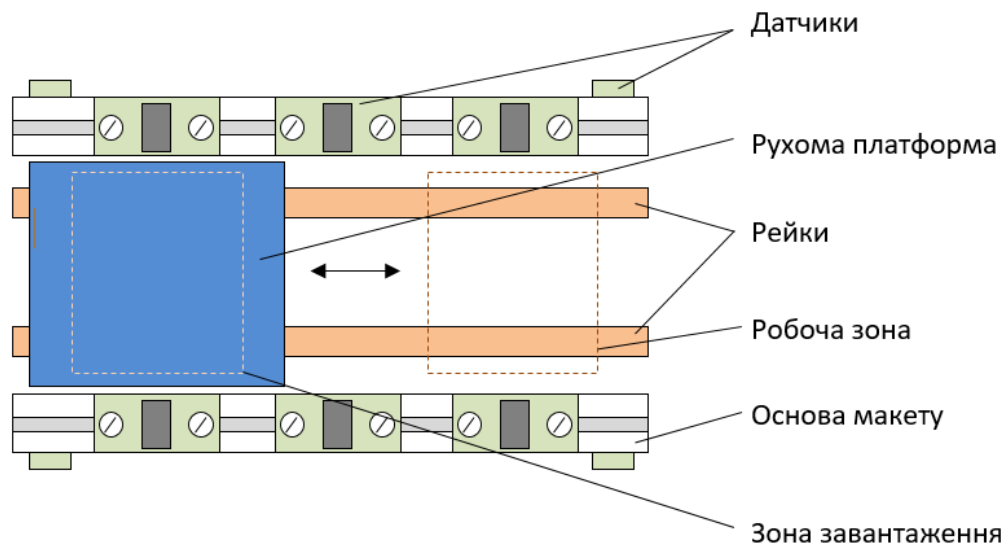


Рисунок 2.15 – Принцип руху платформи

За пересуванням рухомої платформи «стежать» датчики. В даному макеті використовуються п'ять датчиків. Але під час проведення досліджень їх кількість може змінюватись. На рис. 2.16 зображена схема розташування датчиків на макеті.

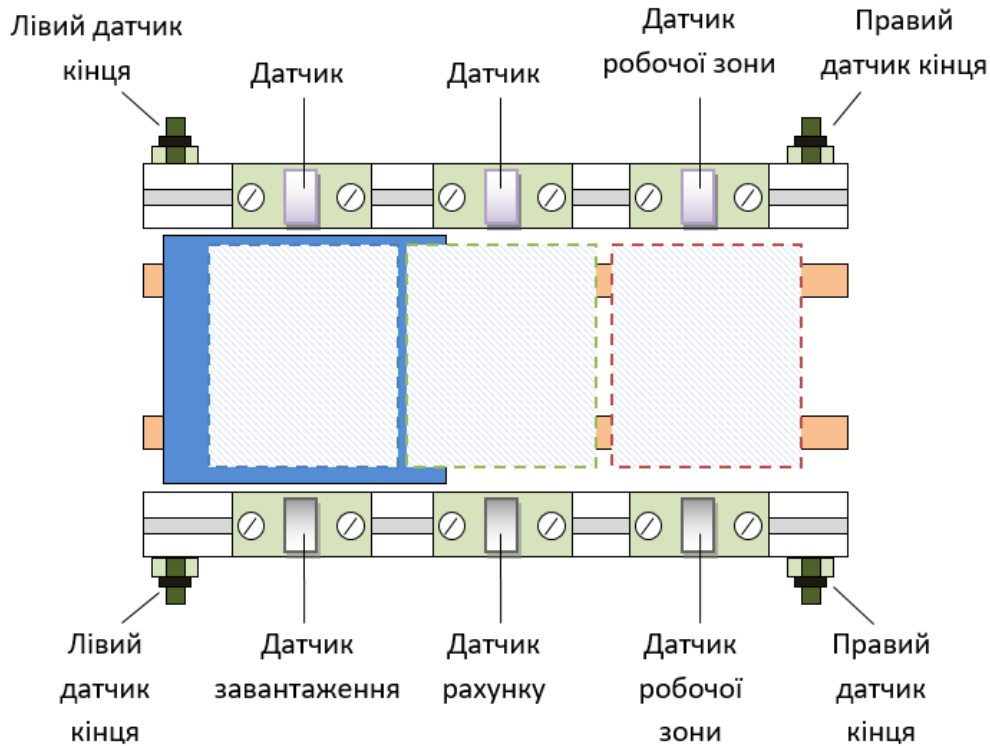


Рисунок 2.16 – Схема розташування датчиків на макеті

Лівий та правий датчики кінця призначені для контролю за знаходженням рухомої платформи у крайніх положеннях. Так як в конструкції макету не передбачено механічних запобіжників, то платформа може вийти за межі рейок. Контроль за своєчасним відключенням живлення з двигуна приводу платформи лежить на програмі керування макетом.

Конструкція та кріплення датчиків основних зон макету дозволяє вільно пересувати їх основою макету. Точне місце розташування датчиків обирається експериментальним шляхом та залежить від алгоритму роботи макету, що на той час моделюється.

Кожен датчик виконано за принципом відкритого світлового каналу. Рис. 2.17 демонструє принцип роботи такого оптичного датчика. До складу датчика входить

дві частини – джерело випромінювання та приймач випромінювання. Перша частина підключена до напруги живлення, що забезпечує наявність світлового каналу, який приймає друга частина датчика.

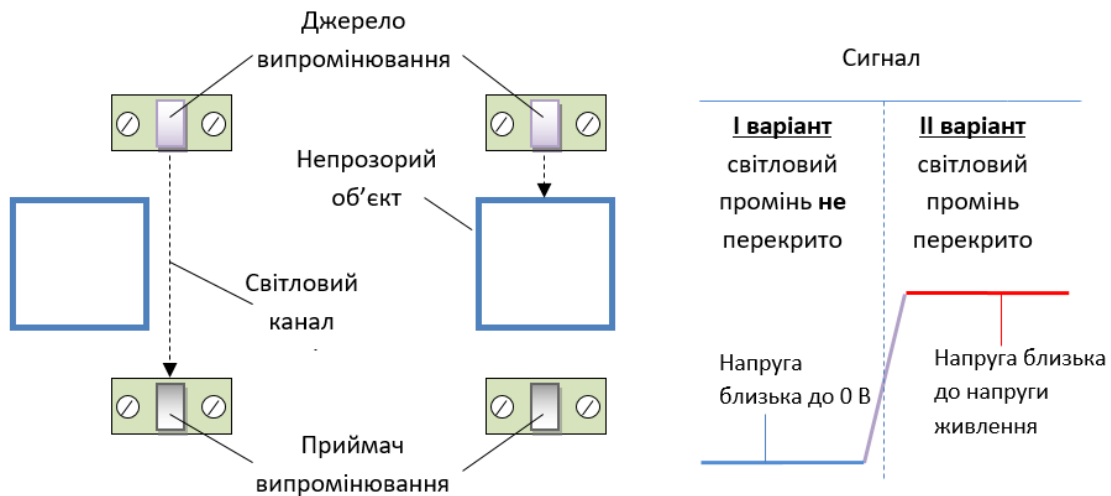


Рисунок 2.17 – Принцип роботи оптичного датчика з відкритим світловим каналом

Коли світловий канал не перекрито, тобто нема об'єкту між частинами датчика, то на виході приймача випромінювання напруга близька до нуля. Коли непрозорий об'єкт перетинає промінь – на виході датчика напруга піднімається до значення, що близьке до напруги живлення цього пристрою.

Механізм штампування призначений для імітування роботи реального автомату. В даній конструкції макету він може виконувати рух вгору та вниз. Тобто можна змодельовати опускання робочого інструменту або його підйом.

Для підключення датчиків та виконуючих пристроїв макета використовується модуль керування. Його призначення в наступному:

- забезпечити стабільним живленням та током виконуючі механізми макету;
- виконувати комутацію живлення на зміну його полярності в залежності від команди з промислового контролера;
- надати можливість зручного підключення датчиків макету до промислового контролера;

– виконувати генерацію звука в залежності від поданої з контролера частоти.
На рис. 2.18 наведено структурну схему модулю керування макетом.

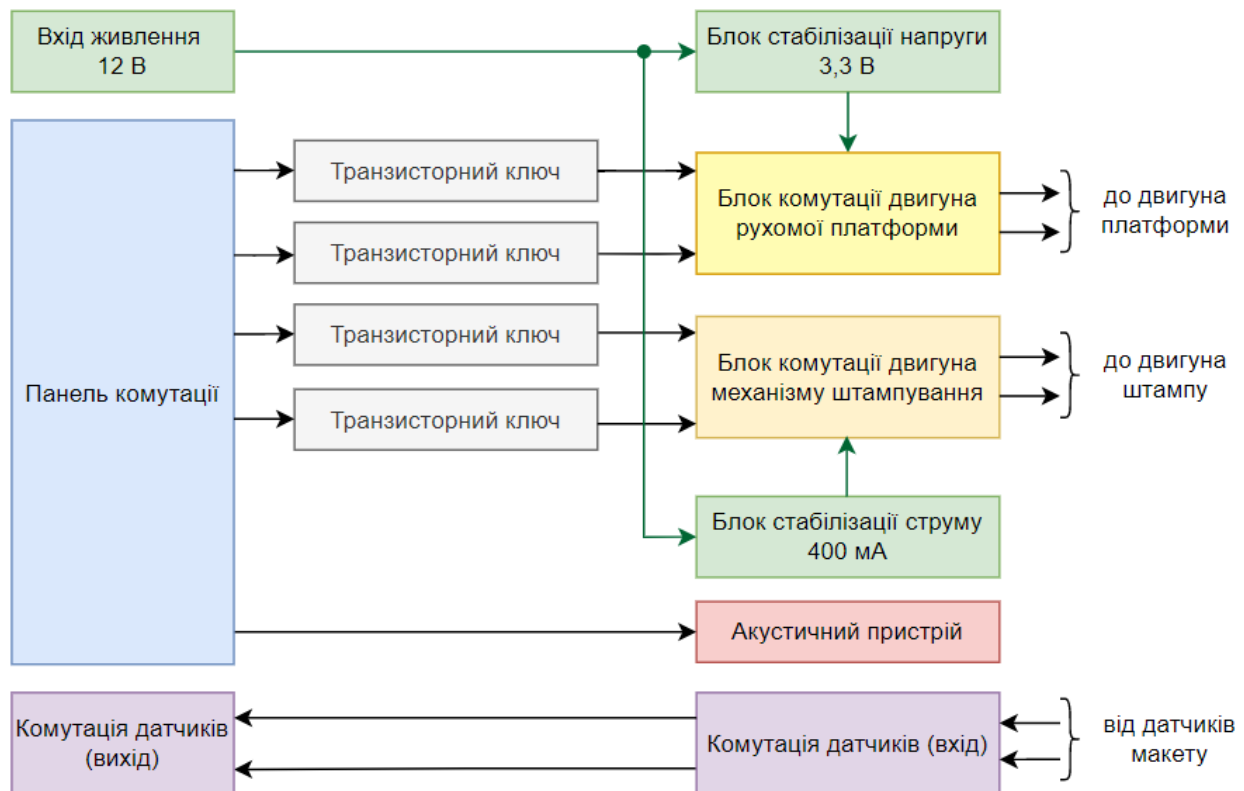


Рисунок 2.18 – Структурна схема модулю керування макетом

Як можна бачити зі структурної схеми, схема управління містить такі основні блоки:

- блок комутації двигуна рухомої платформи;
- блок комутації двигуна механізму штампування;
- чотири транзисторних ключа;
- блок стабілізації напруги 3,3 В;
- блок стабілізації струму 400 мА;
- акустичний пристрій;
- панель комутації.

Блок комутації двигуна рухомої платформи призначений для подачі напруги різної полярності на контакти двигуна постійного струму. Блок виконаний на основі двох реле, що включені згідно зі схемою, яка зображена на рис. 2.19.

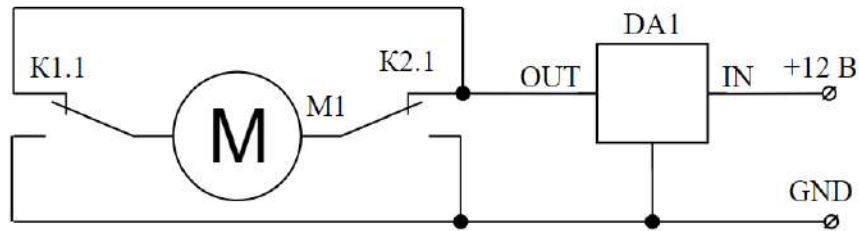


Рисунок 2.19 – Схема підключення реле для комутації напруги

Я можна бачити с цієї схеми під час перемикання контактів реле K1 чи K2 можна змінювати полярність підключення мотору M1. Напруга живлення стабілізується за допомогою інтегральної мікросхеми DA1.

Блок комутації двигуна механізму штампування виконаний за тією самою схемою, але стабілізується не напруга, а струм.

Для включення реле використовується схема, що показана на рис. 2.20. В основі даної схеми лежать транзисторні ключі. Кожне реле управляється за однаковою схемою. Перший транзистор VT1 виконує роль інвертора. Його задача реагувати на зміну стану вхідного контакту X1 (замиканні його на масу).

В нормальному режимі на вході X1 присутня напруга, що задається резистором R1. Вона відкриває транзистор VT1, який закриває транзистор VT2. Таким чином, реле K1 виключене та його контакти знаходяться в положенні, що зображено на рис. 2.20.

При замиканні контакту X1 на масу, або подачі на нього логічного нуля транзистор VT1 закриється, що призведе до відкриття транзистора VT2, який ввімкне реле K1. В даному випадку контакти K1.1 підключать лівий контакт двигуна до мінусу джерела живлення. Так як реле K2 не перемикалось, то його контакти так і будуть підключати інший контакт двигуна до плюсу джерела живлення. Аналогічно працює і друга частина схеми, яка складається з транзисторів VT3 та VT4, а також реле K2.

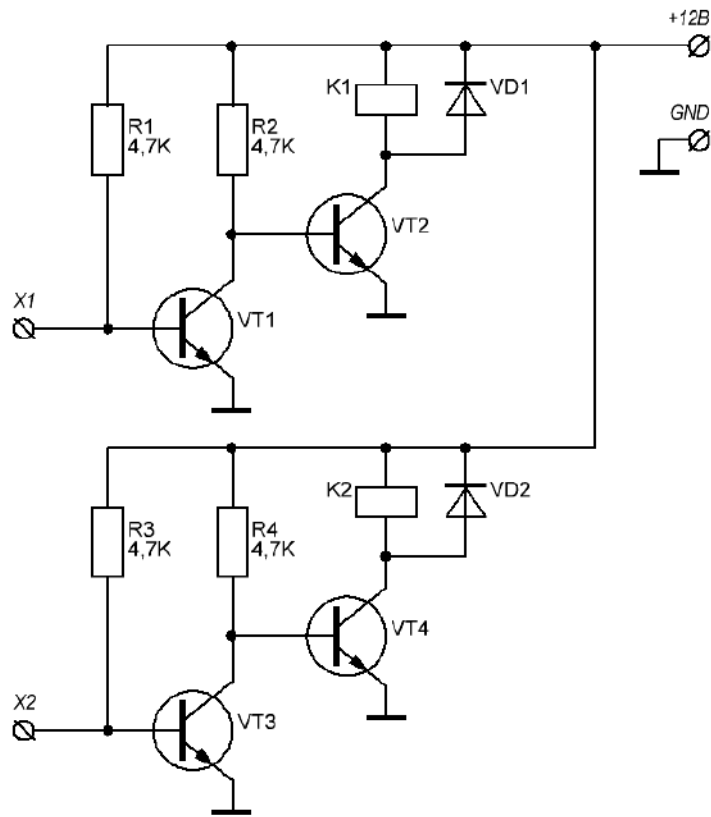


Рисунок 2.20 – Схема транзисторних ключів для керування реле

На рис. 2.21 наведена схема розташування контактів на платі модуля керування.

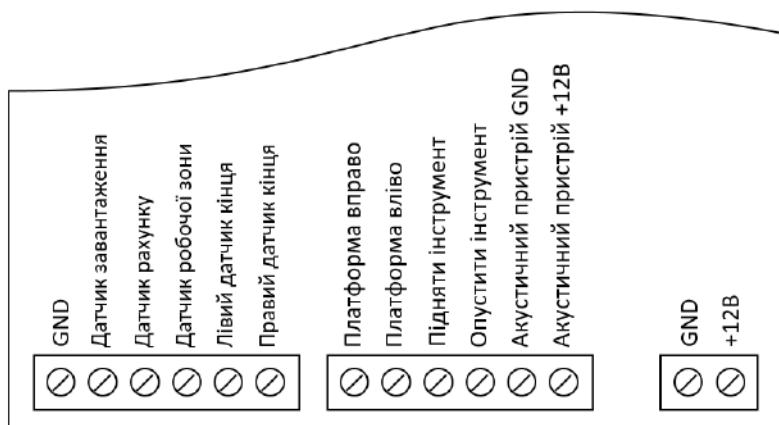


Рисунок 2.21 – Схема розташування контактів на платі модуля керування макетом

2.2.3 Навчальний програмований логічний контролер NTech PLC206-D

Для управління макетом використовується програмований логічний контролер NTech PLC206-D. Зовнішній вигляд навчального ПЛК NTech PLC206-D подано на рис. 2.22.



Рисунок 2.22 – Зовнішній вигляд навчального ПЛК NTech PLC206-D

Даний контролер має моноблокову функціонально закінчену конструкцію. В основі пристрою знаходиться мікроконтролер ATmega328.

Пристрій має шість дискретних входів з оптичною ізоляцією вхідних контактів від вхідних портів мікроконтролера. Контролер обладнано шістьма дискретними виходами.

Кожен з виходів побудовано за ключовою схемою на основі потужного транзистора. Живлення контролера відбувається від джерела постійного струму 12 В. Контролер підключається до промислової мережі за допомогою інтерфейсу RS485.

Для завантаження програми до ПЛК в контролері передбачено з'єднувач типу RJ9GP. Через нього пристрій підключається до персонального комп'ютера і за допомогою адаптера та спеціальної програми дані записуються до енергонезалежної пам'яті.

На рис. 2.23 подано структурну схему навчального промислового контролера NTech PLC206-D.

