

УДК 004.896

DOI 10.31471/1993-9981-2024-1(52)-66-73

АВТОМАТИЗАЦІЯ ЛІНІЇ НАНЕСЕННЯ ПОРОШКОВОГО ПОКРИТТЯ

Б. О. Лібус, А. М. Стеценко

*Національний університет водного господарства та природокористування;
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна; e-mail: a.m.stetsenko@nuwm.edu.ua*

Основною метою цієї роботи є покращення якості покриття виробів порошковою фарбою шляхом впровадження ефективного контролю та регулювання процесу фарбування. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення економічної ефективності та екологічної безпечності технологій фарбування у промислових умовах. У ході виконання даного дослідження було проведено опис і детальний аналіз існуючої технології нанесення порошкових фарб та обладнання, що використовується на ТОВ «Високовольтний союз – РЗВА». Проведено системний аналіз об'єкта автоматизації, на основі чого визначено ключові проблеми, які впливають на якість кінцевого продукту. Сформульовано технічні вимоги до автоматизації процесу фарбування, вибрано сучасні технічні засоби для автоматизації та розроблено функціональну схему, яка забезпечує контроль та стабільність процесу нанесення порошкових фарб. Особливу увагу приділено створенню програмного забезпечення, яке дозволяє інтегрувати контрольовані параметри в технологічний процес з максимальною точністю та мінімальним впливом людського фактору. Описана технологія нанесення порошкової фарби є екологічно чистою та безвідходною. Процес формування полімерного покриття передбачає напilenня полімерного порошку на поверхню виробу та подальшу полімеризацію у термічній печі під заданою температурою. Такий підхід дозволяє отримувати захисні та декоративні покриття високої якості, які є стійкими до зовнішніх впливів. Результати цієї роботи мають практичне значення для вдосконалення технології нанесення порошкових покриттів, підвищення якості продукції та конкурентоспроможності підприємства на ринку. Впроваджені рішення з автоматизації також сприяють зниженню енергетичних витрат і мінімізації впливу людського фактору.

Ключові слова: автоматизація, порошкове покриття, функціональна схема автоматизації, промисловий контролер, полімеризація, піч, температура.

The main goal of this work is to improve the quality of powder coating of products by implementing effective control and regulation of the painting process. The relevance of the study is due to the need to increase the economic efficiency and environmental safety of painting technologies in industrial conditions. In the course of this study, a description and detailed analysis of the existing technology for applying powder paints and equipment used at LLC "High Voltage Union - RZVA" was carried out. A systematic analysis of the automation facility was carried out, on the basis of which key problems affecting the quality of the final product were identified. Technical requirements for the automation of the painting process were formulated, modern technical means for automation were selected and a functional scheme was developed that ensures control and stability of the powder paint application process. Special attention was paid to the creation of software that allows you to integrate controlled parameters into the technological process with maximum accuracy and minimal human factor influence. The described technology for applying powder paint is environmentally friendly and waste-free. The process of forming a polymer coating involves spraying polymer powder onto the surface of the product and subsequent polymerization in a thermal oven at a given temperature. This approach allows you to obtain high-quality protective and decorative coatings that are resistant to external influences. The results of this