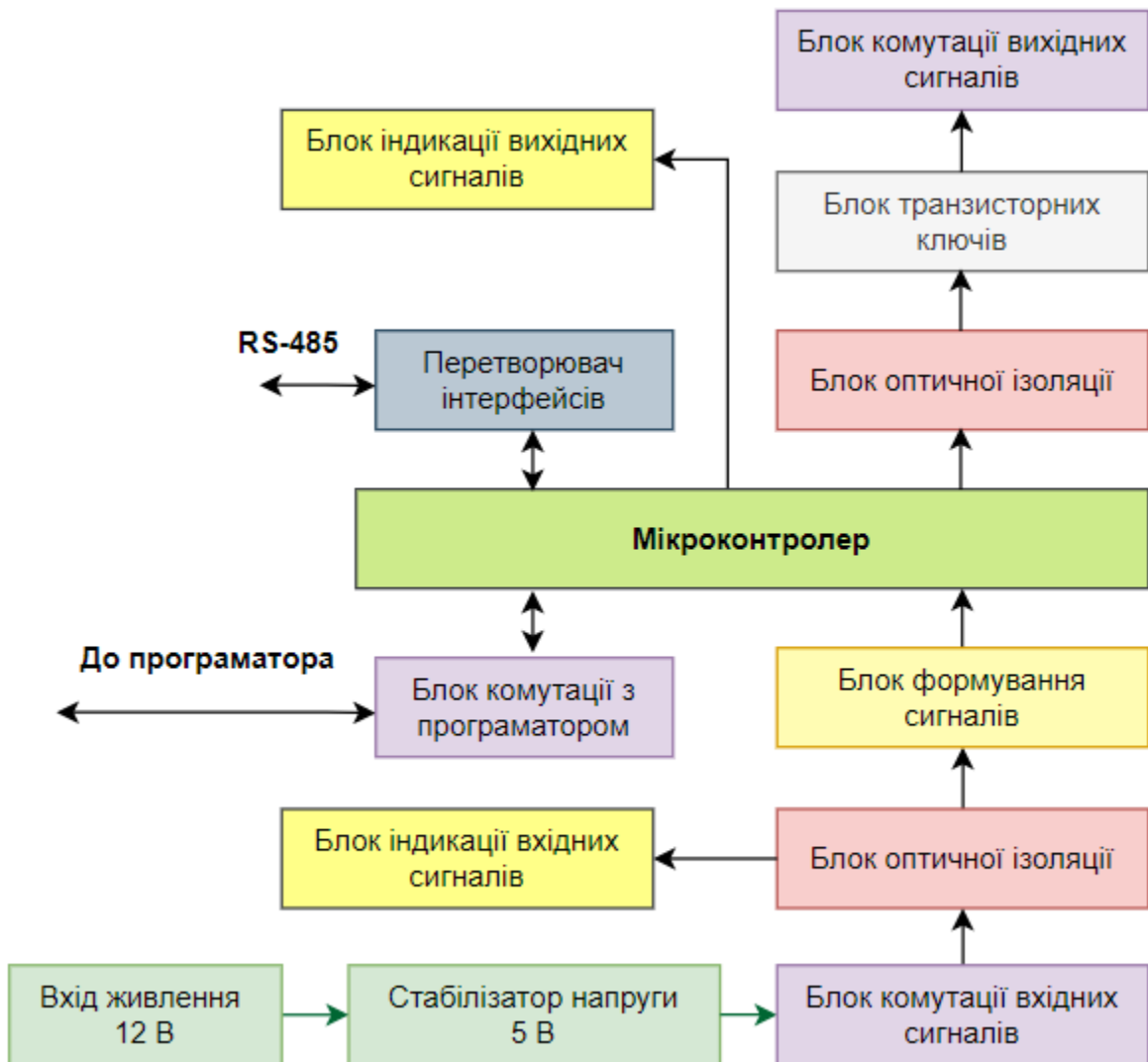


Рисунок 2.23 – Структурна схема навчального промислового контролера NTech PLC206-D

Як можна бачити з даного рисунку, до складу контролера входять такі блоки:

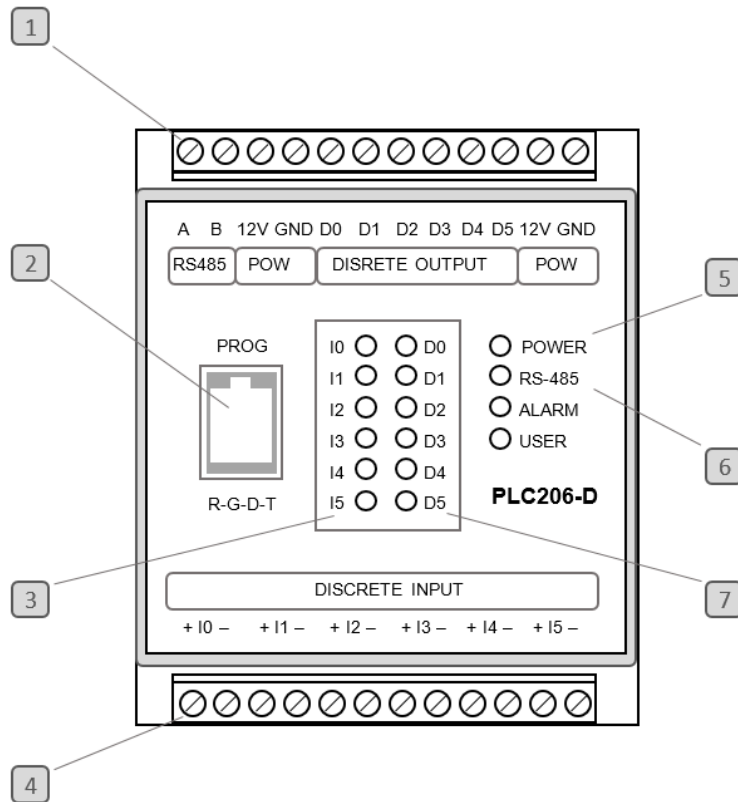
- мікроконтролер;
- блок комутації вхідних сигналів;
- блок оптичної ізоляції вхідних сигналів;
- блок формування сигналів;

- блок індикації вхідних сигналів;
- кнопки керування;
- блок оптичної ізоляції вихідних сигналів;
- блок транзисторних ключів;
- блок комутації вхідних сигналів;
- блок індикації вихідних сигналів;
- блок індикації;
- перетворювач інтерфейсу;
- стабілізатор напруги.

Характеристика навчального ПЛК NTech PLC206-D:

- мікроконтролер ATmega328;
- напруга живлення – 12 В постійного струму;
- гальванічна розв'язка вхідних сигналів;
- кількість дискретних портів вводу – 6 шт.;
- кількість дискретних портів виводу – 6 шт.;
- максимальне навантаження на один вихідний канал – 2 А;
- максимальна напруга, що комутується вихідними каналами – 30 В;
- тип вихідного каналу – транзисторний ключ з відкритим колектором;
- підключення до промислової мережі за допомогою інтерфейсу RS-485;
- індикація стану вхідних каналів;
- індикація стану вихідних каналів;
- індикація режиму передавання даних в промислову мережу;
- наявність кнопки «Reset» для ручного перезавантаження програми;
- індикація наявності напруги живлення;
- можливість завантаження програми до пам'яті контролеру через спеціальний адаптер;
- підтримка протоколу ModBus RTU;
- розміри пристрою 90 мм x 72 мм x 25 мм;
- вага – 0,1 кг.

На рис. 2.24 подано ескіз конструкції навчального ПЛК і розташування основних органів індикації та керування.



1 – клемник з контактами для підключення напруги живлення, мережі RS-485 та дискретних виходів; 2 – з’єднувач для підключення адаптеру для завантаження технологічної програми до пам’яті ПЛК; 3 – група індикаторів стану дискретних входів; 4 – клемник з контактами для підключення дискретних входів; 5 – індикатор наявності напруги живлення; 6 – індикатор режиму передавання даних до мережі RS-485; 7 – група індикаторів стану дискретних виходів

Рисунок 2.24 – Ескіз конструкції навчального ПЛК і розташування основних органів індикації та керування

Як можна бачити з даного рисунку контролер складається з наступних елементів:

- клемник з контактами для підключення напруги живлення, мережі RS-485 та дискретних виходів 1;
- з’єднувач для підключення адаптеру для завантаження технологічної програми до пам’яті ПЛК 2;
- група індикаторів стану дискретних входів 3;

- клемник з контактами для підключення дискретних входів 4;
- індикатор наявності напруги живлення 5;
- індикатор режиму передавання даних до мережі RS-485 6;
- група індикаторів стану дискретних виходів 7.

На рис. 2.25 показано призначення контактів на входних і вихідних клемниках контролеру.

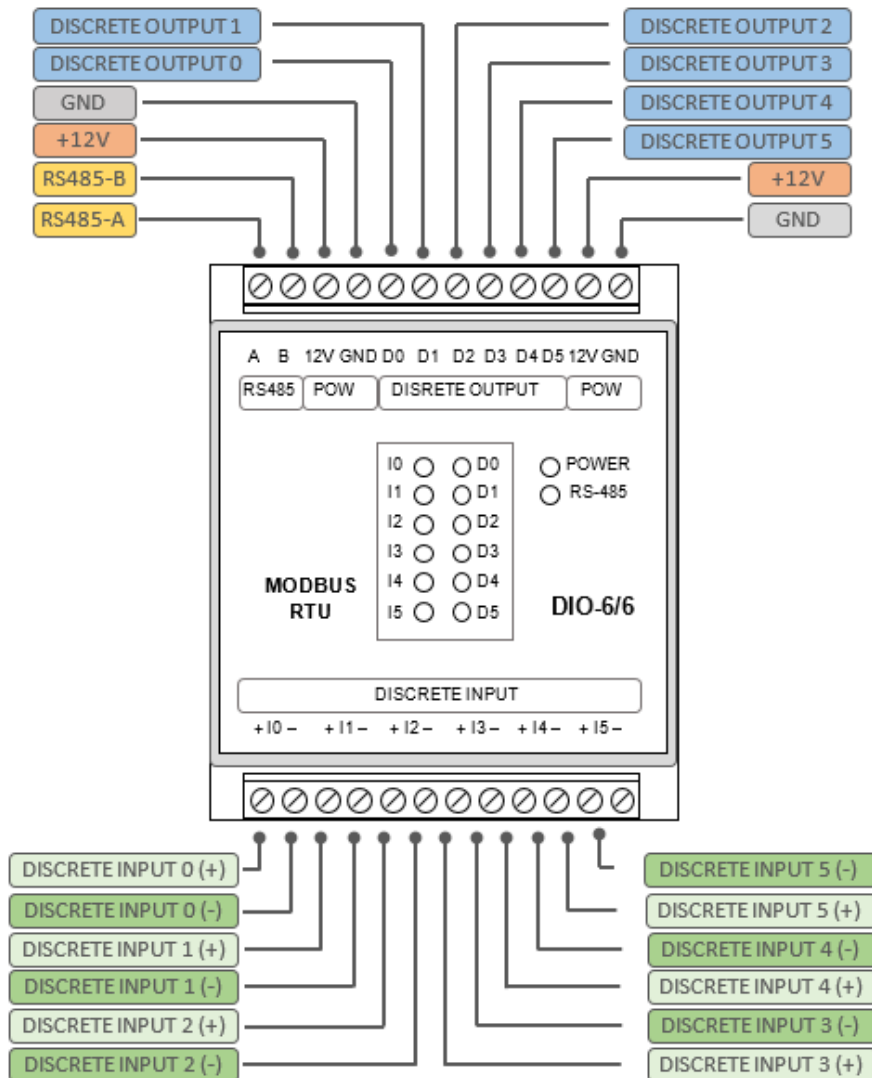


Рисунок 2.25 – Призначення контактів на входних та вихідних клемниках контролеру

Зеленим кольором показані дискретні входи, синім – дискретні виходи. Також показані контакти для підключення напруги живлення 12 В, та мережі RS-485. Напруга живлення підключається до верхньої контактної групи. На клемнику знаходяться два контакти для підключення +12 В та два для підключення лінії GND. Контакти розташовані по обидва боки від дискретних виходів.

Шина живлення є прохідною, тому при підключенні до ПЛК додаткових модулів, наприклад модулів вводу/виводу, можна використовувати послідовну схему. На рис. 2.26 подано схему, за якою побудовані вихідні канали контролеру. Вихідні канали побудовані за схемою з відкритим колектором, тому для того, щоб вони працювали, необхідно в схемі навантаження організувати підключення їх до напруги живлення зовнішнім резистором.

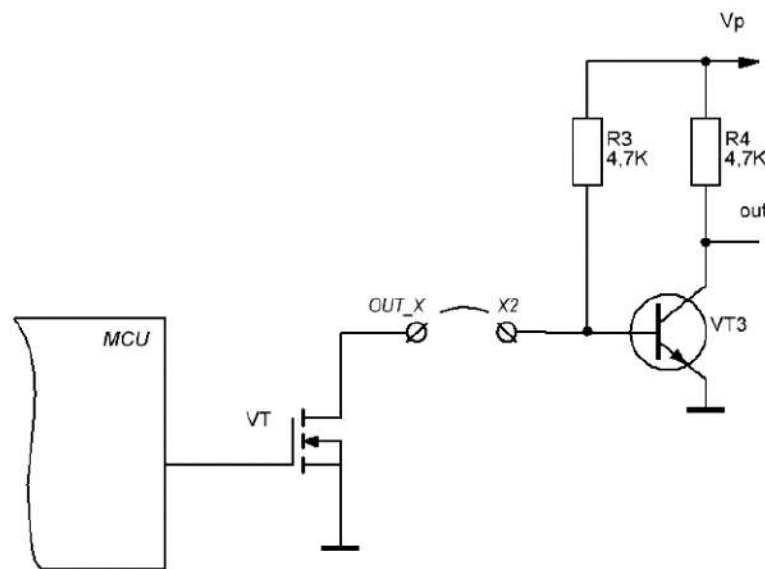


Рисунок 2.26 – Схема побудови вихідних каналів контролеру та підключення зовнішнього навантаження

На рис. 2.27 наведено схему входних каналів. Входні канали побудовані на основі оптичних пар. Для передачі сигналу на вхід мікроконтролеру необхідно подати на вхід IN_X напругу в діапазоні від 10 до 14 В. Схема побудована таким чином, що сигнал в вході мікроконтролеру буде інверсним. Тобто, якщо на вході логічного контролеру присутня напруга 12 В (логічна «1»), то на вході мікроконтролеру буде логічний «0». Це треба брати до уваги при розробці програми керування.

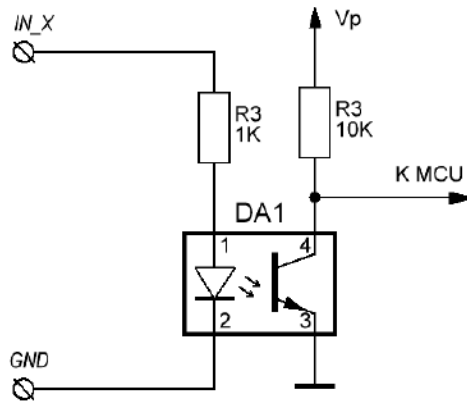


Рисунок 2.27 – Схема побудови вхідних каналів

На рис. 2.28 подана схема оптичних датчиків, які використовуються у макеті. Датчики мають частину, яка випромінює ІЧ світло, та частину, що приймає цей сигнал. Перша частина постійно підключена до напруги живлення та не має можливості бути змінена в процесі проведення дослідження з макетом.

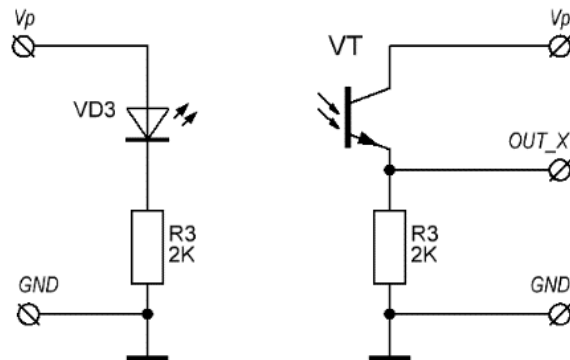


Рисунок 2.28 – Схема оптичних датчиків

Друга частина має три виходи: два – це напруга живлення, а третій – це сигнальний вихід. За відсутності об'єкту між випромінювачем та приймачем на виході датчика присутня напруга близька до 12 В. При появі об'єкту – напруга знизиться до 2 В, що не достатньо для включення вхідних каналів логічного контролера. Конструкцією макету передбачено, що напруга живлення постійно подається на другу частину датчика. Вихідний сигнал OUT_X заведено на модуль керування макетом та може бути використано логічним контролером для контролю за станом виконавчих механізмів.

На рис. 2.29 подана схема поєднання модулю керування макетом та логічного контролера при вирішенні завдання контролю за станом лівого кінцевого датчика.

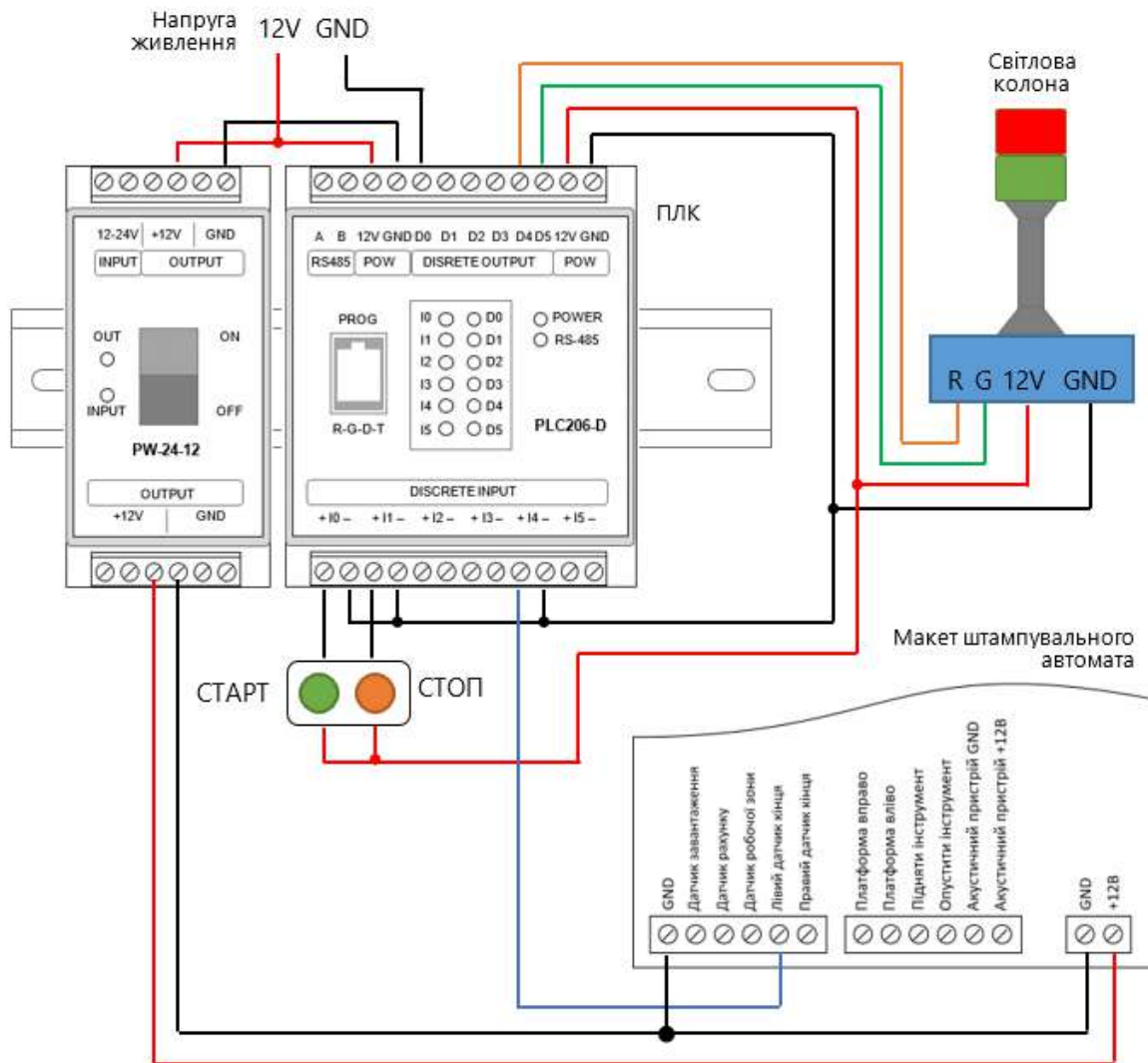


Рисунок 2.29 – Схема поєднання модулю керування макетом та логічного контролера при вирішенні завдання контролю за станом лівого кінцевого датчика

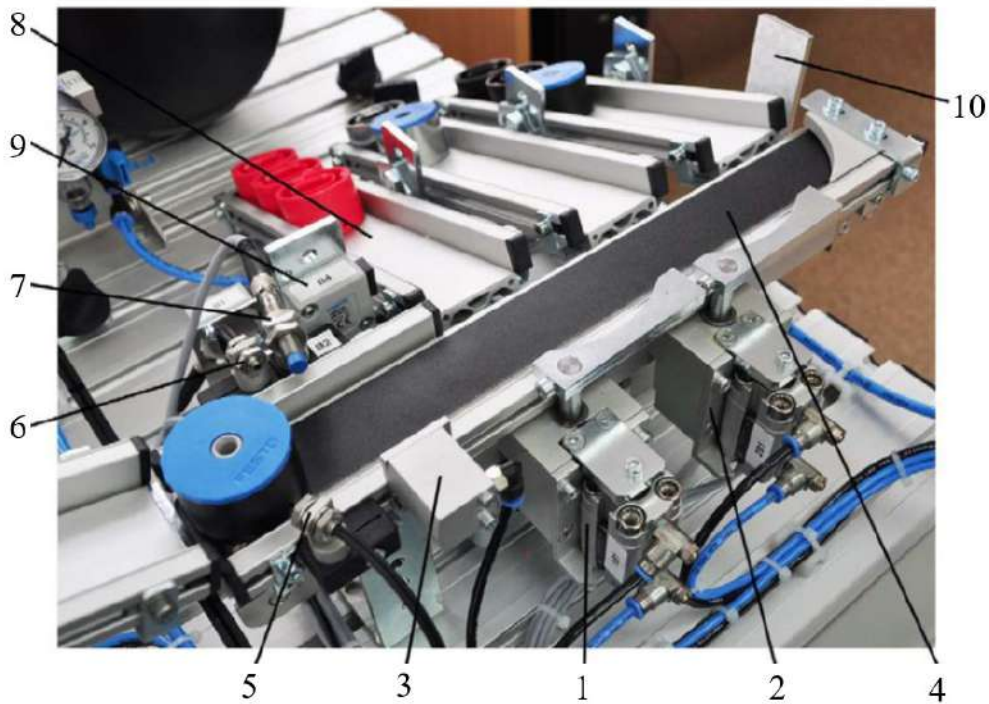
Як можна бачити з наведеної схеми для контролю за станом датчика необхідно лише поєднати вихід лівого датчика зі входом логічного контролера (наприклад, IN4), а також вихід GND модуля керування та вхід GND1 логічного контролера. Далі треба подати живлення на обидва модулі та включити пристрої.

Аналогічним чином підключаються виконуючі пристрої до логічного контролеру. Щоб написати програми керування для логічного контролеру необхідно знати його структурну схему та номери портів вводу/виводу мікроконтролеру, що підключені до вхідних і вихідних схем, а також до засобів індикації.

Для контролю за станом макету в схемі 2.29 використовується світлова колона. Вона підключена напряму до вихідних контактів навчального ПЛК.

2.3 Конвеєр і технологічна лінія

Як функціональний аналог конвеєра розглянемо мехатронний модуль транспортування та розподілення фірми FESTO (рис. 2.30) [6].



- 1, 2 – пристрої, що відхиляють пластини; 3 – стопорний механізм;
4 – конвеєр; 5, 6, 9 – оптичні датчики; 7 – індуктивний датчик;
8 – накопичувальний модуль; 10 – рефлектор

Рисунок 2.30 – Зовнішній вигляд модуля розподілення фірми FESTO

Автоматизована станція сортування складається з наступних основних вузлів:

- приладова плита;
- панель з програмованим логічним контролером;
- панель управління;
- мобільний корпус.

На приладовій плиті розміщено основне обладнання: виконавчі пристрої станції, датчики, пневморозподільники. Також змонтовано допоміжне обладнання: блок підготовки повітря, інтерфейсний модуль і кабель-канали.

Приладова плита являє собою алюмінієвий профільований конструктив, на якому перераховані вище елементи монтуються за допомогою Т-образних пазів і спеціального комплекту кріплень.

Основним вузлом, розміщеним на приладовій плиті, є модуль транспортування і розподілу. Даний модуль призначений для переміщення і сортування деталей трьома накопичувальними лотками.

До складу модуля транспортування і розподілу деталей, який показано на рис. 2.30, входять три типи виконавчих пристроїв: пристрої, що відхиляють пластини 1 і 2, стопорний механізм 3 і конвеєр 4. Крім того, модуль містить оптичні датчики 5, 6 і 9; індуктивний датчик 7; накопичувальний модуль 8; рефлектор 10.

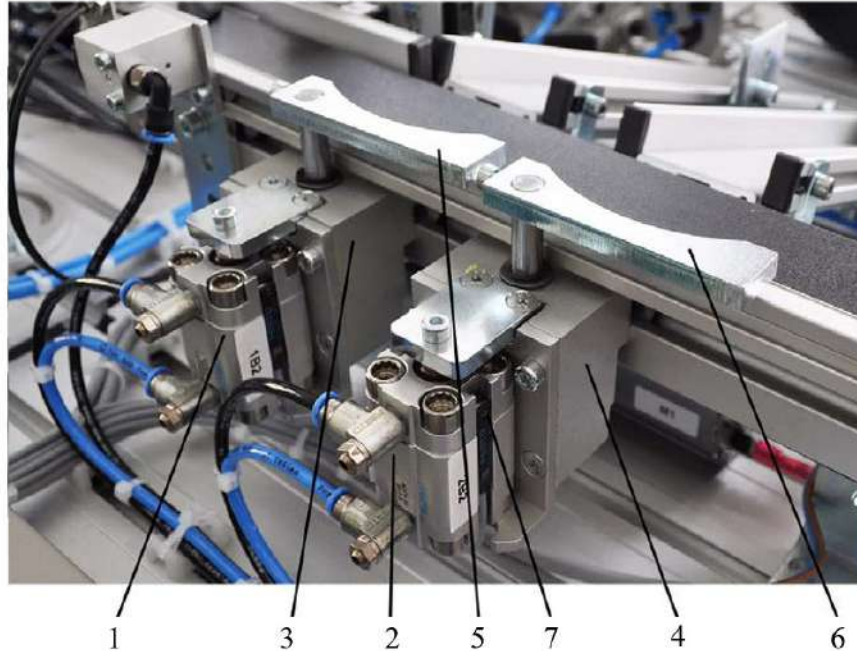
Кожен з пристроїв, що відхиляє пластину складається з поворотного пневматичного приводу і важеля (рис. 2.31).

Механізм складається з наступних елементів:

- штокові пневматичні циліндри 1 і 2;
- механізми передачі 3 і 4;
- важелі подачі 5 і 6;
- магнітокеровані контакти 7.

Поворотні приводи виконані на базі штокових пневматичних циліндрів 1 і 2. Штоки пневмоциліндрів жорстко поєднані з механізмами передачі 3 і 4. Механізм передачі перетворює поступальний рух штока циліндра в поворотний рух вихідного валу. Безпосередньо на вихідних валах механізмів передачі закріплені важелі подачі 5 і 6. У поздовжніх пазах корпусів пневматичних циліндрів містяться по два датчика положення поршнів. Як датчики використовуються магнітокеровані контакти

(геркони) 7, станом яких керують постійні магніти, розміщені на поршнях пневмоциліндрів. Датчики формують сигнали, коли поршні пневмоциліндрів досягають крайніх положень.



1, 2 – штокові пневматичні циліндри; 3, 4 – механізми передачі;
5, 6 – важелі подачі; 7 – магнітокеровані контакти

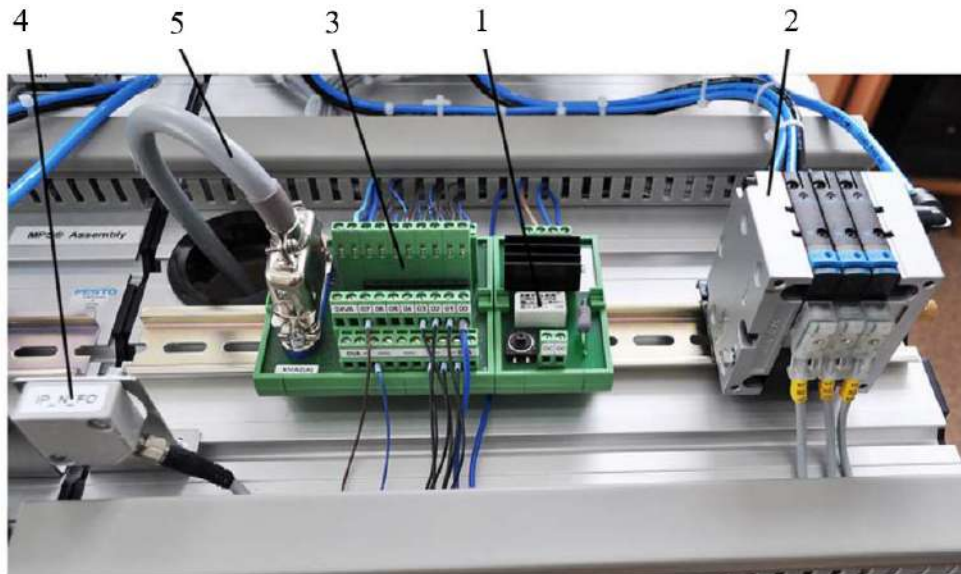
Рисунок 2.31 – Принцип дії відхиляючих пристроїв

Стопорний механізм 3 (рис. 2.31) призначений для затримки деталі на конвеєрі 4 на час визначений датчиками 6 і 7 в залежності від типу деталі.

Керування пневмоциліндрами відхиляючими пристроями і стопорним механізмом здійснюється пневматичними розподільниками, які об'єднані в пневматичний острів 2 (рис. 2.32).

Пневматична схема станції сортування показана на рис. 2.33.

Стиснене повітря з компресора КМ подається в блок підготовки повітря, звідки йде на пневматичні розподільники. Блок підготовки повітря складається з фільтра Ф зі скляною колбою, редукційного клапана КР, манометра М і розподільника Р4. Фільтр здійснює сушіння і очищення стисненого повітря, підведеного від компресора.



1 – модуль керування електродвигуном; 2 – пневматичний острів;
3 – блок комутації; 4 – блок індикації; 5 – інформаційний кабель

Рисунок 2.32 – Пневматичний розподільник

Редукційний клапан використовується для підтримки необхідного рівня тиску в пневматичній лінії живлення. За допомогою манометра візуально контролюється поточний рівень тиску. На виході блоку підготовки повітря встановлено 3/2 розподільник Р4 з ручним керуванням, який призначений для блокування надходження стисненого повітря з блоку підготовки в пневматичну лінію живлення. Робочий тиск в пневматичній системі становить 600 кПа.

З блоку підготовки стиснене повітря надходить на пневматичні розподільники Р1, Р2 і Р3, які використовуються для управління подачею повітря до пневмоциліндрів. Використовуються моностабільні 5/2 розподільники з електромагнітним керуванням. Пневматичний розподільник Р1 управляє подачею стисненого повітря в циліндр Ц1. Даний циліндр надає рух відхиляючому пристрою 1 (з рис. 2.31). З подачею сигналу управління на електромагніт розподільника стиснене повітря буде подаватися в поршневу порожнину через зворотний клапан КО1 (клапан при цьому відкритий), а повітря зі штокової порожнини циліндра виходитиме через регульований дросель ДР2 і глушник Г в атмосферу. В результаті цього відбувається висування штока пневмоциліндра Ц1.

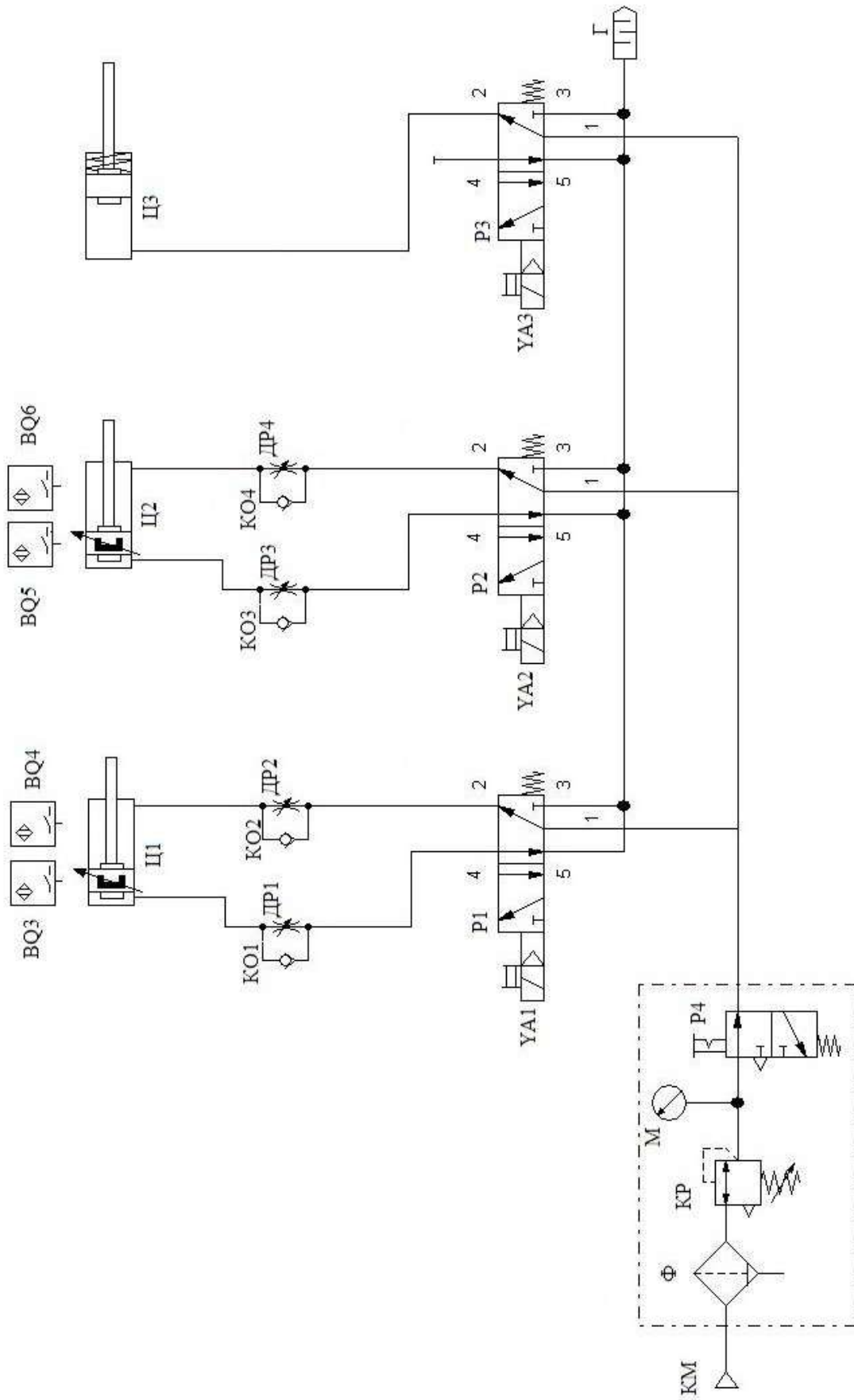


Рисунок 2.33 – Пневматична схема станції сортування

Якщо сигнал управління розподільником дорівнюватиме логічному нулю, стиснене повітря буде проходити в штокову область через зворотний клапан КО2, а повітря, що знаходиться в поршневій порожнині буде проходити через регульований дросель ДР1 і глушник Г в атмосферу. Це призведе до втягування штока пневмоциліндра Ц1.

Аналогічно організовано управління пневмоциліндром Ц2, який приводить в рух відхиляючий пристрій 2 (з рис. 2.31).

Дроселі із зворотними клапанами використовуються для регулювання швидкості переміщення поршнів пневмоциліндрів. Наявність дроселя в каналі виходу повітряного потоку покращує плавність переміщення штоків пневмоциліндрів і важелів відхиляючих пристроїв.

Пневматичний розподільник Р3 слугує для управління подачею стисненого повітря в пневмоциліндр Ц3 стопорного механізму. При відсутності сигналу керування на електромагніт УА3 розподільник Р3 під дією поворотної пружини розташовується так, що штокова порожнина циліндра Ц3 буде з'єднана з атмосферою, а поршнева – з лінією живлення стисненим повітрям. При цьому шток стопорного механізму буде висунутий.

З подачею сигналу управління на електромагніт УА3 розподільник переміститься таким чином, що поршнева порожнина зв'яжеться з атмосферою, а поршень під дією пружини буде переміщуватися таким чином, що шток стопорного механізму втягнеться.

Конвеєр 4 (рис. 2.30) слугує для переміщення деталей, що сортуються. Приводом конвеєра є електродвигун постійного струму з черв'ячним редуктором. Номінальний струм двигуна – 2 А, номінальна робоча напруга – 24 В.

Плавний пуск і зупинка двигуна конвеєра здійснюється за допомогою модуля керування електродвигуном 1 (рис. 2.32). Модуль керування містить в своєму складі реле, яке виконує функцію комутаційного пристрою, і електронний обмежувач струму. При подачі сигналу управління на даний модуль відбувається замикання нормально розімкненого контакту реле.

Напруга подається на обмотку електродвигуна, виконуючи тим самим увімкнення електродвигуна конвеєра. Електронний обмежувач струму обмежує пусковий струм двигуна до рівня 2 А.

Робоча площа конвеєра розділена на дві функціональні зони: зона завантаження і зона розподілу. Зоною завантаження деталей є область на початку конвеєра. До цієї зони деталі подаються з попередньої станції.

З надходженням деталі в зону завантаження оптичним датчиком 5 (рис. 2.30) формується сигнал про наявність деталі на конвеєрі. Зона розподілення станції займає всю площу від стопорного механізму до кінця конвеєра.

Характеристики деталей на конвеєрі контролюється за допомогою двох датчиків – оптичного датчика 6 і індуктивного датчика 7 (рис. 2.30).

Оптичний датчик 6 дозволяє визначати колір деталі. Датчик 6 налаштований так, що з появою перед ним деталі червоного кольору він виробляє сигнал, а при появі перед ним чорної деталі – сигналу немає. Індуктивний датчик 7 визначає, чи надійшла металева деталь (з металевим напиленням).

Деталі з модуля транспортування і сортування надходять в накопичувальний модуль 8 (рис. 2.30), основними елементами якого є три накопичувальних лотка. Лівий лоток призначений для зберігання деталей червоного кольору, правий – чорного кольору, середній – сріблястого кольору. Є можливість регулювання висоти і кута нахилу накопичувальних лотків.

На накопичувальному модулі встановлено оптичний датчик 9 з рефлектором 10 (рис. 2.30), який слугує для реєстрації деталей, які надходять з конвеєра, а також для контролю рівня заповнення накопичувальних лотків.

2.4 Пристрій живлення деталями технологічної лінії

2.4.1 Принцип дії накопичувачів деталей

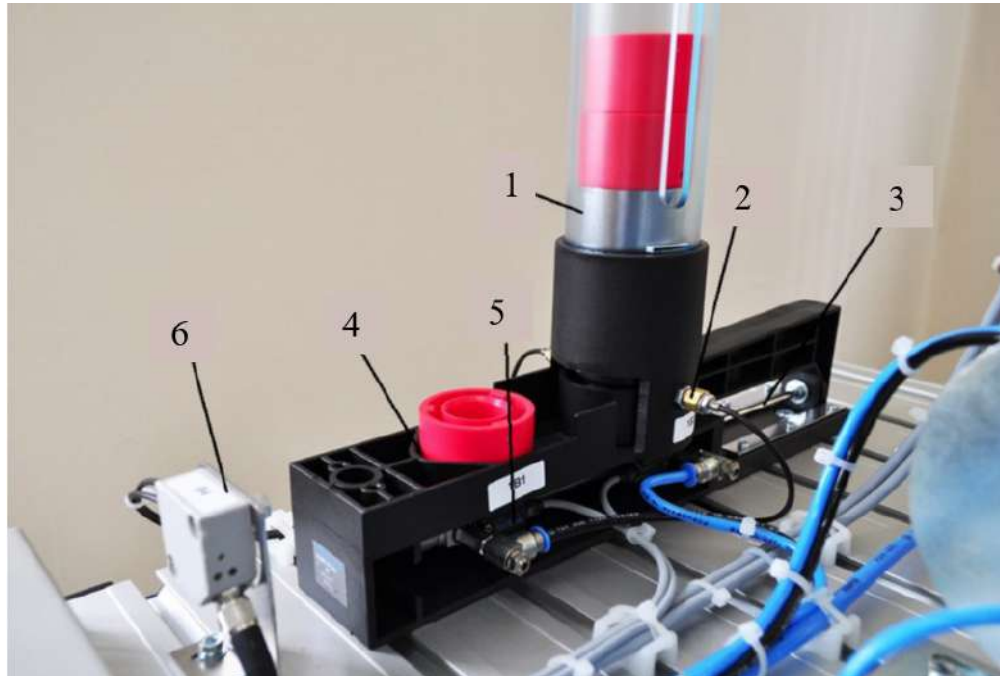
Пристрої живлення технологічної лінії виконують функцію накопичення деталей для безперервної подачі їх на конвеєр для подальшої обробки. На рис. 2.34 подано зовнішній вигляд модуля накопичування деталей фірми FESTO.

Модуль накопичувача призначений для тимчасового зберігання деталей і послідовного їх вивантаження для подальшого переміщення перекладником.

Деталі зберігаються у вертикальному накопичувачі 1. Ємність даного накопичувача – 8 деталей. Наявність заготовок в накопичувачі контролюється оптичним датчиком 2 типу «світловий бар'єр».

Нижня заготовка з накопичувача за допомогою штохача, пов'язаного зі штоком 3 пневматичного циліндра двосторонньої дії, переміщається в зону вивантаження 4 до механічного упору.

Як датчики крайніх положень штока використовуються магнітокеровані контакти (геркони) 5, станом яких управляє постійний магніт, розміщений на поршні пневмоциліндра.



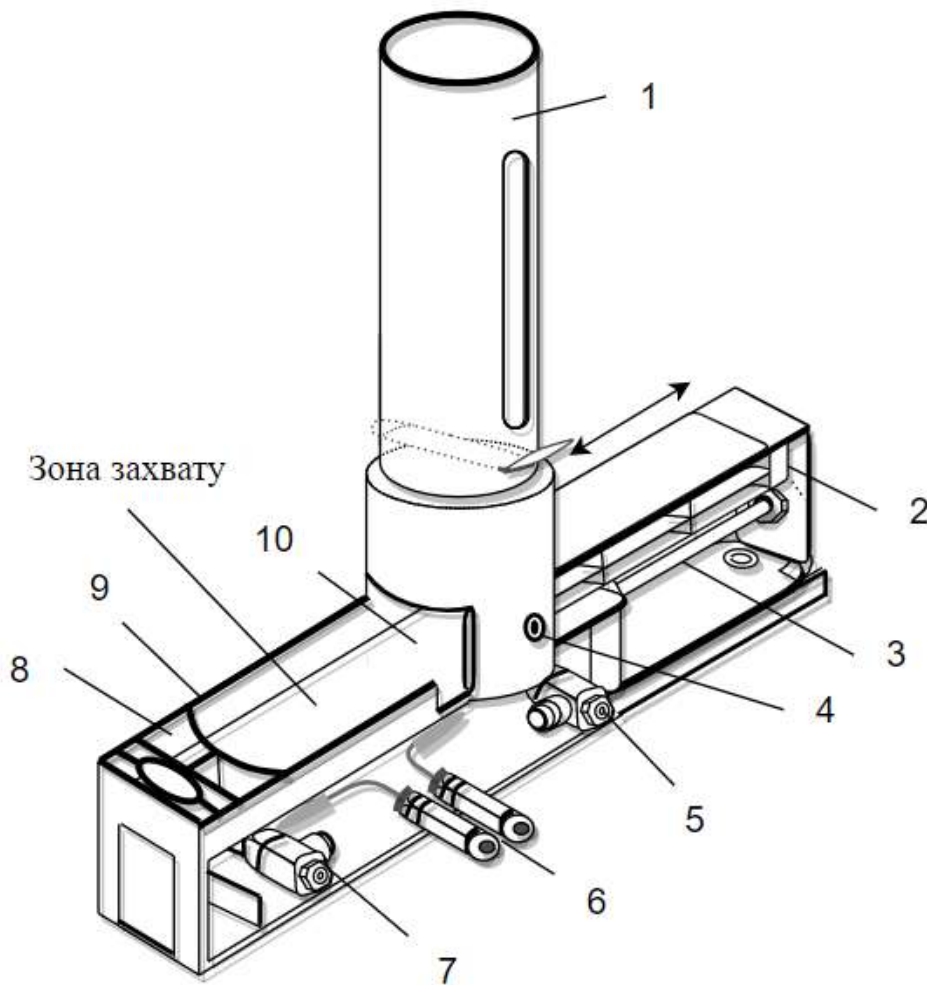
1 – вертикальний накопичувач; 2 – оптичний датчик; 3 – шток;
4 – зона вивантаження; 5 – магнітокеровані контакти;
6 – датчик наявності деталей в зоні вивантаження

Рисунок 2.34 – Зовнішній вигляд модуля накопичування деталей фірми FESTO

На рис. 2.35 показано схематичне зображення накопичувача. Принцип дії пристрою наступний. Об'єкти виробництва, що надходять до виробничої лінії, розміщуються в орієнтованому положенні, а саме нагору отвором у шахті 1 магазину (рису. 2.35), звідки поштучно під дією власної ваги опускаються на горизонтальну пласку напрямну 10 корпусу живильника 9.

Наявність у шахті об'єктів завантаження контролюється за допомогою фотоелектричного датчика 4, що видає дозвільний сигнал на подачу стисненого

повітря через пневматичний роз'єм 5 до пневмоциліндру двосторонньої дії, встановленого під горизонтальною напрямною 10, шток 3 якого з'єднаний із шиббером 2 живильника. Шток втягується, переміщуючи шиббер, що відсікає один об'єкт завантаження від купи й переміщає його в зону захвату до упору в центрувальну призму 8.



- 1 – шахтний магазин; 2 – шиббер пристрою живлення; 3 – шток;
 4 – фотоелектричний датчик; 5, 7 – пневматичні роз'єми; 6 – електричні роз'єми;
 8 – центрувальна призма; 9 – корпус пристрою живлення;
 10 – горизонтальна напрямна

Рисунок 2.35 – Схема розташування основних елементів конструкції накопичувача

Після захоплення вакуумним захоплювачем об'єкта й видалення його із зони захвату, сигнал, який виробляється одним з датчиків маніпулятора, викликає перемикання подачі повітря до пневматичного роз'єму 7 і повернення шибера у вихідне положення.

Сигнали підтвердження виходу шибера в крайні точки генеруються кінцевими герконовими датчиками 1В1 і 1В2 (рис. 2.36), встановленими на пневмоциліндрі, поршень якого оснащений кільцевим магнітом, магнітне поле якого викликає їх спрацювання.

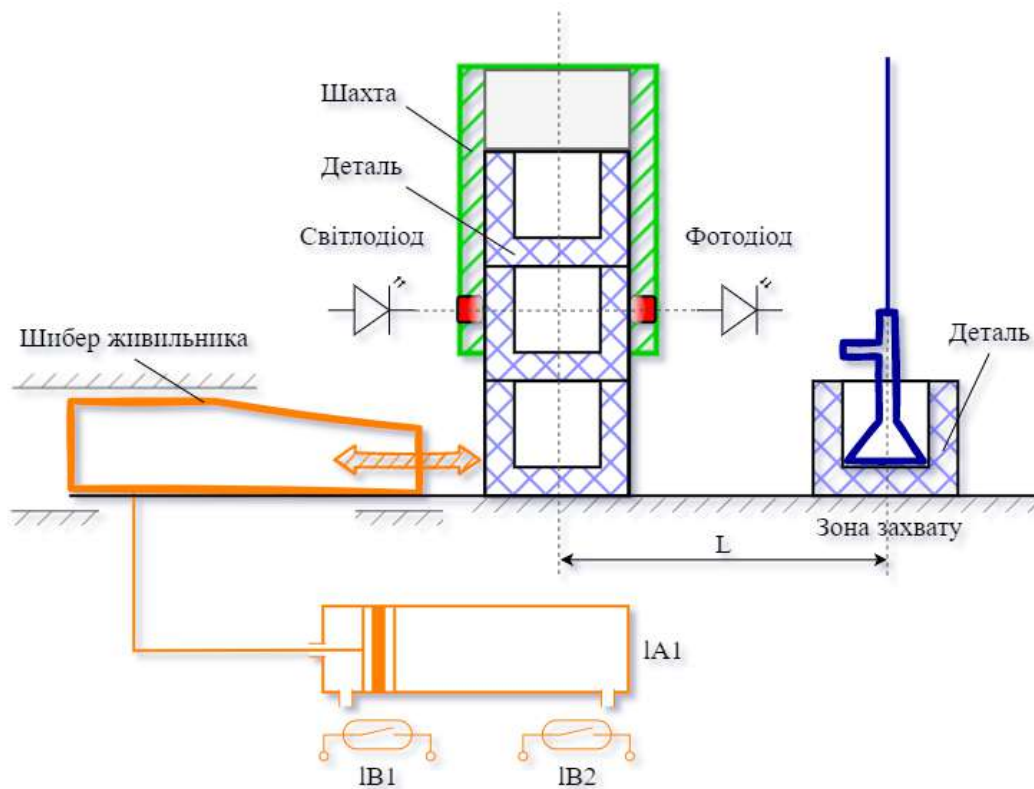


Рисунок 2.36 – Схема розташування датчиків на пристрої накопичувача

Електричні роз'єми 6 призначені для підключення кінцевих датчиків (магнітокерованих герконів) пневмоциліндра до блоку керування. Регулювання швидкості руху шибера забезпечується за допомогою дроселів у складі приєднувальних пневматичних роз'ємів 5 і 7.

2.4.2 Опис конструкції макету накопичувача та принципу його роботи

Зовнішній вигляд лабораторного макету накопичувача подано на рис. 2.37.

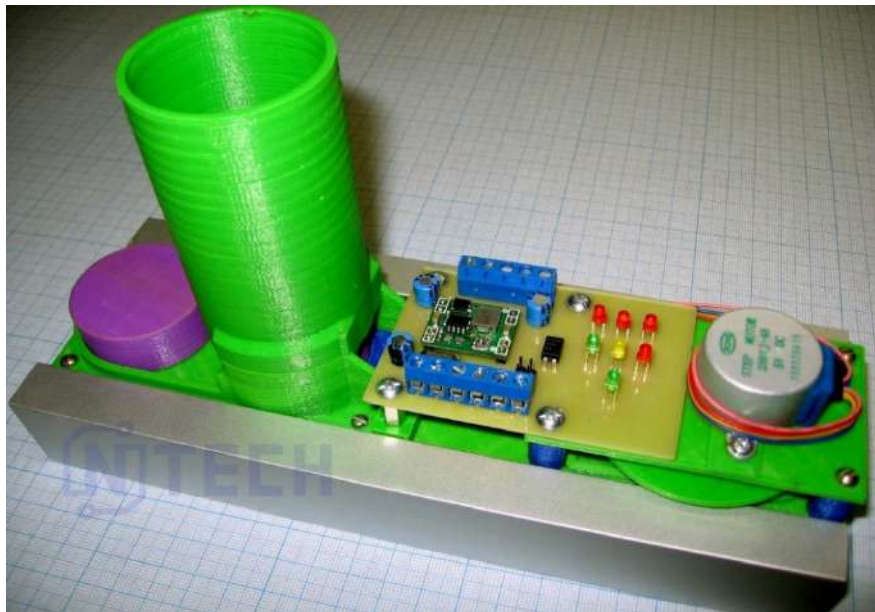


Рисунок 2.37 – Навчальний лабораторний макет накопичувача деталей

Макет спроектовано та виготовлено на кафедрі КІТАМ ХНУРЕ засобами 3D-друку. Приклад 3D моделі макету накопичувача деталей подано на рис. 2.38.

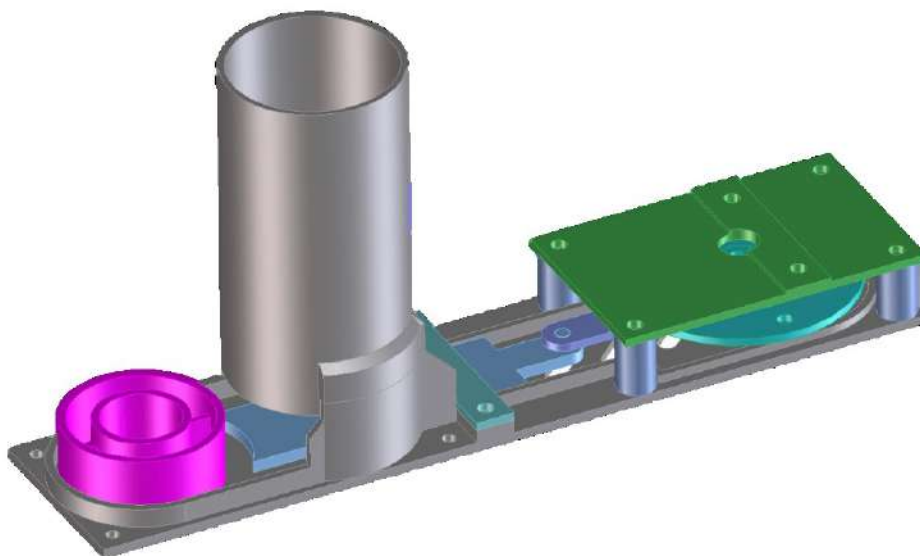


Рисунок 2.38 – 3D-модель макету накопичувача деталей

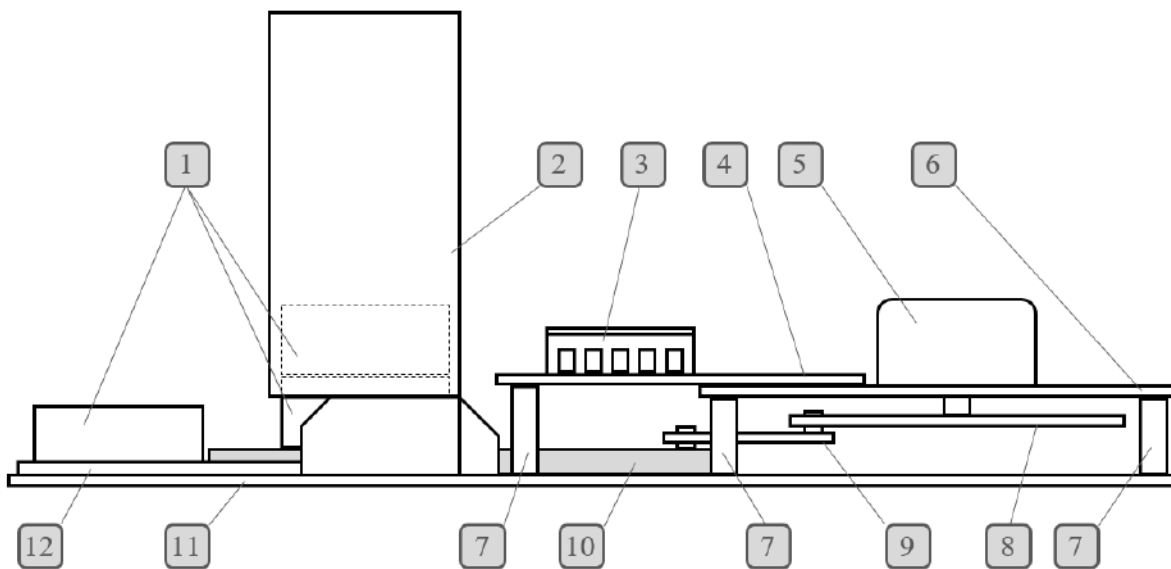
Модуль видавання деталей призначений для циклічної подачі деталей до зони завантаження. Функціональне призначення макету накопичувача полягає в наступному:

- зберігання деталей в шахтному магазині;
- видача деталей за потребою та за командою з модуля керування;
- збирання даних з датчиків і надання їх до ПЛК;
- індикація стану макету за допомогою світлодіодних індикаторів.

До складу модуля входять:

- механізм, що виштовхує деталі;
- шахтний магазин для завантаження та утримання деталей;
- блок керування.

На рис. 2.39 наведено схему розташування основних елементів макету.



- 1 – деталь; 2 – шахтний магазин; 3 – з'єднувач; 4 – плата модуля керування;
5 – кроковий двигун; 6 – платформа; 7 – стойки; 8 – ролик; 9 – рейка;
10 – виштовхувач; 11 – основна платформа; 12 – захисне ребро

Рисунок 2.39 – Схема розташування основних елементів макету

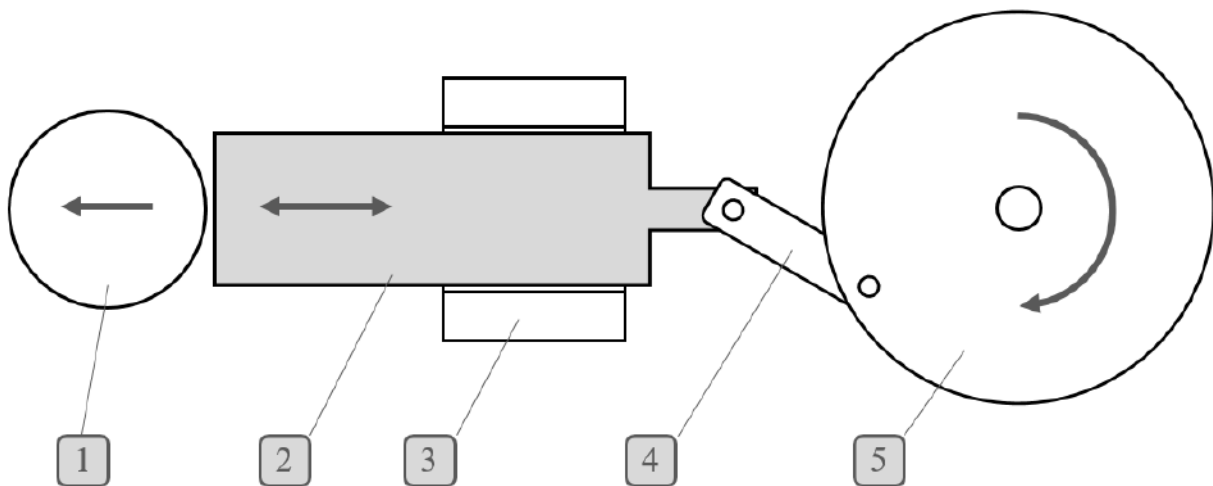
Деталі 1, які використовуються у технологічному процесі завантажуються до шахтного магазину 2 та зберігаються там одна на одній вертикально. За допомогою

виштовхувача 10 деталь 1 подається до зони завантаження. Коли деталь буде видалена з шахтного магазину 2 наступні під власною вагою опустяться вниз.

Видана деталь буде знаходитись у зоні завантаження доки її не заберуть за допомогою пересувного механізму. Ребро 12 захищає деталь від зсуву в процесі очікування. Виштовхувач 10 приводиться до руху двигуном 5, рейкою 9 і роликом 8. Двигун закріплений на платформі 6, що встановлена на стойках 7 та кріпиться до платформи 11.

Датчики та двигун підключені до модуля керування 4. Зовнішні сигнали управління надходять через з'єднувач 3. До нього, також, підключається промислова мережа RS-485.

На рис. 2.40 подано схему, що пояснює принцип роботи механізму, який виштовхує деталі.



1 – деталь; 2 – виштовхувач; 3 – обмежувач; 4 – рейка; 5 – ролик

Рисунок 2.40 – Принцип роботи механізму, який виштовхує деталі

Виштовхувач 2 виконує прямолінійні рухи вперед і назад в межах обмежувача 3. Механізм приводиться до руху роликом 5, що закріплений на валу двигуна. При обертанні ролика 5 рейка 4 або тягне, або штовхає виштовхувач 2. Завдяки прямолінійним рухам виконується подача деталі 1 до зони завантаження.

2.4.3 Опис структурної схеми модуля керування накопичувачем

Структурна схема модуля керування накопичувача подана на рис. 2.41.

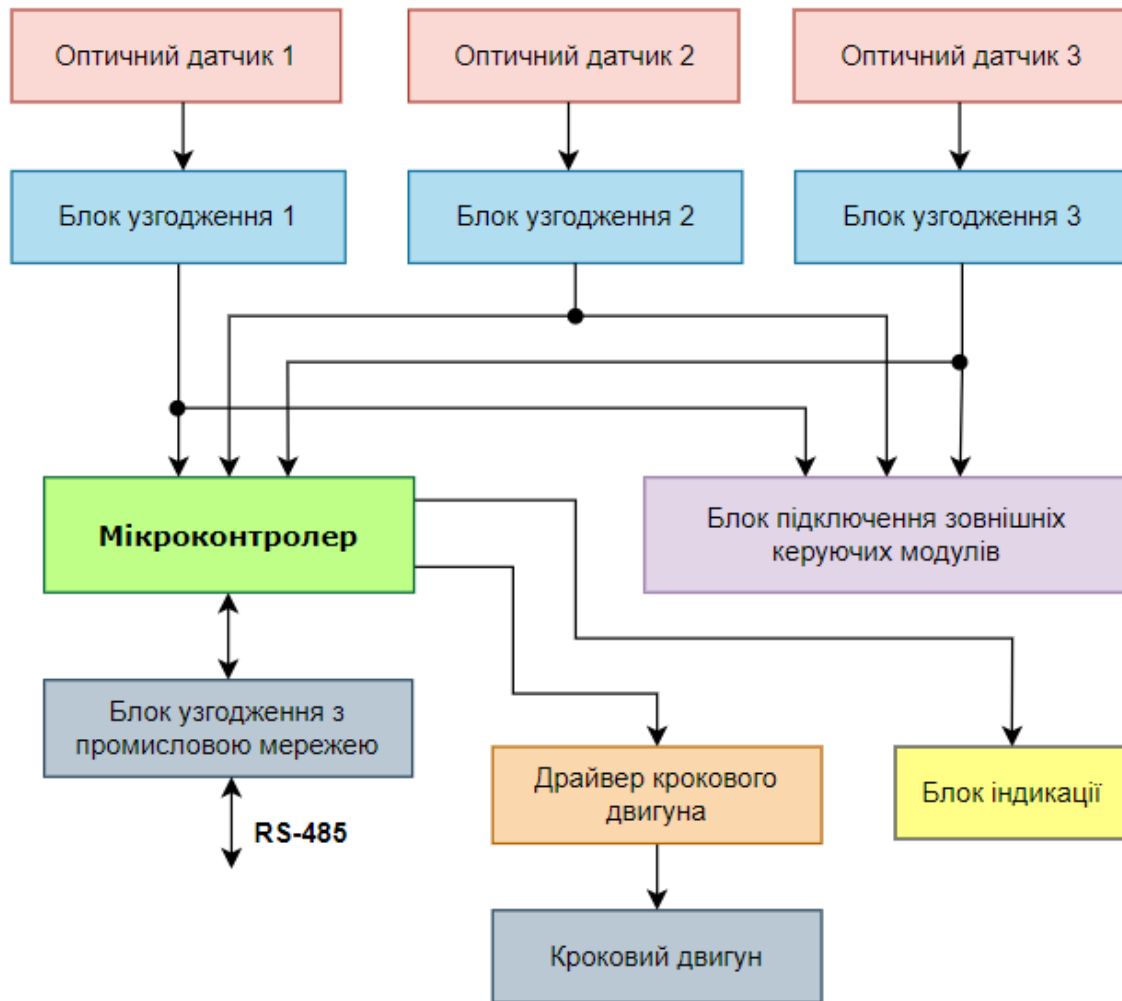


Рисунок 2.41 – Структурна схема збору даних і керування накопичувачем деталей для промислової лінії

Як можна бачити з даної схеми, до складу модуля керування входять:

- три оптичних датчика;
- три блока узгодження;
- блок підключення зовнішніх керуючих модулів;
- мікроконтролер;
- блок узгодження з промисловою мережею;

- драйвер крокового двигуна;
- кроковий двигун;
- блок індикації.

В даному модулі оптичні датчики призначені для виконання наступних функцій:

- детектування початкового положення штовхача;
- детектування наявності деталей в бункері;
- детектування наявності деталі в зоні завантаження.

Сигнали з датчиків через блок підключення зовнішніх керуючих модулів можуть використовуватись для керування даним модулем за допомогою промислового контролера. В такому випадку команди керування будуть надходити до модуля через блок узгодження з промисловою мережею.

Виштовхування деталей відбувається за допомогою крокового двигуна та встановленого на ньому важеля. Для підключення двигуна до мікроконтролера використовується спеціальний драйвер для погодження електричних сигналів.

Модуль індикації призначений для відображення інформації про поточний стан модуля керування. Світлодіоди сигналізують про наступне:

- спрацювання датчика наявності деталі в зоні завантаження;
- спрацювання датчика наявності деталей в бункері;
- спрацювання датчика наявності штоку в початковому положенні;
- готовність модуля керування до отримання команд;
- обробка команди;
- наявність напруги живлення;
- режим виштовхування.

2.5 Модуль вводу/виводу дискретних сигналів

2.5.1 Призначення модулів вводу/виводу дискретних сигналів

Модулі вводу/виводу дискретних сигналів можуть використовуватись у складі автоматизованих систем керування технологічними процесами у різних галузях промисловості. Пристрої можуть застосовуватися для обробки і подальшої передачі в мережу RS-485 або Ethernet сигналів, отриманих з різних датчиків і

безконтактних вимикачів (які засновані на ємнісному, індуктивному, оптичному, ультразвуковому та інших принципах дії), а також керування виконавчими механізмами через вмонтовані електромагнітні реле. Тобто модулі вводу/виводу виконують сполучну роль між ПЛК і об'єктом управління.

Зовнішній вигляд модуля вводу/виводу дискретних сигналів NTech DIO-6/6 подано на рис. 2.42. Даний модуль – це функціонально закінчений пристрій, що використовується для розширення портів вводу/виводу ПЛК завдяки можливості передавати на нього результати опитування стану входних портів та встановлювати на вихідних портах рівні сигналів, що вказані в повідомленні від ПЛК. Поєднання модулів вводу/виводу з ПЛК відбувається за допомогою промислової мережі та протоколу Modbus.



Рисунок 2.42 – Зовнішній вигляд модуля вводу/виводу дискретних сигналів NTech DIO-6/6

Даний пристрій має шість незалежних дискретних входи та виходи. За допомогою засобів індикації оператор може контролювати стан входних (зелені світлодіоди) та вихідних (червоні світлодіоди) контактів.

2.5.2 Структурна схема модулю вводу/виводу дискретних сигналів

На рис. 2.43 показана структурна схема модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6.

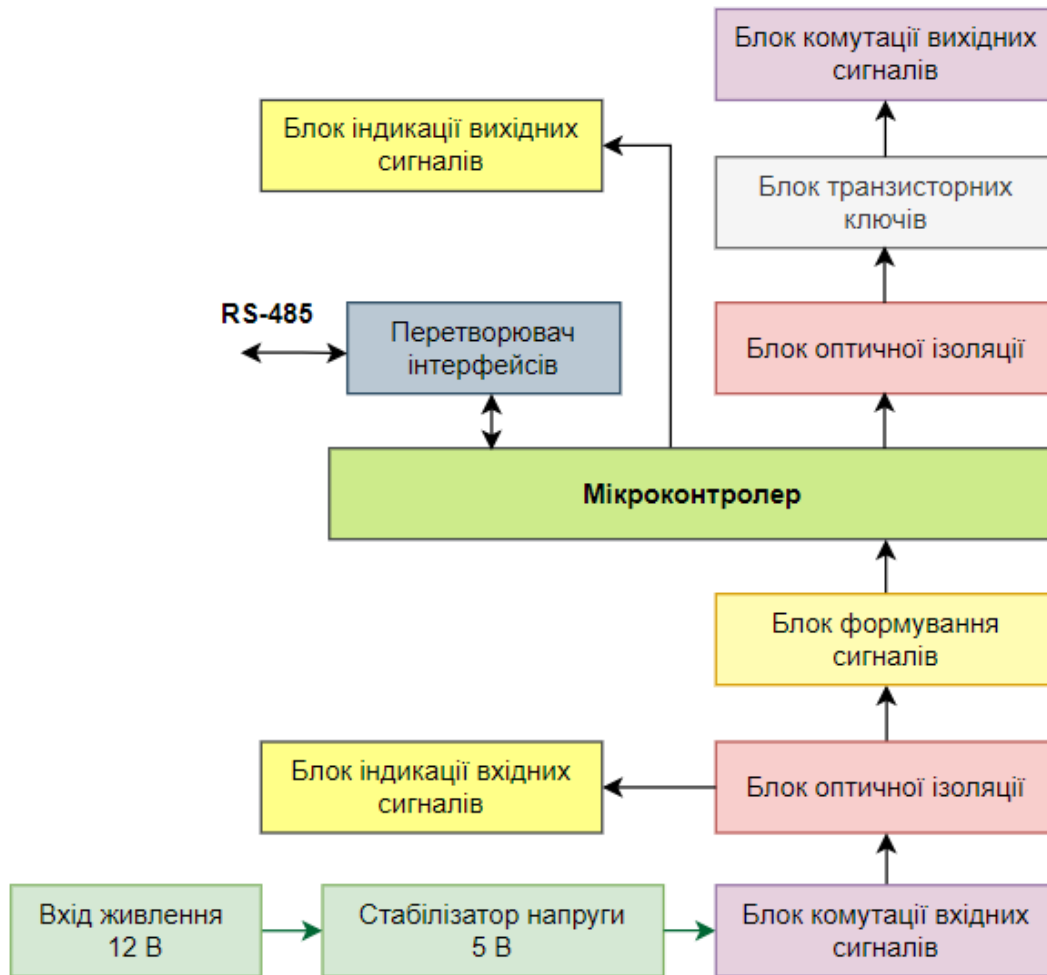


Рисунок 2.43 – Структурна схема модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6

Як можна бачити з даної схеми, модуль вводу/виводу складається з наступних блоків:

- мікроконтролер;
- блок комутації вхідних сигналів;
- блок оптичної ізоляції вхідних сигналів;
- блок формування сигналів;
- блок індикації вхідних сигналів;
- блок оптичної ізоляції вихідних сигналів;
- блок транзисторних ключів;

- блок комутації вхідних сигналів;
- блок індикації вихідних сигналів;
- перетворювач інтерфейсу;
- стабілізатор напруги.

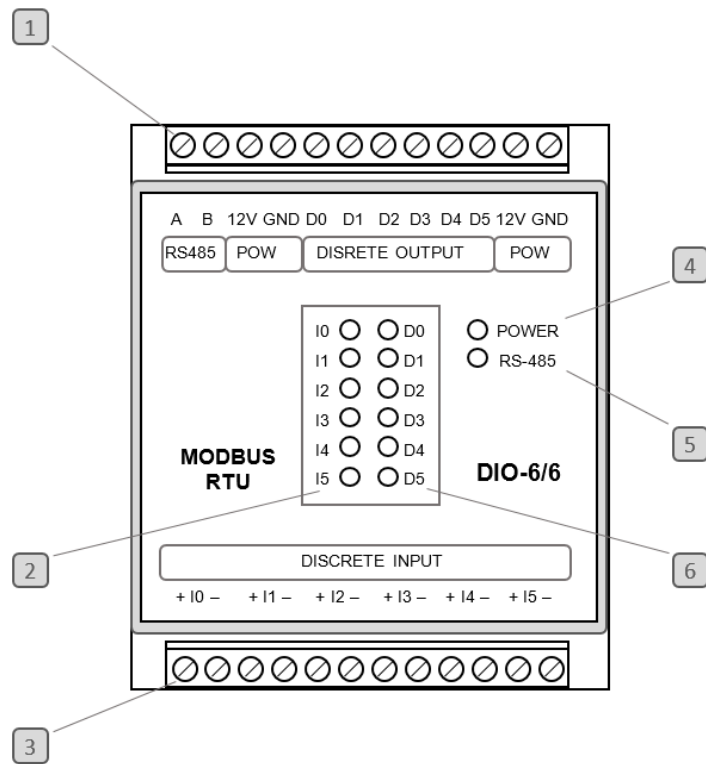
Характеристика модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6:

- мікроконтролер ATМega328;
- напруга живлення – 12 В постійного струму;
- гальванічна розв'язка вхідних сигналів;
- кількість дискретних портів вводу – 6 шт.;
- кількість дискретних портів виводу – 6 шт.;
- максимальне навантаження на один вихідний канал – 2 А;
- максимальна напруга, що комутується вихідними каналами – 30 В;
- тип вихідного каналу – транзисторний ключ з відкритим колектором;
- підключення до промислової мережі за допомогою інтерфейсу RS-485;
- індикація стану вхідних каналів;
- індикація стану вихідних каналів;
- індикація режиму передавання даних в промислову мережу;
- індикація наявності напруги живлення;
- підтримка протоколу ModBus RTU;
- розміри пристрою 90 мм x 72 мм x 25 мм;
- вага – 0,1 кг.

На рис. 2.44 показано ескіз конструкції модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6 та розташування основних органів індикації та керування.

Модуль вводу/виводу складається з таких елементів:

- клемник з контактами для підключення напруги живлення, мережі RS-485 і дискретних виходів 1;
- група індикаторів стану дискретних входів 2;
- клемник з контактами для підключення дискретних входів 3;
- індикатор наявності напруги живлення 4;
- індикатор режиму передавання даних до мережі RS-485 5;
- група індикаторів стану дискретних виходів 6.



1 – клемник з контактами для підключення напруги живлення, мережі RS-485 і дискретних виходів; 2 – група індикаторів стану дискретних входів; 3 – клемник з контактами для підключення дискретних входів; 4 – індикатор наявності напруги живлення; 5 – індикатор режиму передавання даних до мережі RS-485; 6 – група індикаторів стану дискретних виходів

Рисунок 2.44 – Ескіз конструкції модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6 і розташування основних органів індикації та керування

На рис. 2.45 показано призначення контактів на вхідних і вихідних клемниках модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6.

Як можна бачити з поданого рисунку, призначення контактів аналогічні контактам навчального ПЛК NTech PLC206-D, який описано в розділі 2.2. Зеленим кольором показні дискретні входи, синім – дискретні виходи.

Також, як і в навчальному ПЛК, напруга живлення підключається до верхньої контактної групи. На клемнику знаходяться два контакти для підключення +12 В та два для підключення лінії GND. Контакти розташовані по обидва боки від дискретних виходів.

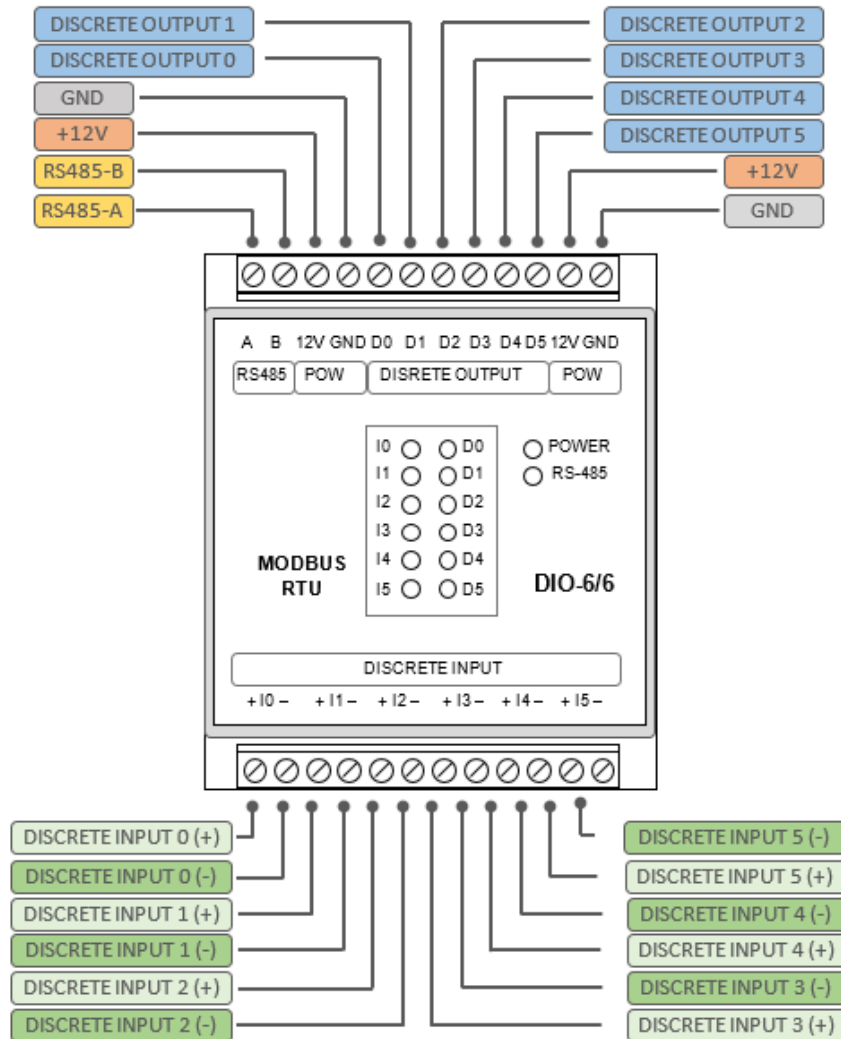


Рисунок 2.45 – Призначення контактів на вхідних і вихідних клемниках модуля вводу/виводу NTech DIO-6/6

2.6 Модулі формування дискретних і аналогових сигналів. Модуль сенсорних кнопок керування

2.6.1 Модуль формування дискретних сигналів

Емулятор вхідних дискретних сигналів призначений для імітації спрацьовування дискретних датчиків, підключених до дискретних входів ПЛК.

Емулятор може використовуватися під час проведення пусконаладжувальних робіт, а також для організації демонстраційних та

лабораторних стендів. За допомогою імітаторів можна емулювати взаємодію верстата з ЧПУ або виробничої машини з наявним рішенням автоматизації на всіх етапах розробки, від введення в експлуатацію до продажу та подальшого обслуговування.

Такі пристрої можуть зустрічатись в різних виконаннях. Наприклад, пристрій ЕДІ-8 від фірми ОВЕН виконано у вигляді відкритої плати із встановленими в один ряд тумблерами. Зовнішній вигляд пристрою подано на рис. 2.46.

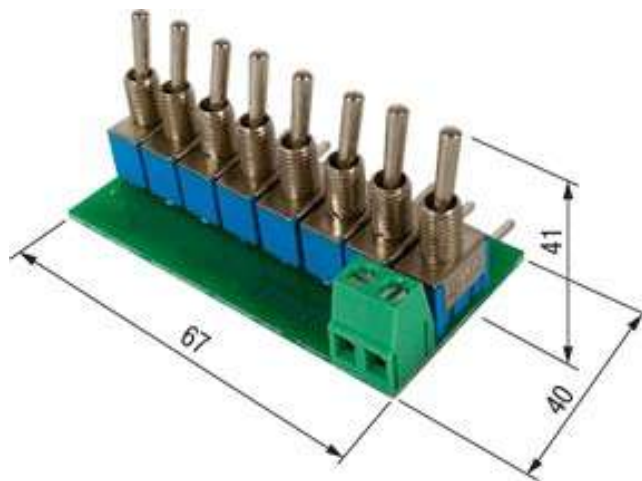


Рисунок 2.46 – Емулятор входних дискретних сигналів ОВЕН ЕДІ-8

З'єднання з ПЛК здійснюється штирьовими клемми безпосередньо в роз'єм ПЛК під гвинт. Для емуляції сигналу логічної одиниці необхідно перемикає тумблер, що відповідає входу, у напрямку «від ПЛК». Номери тумблерів позначені на платі та відповідають номерам входів ПЛК.

Додаткове з'єднання виконується багатожильним дротом перерізом 0,5...1,0 мм², кінці якого перед з'єднанням необхідно зачистити з таким розрахунком, щоб зріз ізоляції щільно прилягав до клемної колодки (оголені ділянки дроту не повинні виступати за її межі).

Схема емулятора є дуже простою (рис. 2.47). Вона складається з паралельно з'єднаних контактів перемикачів, які одним виводом під'єднані до загальної шини, а іншим – до входних портів ПЛК.

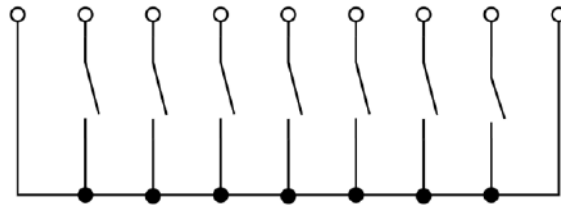


Рисунок 2.47 – Схема емулятору дискретних сигналів
ЕДІ-8 фірми ОВЕН

До загальної шини підключається один з полюсів кабелю живлення – позитивний або негативний, в залежності від схеми включення ПЛК. На рис. 2.48 показана схема підключення емулятору до ПЛК 100 серії.

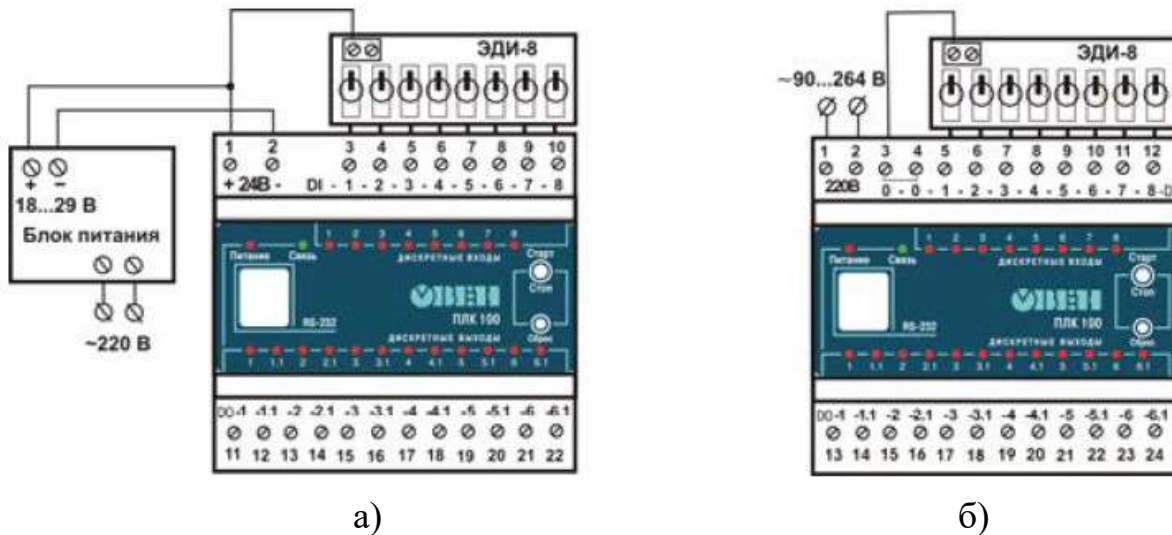


Рисунок 2.48 – Схема підключення емулятору
до ПЛК100-24 (а) та ПЛК100-220 (б)

Інший приклад – емулятор дискретних сигналів від фірми Siemens SIM 1274-6ES7 274-1XF30-0XA0. Зовнішній вигляд пристрою подано на рис. 2.49.

Модуль імітації вхідних/вихідних дискретних сигналів Siemens SIM 1274-6ES7 274-1XF30-0XA0 використовується на етапі налагодження програм або для перевірки працездатності контролера під час його експлуатації. Вісім вбудованих перемикачів слугують для імітації вхідних дискретних сигналів контролера.

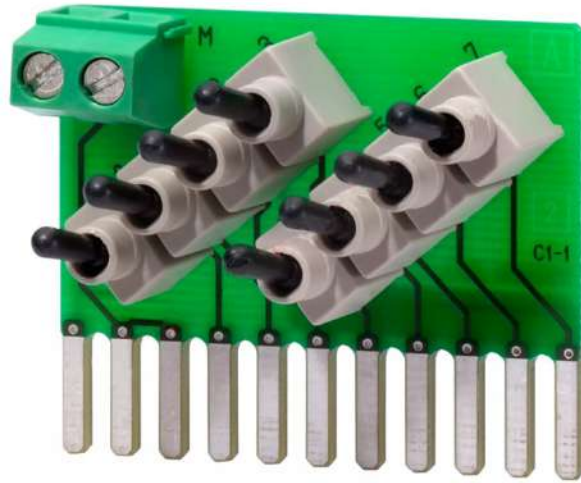


Рисунок 2.49 – Емулятор дискретних сигналів від фірми Siemens
SIM 1274-6ES7 274-1XF30-0XA0

На рис. 2.50 подано приклад застосування емулятора дискретних сигналів разом з ПЛК фірми Siemens.

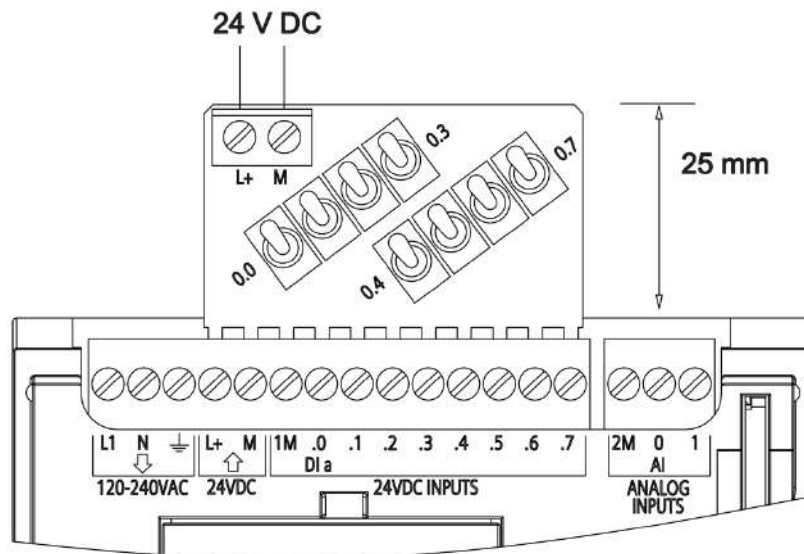


Рисунок 2.50 – Приклад застосування емулятора дискретних сигналів
разом з ПЛК фірми Siemens

Імітатор підключається до термінального блоку центрального процесора замість реальних датчиків. На фронтальній панелі імітатора розташовані:

- ключі імітації вхідних дискретних сигналів контролера;

– тверді штирьові контакти для підключення імітатора до вхідного термінального блоку контролера.

На кафедрі КІТАМ Харківського національного університету радіоелектроніки розроблено власний пристрій EDS-8 для виконання функцій імітації роботи дискретних входів/виходів, який дозволяє моделювати роботу пристрою, що розроблюється, в умовах, наближених до реальних.

Зовнішній вигляд модулю імітації дискретних сигналів EDS-8 подано на рис. 2.51. На корпусі модулю розташовані вісім тумблерів з нормально розімкненими контактами та світлодіодні індикатори. На крайні вхідні клеми подається напруга живлення 12 В.



Рисунок 2.51 – Модуль формування дискретних сигналів

Для імітації подачі на вхід ПЛК логічної одиниці необхідно перевести тумблер у верхнє положення. Запалювання відповідного світлодіоду сигналізує про подавання на вхід ПЛК напруги живлення, що відповідає логічній одиниці та повинне викликати спрацьовування відповідного дискретного входу.

Розташування контактів на клемах пристрою подано на рис. 2.52. Верхній ряд тумблерів поєднано з верхніми клемами пристрою. Так само поєднано нижній ряд тумблерів з нижніми клемами.

У процесі налагодження програми емулятор дозволяє встановлювати необхідний набір дискретних вхідних сигналів контролера. Центральний процесор зчитує вхідні дискретні сигнали і виконує їх обробку в програмі користувача.

Реакція контролера на набори вхідних сигналів, які з'являються, дозволяє робити висновок про правильність функціонування програми.

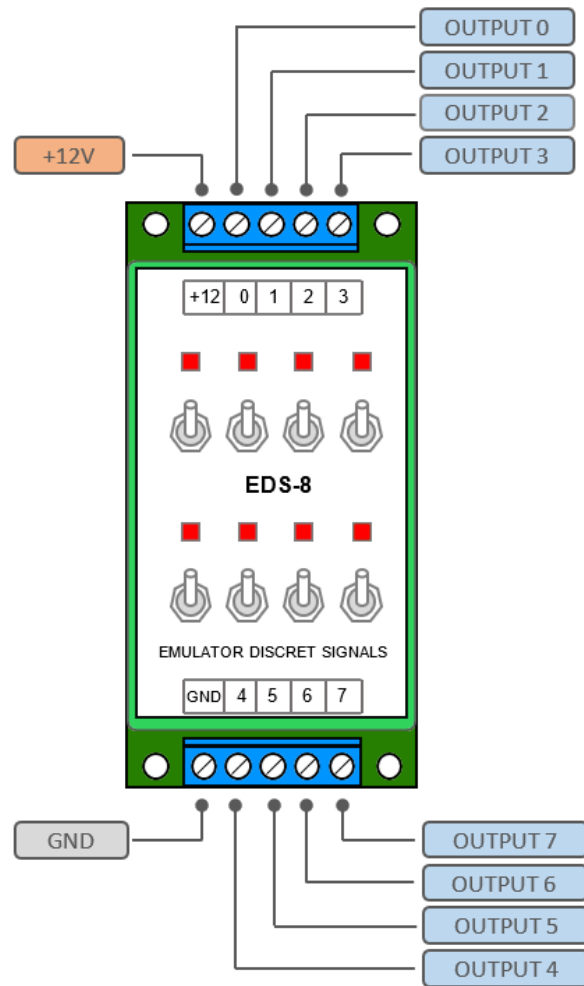


Рисунок 2.52 – Призначення контактів модулю формування дискретних сигналів

Схема підключення модуля формування дискретних сигналів до навчального ПЛК подана на рис. 2.53. Зі схеми можна бачити, що використовується нижній ряд тумблерів для емуляції роботи дискретних датчиків.

Вихідні сигнали з модуля EDS-8 через з'єднувальні дроти потрапляють на дискретні входи ПЛК. Задіяні входи від I0 до I3. Входи з'єднані за схемою з загальним плюсом живлення. Загальний плюс подається на ПЛК з модуля стабілізації вхідної напруги PW-24-12, що також входить до комплексу

лабораторних макетів, розроблених на кафедрі КІТАМ для проведення лабораторного практикуму з дисциплін hi-tech спрямування.

На рис. 2.53 зображена ситуація увімкнення нижніх тумблерів, яке призвело до запалювання відповідних дискретним входам світлодіодів I0...I3, що є сигналізацією надходження активних сигналів на дискретні входи навчального ПЛК PLC206-D.

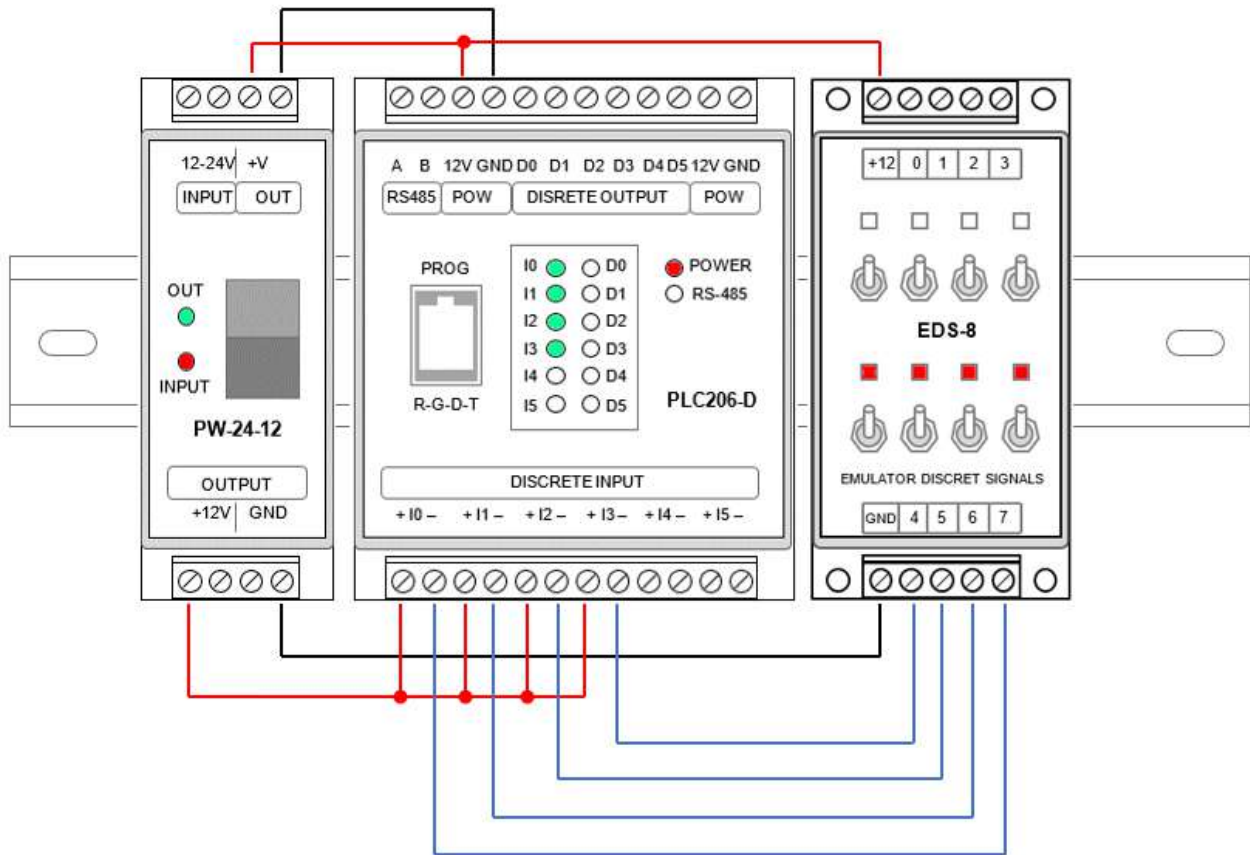


Рисунок 2.53 – Схема підключення модуля формування дискретних сигналів до навчального ПЛК

2.6.2 Модуль сенсорних кнопок для управління технологічним обладнанням

Модуль сенсорних кнопок є різновидом модулів формування дискретних сигналів та на відміну від попередніх пристроїв може застосовуватись не тільки під час налаштування автоматизованої системи, а також в повсякденній роботі.

На рис. 2.54 подано зовнішній вигляд модуля сенсорних кнопок та його розміщення у складі навчальних лабораторних макетів поряд з модулем формування дискретних сигналів.



1 – модуль стабілізації живлення; 2 – навчальний ПЛК PLC206-D;
3 – модуль формування дискретних сигналів; 4 – модуль сенсорних кнопок

Рисунок 2.54 – Зовнішній вигляд модуля сенсорних кнопок та його розташування у складі навчальних лабораторних макетів

На рис. 2.55 подано зовнішній вигляд модуля сенсорних кнопок E-Key і схема розташування вхідних та вихідних контактів. Даний модуль містить дві сенсорні кнопки зеленого та червоного кольору, та відповідні сигнальні світлодіодні індикатори. Кнопки виконані за схемою датчика з відкритим колектором (ВК), для якої характерно підключення до негативного ланцюга живлення з спрацюванням кнопки.

В нормальному режимі на вихідному контакті присутня напруга близька до напруги живлення. Натискання на будь-яку кнопку призводить до появи на виході Output_1 або Output_2 сигналу близького до нуля напруги живлення.

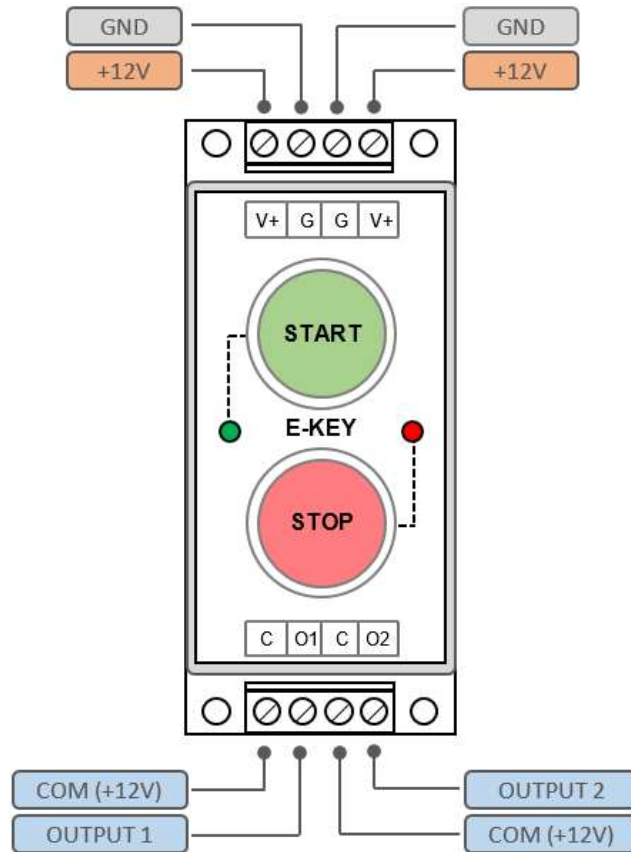


Рисунок 2.55 – Модуль сенсорних кнопок для управління технологічним обладнанням

На рис. 2.56 подана схема підключення датчиків (в нашому випадку – кнопок з відкритим колектором) до дискретних входів ПЛК.

Приклад застосування модуля сенсорних кнопок також можна побачити на рис. 2.29 даного посібника у складі схеми поєднання модулю керування макетом штампувального автомата та логічного контролера при вирішенні завдання контролю за станом лівого кінцевого датчика макету.

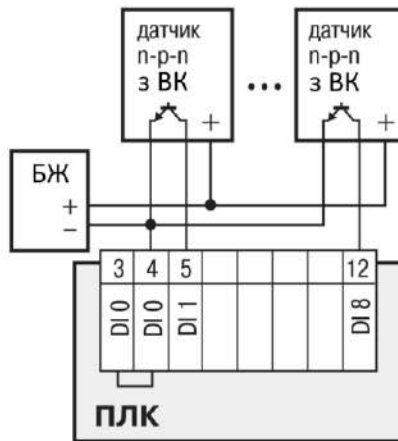


Рисунок 2.56 – Схема підключення датчиків (кнопки з відкритим колектором) до дискретних входів ПЛК

На рис. 2.57 подано приклад застосування розглянутих макетів у складі демонстраційного мобільного стенду, що використовується під час проведення лекційних, практичних, лабораторних занять, а також на виставках та інших заходах.



Рисунок 2.57 – Мобільний демонстраційний стенд з набором навчальних макетів

2.6.3 Модуль формування аналогових сигналів

Широке застосування аналогових датчиків в автоматичі та необхідність налаштування програм з використанням аналого-цифрових перетворювачів потребує застосування спеціальних емуляторів.

Емулятори аналогових сигналів дозволяють генерувати на виході необхідний рівень напруги в залежності від положення органу керування на передній панелі пристрою.

На рис. 2.58 подано зовнішній вигляд модуля формування аналогових сигналів EAS-2-5, що застосовується під час проведення лабораторних робіт, пов'язаних з вивченням питань промислової автоматики.



Рисунок 2.58 – Модуль формування аналогових сигналів EAS-2-5

На рис. 2.59 подана схема розташування контактів та їх призначення.

Напруга живлення модуля становить 12 В постійного струму. Контакти розташовано таким чином, що живлення можна підключати як до нижніх клемників так і до верхніх.

Вихідна напруга регулюється за допомогою змінних резисторів в діапазоні від 0 до 5 В. Також на корпусі присутній додатковий вихід стабілізованої напруги 5 В, який можна використовувати як опорну напругу для ПЛК.

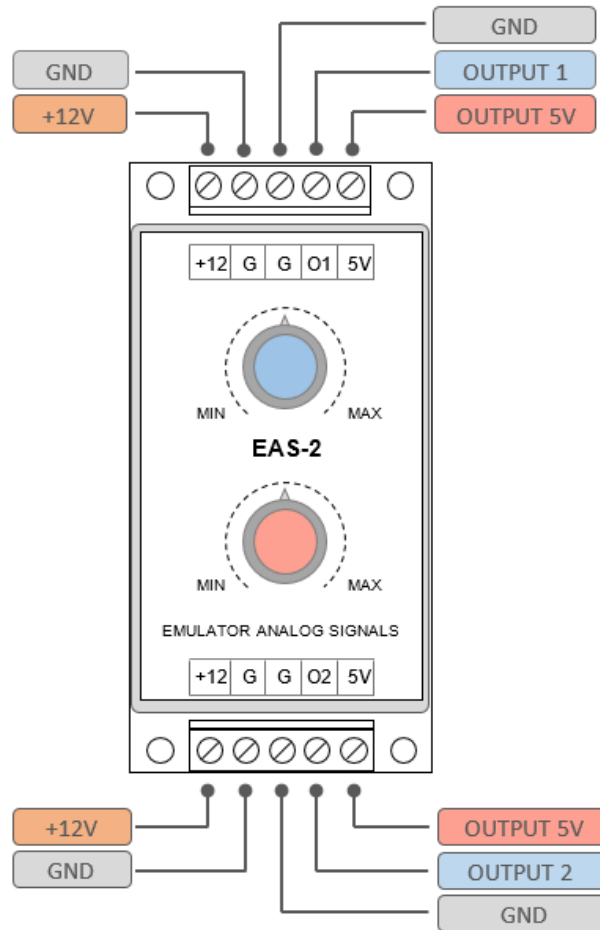


Рисунок 2.59 – Призначення контактів модулю формування аналогових сигналів

На рис. 2.60 подано приклад підключення модулю формування аналогових сигналів EAS-2-5 до модуля вводу аналогових сигналів AI-6. Модуль вводу має в своєму складі цифровий індикатор, за допомогою якого можна контролювати вхідну напругу.

Вимірний сигнал перетворюється в цифровий код за допомогою АЦП та передається на ПЛК через промислову мережу з використанням протоколу Modbus. Модуль вводу аналогових сигналів має п'ять входів, на які можна подавати напругу від 0 до 5 В.

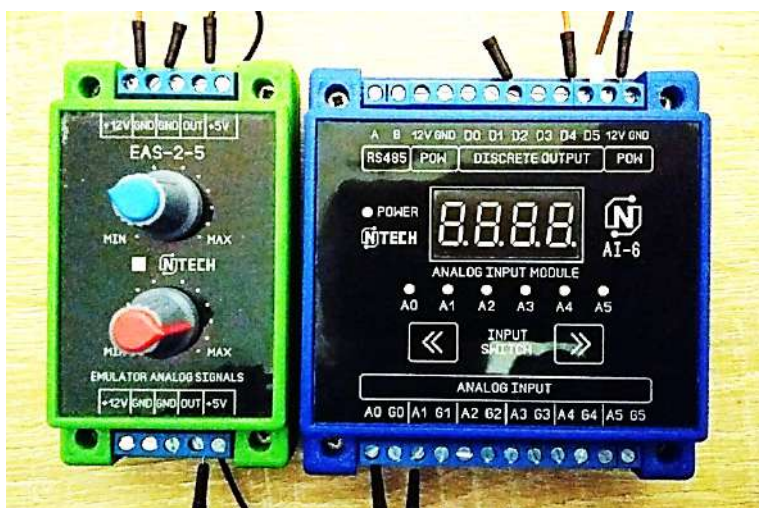


Рисунок 2.60 – Приклад підключення модулю формування аналогових сигналів до модуля вводу аналогових сигналів

2.7 Організація введення аналогових сигналів

2.7.1 Загальні відомості про модуль вводу аналогових сигналів

Різноманітність фізичних явищ породжує розмаїття датчиків, для кожного з яких існує відповідний пристрій вводу. Для уніфікації (скорочення числа типів) модулів вводу використовують пристрої вводу аналогових сигналів, які перетворюють вимірювану фізичну величину в стандартний електричний сигнал, відповідний вимогам промислової автоматики.

Фактично в промисловій автоматизації використовуються наступні стандартні діапазони аналогових сигналів:

- 0...10 В;
- 0...±10 В;
- 1...5 В;
- 4...20 мА;
- 0...20 мА.

Сучасні вимоги не рекомендують застосовувати діапазон 0...20 мА в нових розробках. Вхідний опір потенційних входів повинен бути не менше 10 кОм для

діапазону 0...10 В і 0...±10 В, не менше 5 кОм для діапазону 1...5 В і не більше 300 Ом для діапазону 4...20 мА.

Основною частиною модуля вводу аналогових сигналів є аналого-цифровий перетворювач (АЦП). Зазвичай використовують один АЦП для введення декількох (зазвичай 8 або 16) аналогових сигналів. Типова структурна схема модуля вводу аналогових сигналів подана на рис. 2.61.

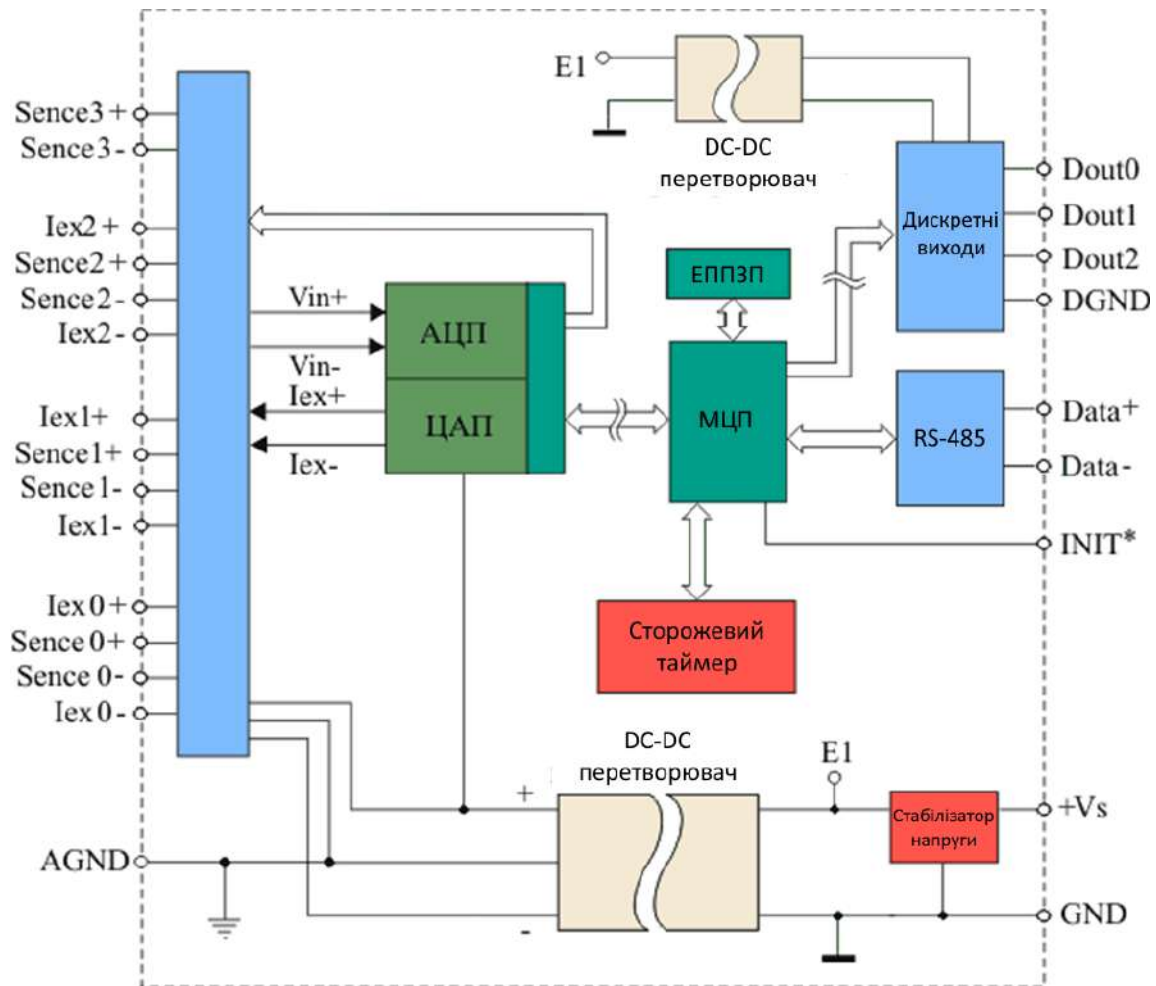


Рисунок 2.61 – Типова структурна схема модуля вводу аналогових сигналів

Для підключення джерел сигналу до АЦП використовується аналоговий комутатор на МОП-транзисторах. Введення декількох сигналів виконується послідовно у часі. Якщо необхідне одночасне введення, використовують модулі, в яких кожен канал має свій АЦП.

Вхідні ланцюги пристроїв вводу прийнято захищати від статичної електрики, від підвищеної напруги, від зміни полярності. Для захисту використовують спеціальні мікросхеми захисту, в яких активним елементом є МОП-транзисторний ключ. При підвищенні напруги вище допустимого ключ замикається, оберігаючи чутливі входи від підвищеної напруги.

Вимірювальні ланцюги будують таким чином, щоб опір відкритого МОП ключа не вносив похибку в результат вимірювання. Для цього використовують ключ або для передачі потенціалу, коли струм, що протікає через відкритий ключ, дуже малий, або для передачі струму, коли інформація переноситься в формі струму і тому падіння напруги на ключі не вносить похибку в переданий сигнал.

Для комутації вхідних ключів модуля використовується програма, що виконується мікроконтролером. Ця процедура досить проста і для її виконання можна використовувати мікроконтролер, що входить до складу деяких АЦП. Це дозволяє зменшити кількість каналів гальванічної розв'язки між аналоговими входами і портом RS-485.

Блок керування типового модуля вводу аналогових сигналів виконує наступні функції:

- реалізує протокол обміну з ПЛК;
- виконує команди, що посилаються ПЛК в модуль;
- реалізує виконання функцій автоматичного калібрування, діагностики обриву або короткого замикання в ланцюзі датчика;
- перетворює формати даних, що вводяться (інженерний формат – в одиницях вимірюваної величини, шістнадцятковий формат, відсотки від діапазону вимірювань);
- встановлює швидкість обміну з ПЛК (для ПЛК з розподіленими модулями вводу-виводу);
- виконує цифрову фільтрацію вхідного сигналу.

В постійній пам'яті ЕППЗП модуля зберігаються калібрувальні коефіцієнти, адреса модуля, програма, таблиці лінеаризації нелінійних характеристик термопар і термоперетворювачів опору. Сторожовий таймер виконує перезавантаження (скидання) мікроконтролера в разі його зависання.

Живлення внутрішніх вузлів модуля виконується від внутрішнього стабілізатора напруги, який дозволяє подавати зовнішню напругу живлення в широкому діапазоні, зазвичай від 10 до 30 В. Великий діапазон напруг живлення дуже корисний в розподілених системах, коли модулі введення можуть перебувати на значній відстані один від одного і тому падіння напруги на опорі проводів живлення досягає 10...20 В.

Ланцюги живлення модулів захищаються від неправильної полярності напруги живлення і від перевищення напруги живлення над допустимим значенням. Захист виконується діодами, стабілітронами, позисторами і плавкими запобіжниками.

2.7.2 Опис структурної схеми навчального модуля вводу аналогових сигналів

Модуль, що розглядається входить до складу модульного ПЛК (рис. 2.62).



- 1 – центральний процесорний модуль на базі міні-ПК Raspberry;
2 – модуль аналогового вводу; 3 – модуль дискретного вводу-виводу

Рисунок 2.62 – Зовнішній вигляд модульного ПЛК

Поєднання модулів в складі ПЛК відбувається через внутрішню шину SPI. Кількість і склад модулів може змінюватися в залежності від поточної задачі.

Структурна схема модуля вводу аналогових сигналів подана на рис. 2.63.

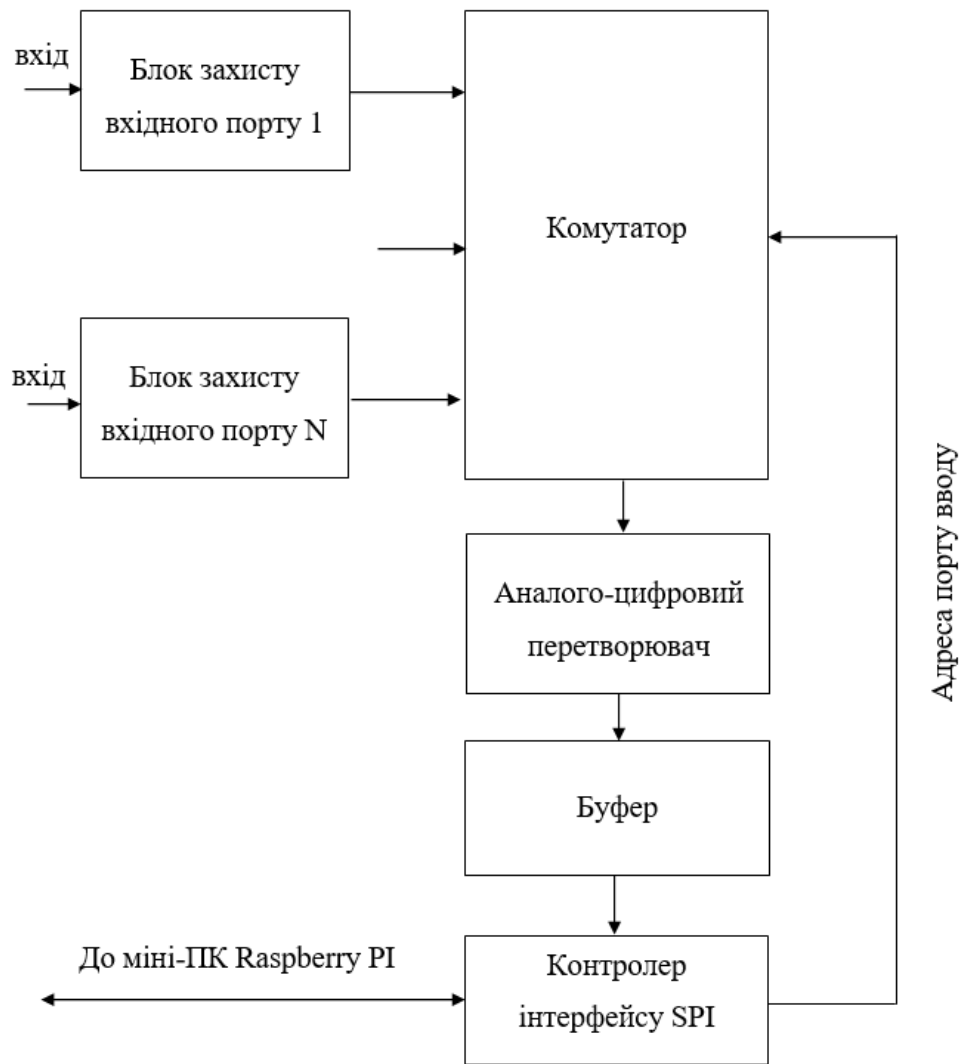


Рисунок 2.63 – Структурна схема модуля вводу аналогових сигналів

Як можна бачити з поданого рисунку, модуль підключається до міні-ПК Raspberry через послідовну шину SPI. Контролер даної шини виконує дві функції:

- приймає адресу номеру каналу для вводу аналогового сигналу;
- передає на міні-ПК оброблену інформацію.

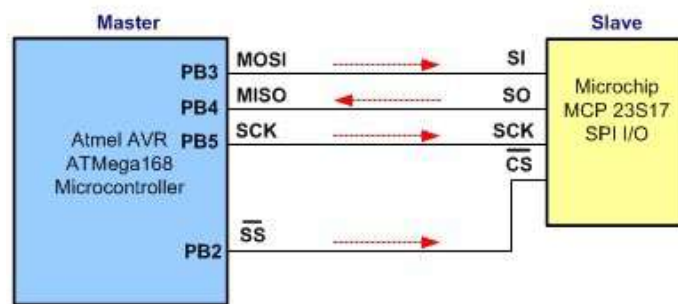
В конструкції навчального модуля вводу аналогових сигналів використовується мікросхема SPI (MCP3008, MCP23S17).

Прийнятий номер каналу дешифрується та передається на комутатор, який перенаправляє на АЦП один з декількох аналогових каналів модуля вводу. Сигнал з ввімкненого каналу обробляється в модулі АЦП та зберігається в буфері обміну.

З отриманням через інтерфейс команди для передавання даних, інформація з буферу надсилається до міні-ПК. Обмін даними з міні-ПК виконується за через послідовний інтерфейс SPI.

SPI – це стандартний периферійний послідовний інтерфейс, що використовує мінімум три послідовних порти для зв'язку з одним пристроєм (підпорядкованим пристроєм SPI). В даному випадку прив'язка чипа (CS) завжди підключається до землі. Якщо до контролера буде підключатися більше одного пристрою через інтерфейс SPI, тоді потрібні чотири порти. Четвертий порт буде використовуватись для вибору цільового пристрою SPI при необхідності починати з ним зв'язок.

На рис. 2.64 подана схема підключення модуля вводу аналогових сигналів до міні-ПК.



Pin Name	Description
MOSI	Master Out Slave In
MISO	Master In Slave Out
SCK	Synchronous Clock
SS	Slave Select (active Low)
CS	Chip Select (active low)
SI	Slave In
SO	Slave Out

Рисунок 2.64 – Схема підключення модуля вводу аналогових сигналів до міні-ПК

На рис. 2.65 подана схема підключення до контролеру декількох модулів вводу-виводу.

Якщо до контролеру буде підключатись більше трьох пристроїв, то потрібно використовувати від трьох до восьми каналів спеціального дешифратора, наприклад 74НС138.

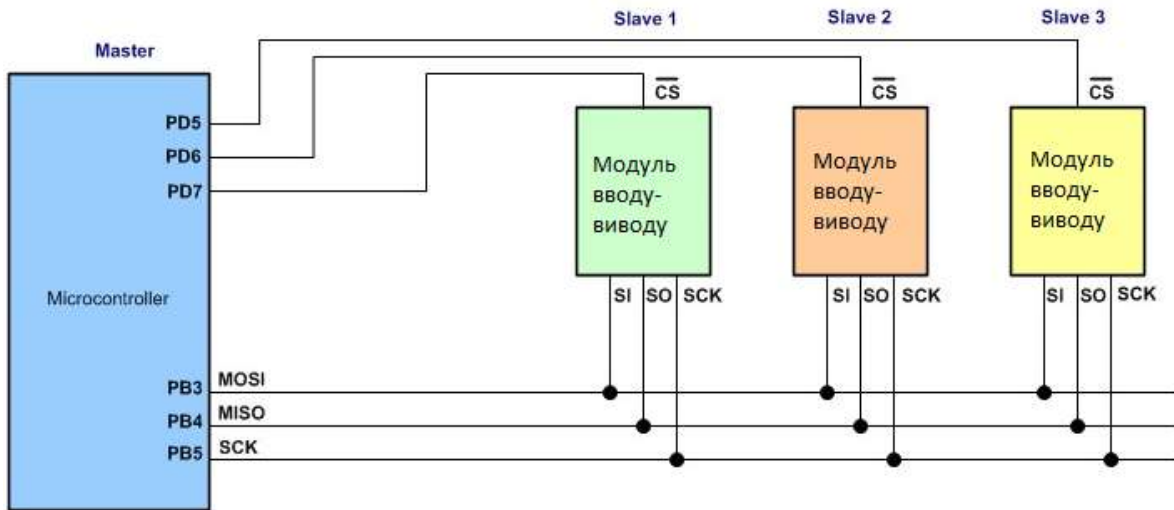


Рисунок 2.65 – Схема підключення до контролеру декількох модулів вводу-виводу

Протокол SPI використовує метод повного дуплексного синхронного передавання даних, тому він може передавати та одночасно отримувати дані з портів вводу. Це відбувається за допомогою внутрішнього регістра зсуву.

На рис. 2.66 показана схема отримання даних з портів вводу, зберігання їх у буфері зсуву, та передавання на міні-ПК.

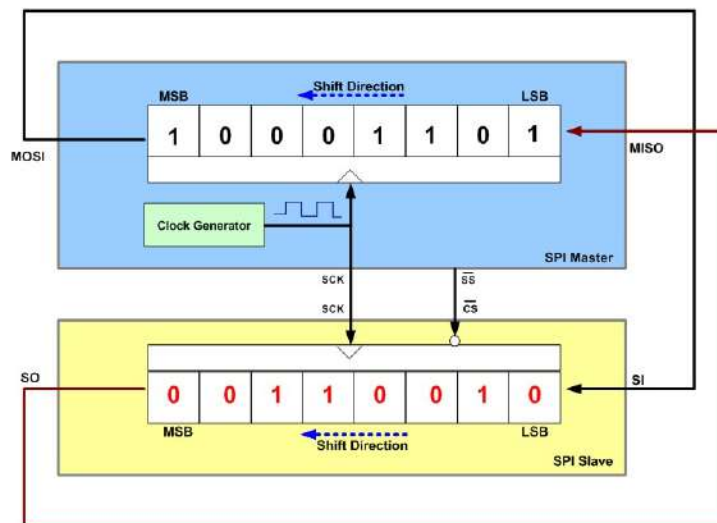


Рисунок 2.66 – Схема зчитування даних та передачі їх на міні-ПК

Алгоритм роботи модуля вводу аналогових сигналів подано на рис. 2.67.

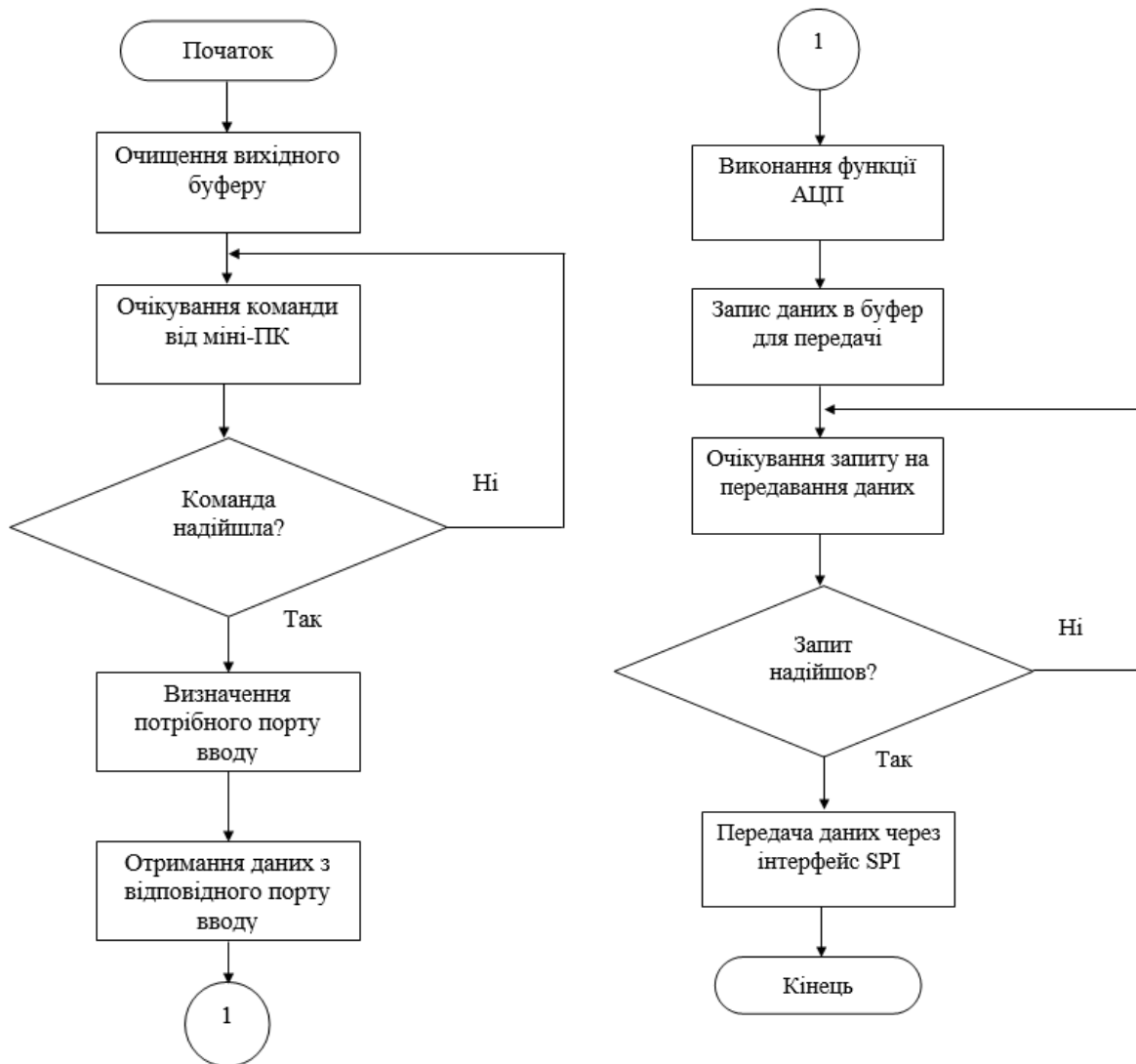


Рисунок 2.67 – Алгоритм роботи модуля вводу аналогових сигналів

Робота модуля починається з очищення буферу обміну даними та скидання всіх регістрів в початковий стан. Після початкової ініціалізації модуль переходить в режим очікування команди від міні-ПК, яка повинна надійти через інтерфейс SPI.

Після надходження команди виконується визначення потрібної адреси вхідного порту вводу. Коли номер порту буде з'ясовано, видається команда на внутрішній комутатор для підключення потрібного порту до блоку АЦП.

Блок АЦП виконує перетворення поточного значення напруги на вході модуля в його цифрове значення. Отримане значення вхідного сигналу записується до вихідного буфера, де очікує запиту на передавання.

Після отримання запита на обмін даними модуль передає на міні-ПК визначене значення через послідовний інтерфейс SPI.

2.7.3 Опис схеми захисту входів від пошкодження

В процесі розроблення багатьох пристроїв, особливо вимірювальних, слід враховувати той факт, що навіть правильно нормалізований сигнал іноді може вийти за допустимі межі.

На вхід АЦП може потрапити напруга, яка виходить за допустимі межі, та вивести його з ладу. Щоб це не відбувалося, застосовується захист від перенапруги. Приклад схематичного рішення подано на рис. 2.68.

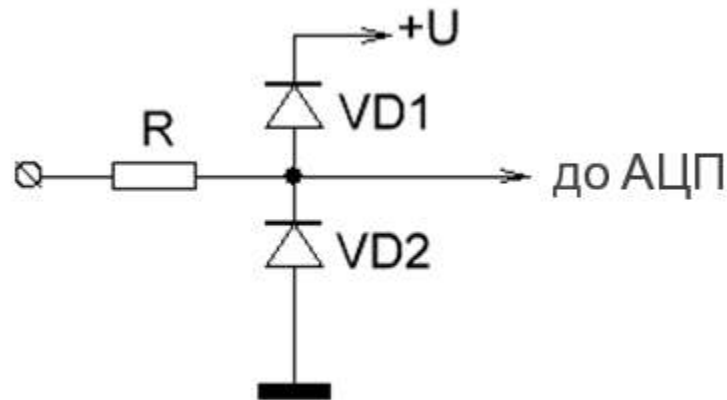


Рисунок 2.68 – Захист входу АЦП від перенапруги

На рис. 2.68 подано звичайний діодний обмежувач напруги. U – напруга, яку треба обмежити, $VD1$ і $VD2$ – обмежуючі діоди, R – резистор, що захищає діоди від великого вхідного струму. R одночасно є вхідним опором вузла, коли відкрито один з діодів.

Коли сигнал в нормі, діоди закриті, і він безперешкодно проходить на вхід АЦП. Оскільки вхідний опір АЦП дуже великий, то вхідний струм дуже малий, падіння напруги на резисторі немає, отже він практично не впливає на вхідний сигнал.

Якщо напруга з якоїсь причини стане негативною, то відкриється нижній діод $VD2$. Вхідний струм через нього піде в землю, а на вході АЦП буде U_d – напруга відкритого діода, а вона завжди позитивна і досить мала.

Якщо $U_{вх}$ виявиться більше U , то відкриється верхній діод і на вході АЦП буде $U_{АЦП} = U - U_d$.

Замість землі на діод VD2 можна подавати якусь напругу U_1 , меншу за U . В цьому випадку нижня межа дорівнюватиме $U_1 + U_d$.

У загальному випадку необхідно вибрати $U = U_{живвл}$ АЦП, діоди Шоттки (вони мають найменше U_d), резистор R від 100 кОм до 1 МОм.

Для захисту АЦП у високовольтних ланцюгах слід застосовувати спеціальні захисні діоди – супресори.

2.8 Контрольні питання

1. Для чого використовуються світлові колони на виробництві? Який принцип дії світлової колони?
2. Надайте опис структурної схеми модуля керування блоком світлової і звукової сигналізації.
3. Який алгоритм роботи світлової колони?
4. Які різновиди штампувальних автоматів існують? Надайте опис макету штампувального автомату і схему розташування датчиків на ньому.
5. Поясніть структурну схему модулю керування макетом штампувального автомату.
6. Яке призначення контактів на вхідних та вихідних клемниках промислового контролера NTech PLC206-D?
7. Поясніть принцип дії накопичувачів деталей. З яких основних елементів складається накопичувач деталей?
8. Наведіть структурну схему керування накопичувачем деталей для промислової лінії.
9. Яке призначення модулів вводу/виводу дискретних сигналів?
10. Для чого використовується модуль формування дискретних сигналів?
11. Що таке модуль сенсорних кнопок для управління технологічним обладнанням? Наведіть схему підключення датчиків.
12. Наведіть структурну схему модуля вводу аналогових сигналів.
13. Який алгоритм роботи модуля вводу аналогових сигналів?

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та мехатроніки [Електронний ресурс] : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://tapr.nure.ua/>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
2. Харківський національний університет радіоелектроніки [Електронний ресурс] : офіційний веб-портал. – Режим доступу: <https://nure.ua/>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
3. Digital Twins [Електронний ресурс] : IT-Enterprise. – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/cifrovoj-dvojnuk-digital-twin>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
4. Digital Twins for Industrial Applications [Електронний ресурс] : Industrial Internet Consortium, a program of Object Management Group, Inc. (“OMG”). – Режим доступу: https://www.iiconsortium.org/pdf/IIC_Digital_Twins_Industrial_Apps_White_Paper_2020-02-18.pdf. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
5. ISO/IEC Organization. 2019. ISO/IEC 21823-1 Internet of things (IoT) – Interoperability for iot systems – Part 1: Framework.
6. Festo [Електронний ресурс] : Festo. – Режим доступу: <https://www.festo.com/ua/uk/>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
7. Standardization for emerging technologies and innovations [Електронний ресурс] : JETI. – Режим доступу: <https://jtc1info.org/technology/advisory-groups/jeti/>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
8. ISO/TC 184. Ad Hoc Group: Data Architecture of the Digital Twin. [Електронний ресурс] : International Organization for Standardization . – Режим доступу: https://www.ththry.org/activities/2020/AdHocGroup_DigitalTwin_V1R8.pdf. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.
9. Details of the Administration Shell. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) [Електронний ресурс] : ZVEI & Plattform Industrie 4.0. . – Режим доступу: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/Details-of-theAsset-Administration-Shell-Part1.html>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.

10. Structure of the Administration Shell. Trilateral Perspectives from France, Italy and Germany. Ministry of Economy and Finances & Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) [Електронний ресурс] : Alliance Industrie du Futur, Piano Industria 4.0 & Plattform Industrie 4.0. – Режим доступу : <https://www.plattform40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/hm-2018-trilaterale-coop.html>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.

11. Details of the Administration Shell. Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) [Електронний ресурс] : ZVEI & Plattform Industrie 4.0. – Режим доступу : <https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/2018-details-ofthe-asset-administration-shell.html>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.

12. Eclipse IoT [Електронний ресурс] : Eclipse Foundation. – Режим доступу : <https://projects.eclipse.org/projects/iot>. – Станом на 01.05.2023. – Назва з екрану.

13. Невлюдов І. Ш. Технологія програмування промислових контролерів в інтегрованому середовищі CODESYS : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, С. П. Новоселов, О. В. Сичова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2019. – 264 с. : іл. – ISBN 978-966-659-265-4.

14. Невлюдов І.Ш. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ФОП Панов А.М., 2020 . – 256 с. DOI: 10.30837/978-617-7859-58-0. ISBN 978-617-7859-58-0.

15. Novoselov S., Sychova O. Automated system of technological preparation of production. Intelligent computer-integrated information technology in project and program management : Collective monograph edited by I. Linde, I. Chumachenko. Riga : ISMA. pp.207-224, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30837/MMP.2020.207>. ISBN 978-9984-891-15-6.

16. Невлюдов І.Ш. Електропневмоавтоматичні приводи в автоматизованих системах керування: Навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, Л.О. Кривопляс-Володіна, С.П. Новоселов, О.В. Сичова. – Харків: ХНУРЕ, 2021 . – 292 с. DOI: 10.30837/978-966-659-332-3. ISBN 978-966-659-332-3.

Навчальне видання

НЕВЛЮДОВ Ігор Шакирович
НОВОСЕЛОВ Сергій Павлович
СИЧОВА Оксана Володимирівна

ЗАСТОСУВАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ
ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ДЛЯ РОЗРОБЛЕННЯ
ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ АСУ ТП

Навчальний посібник

Формат 60x84/16.

Ум. друк. арк. – 15,5. Наклад 200 пр. Зам. № 01-06.

Видавництво та друк

ФОП Іванченко І. С.

пр. Тракторобудівників, 89-а/62, м.Харків, 61135.

Тел.: +38-050-40-243-50.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників та розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК №4388 від 15.08.2012 р.

www.monograf.com.ua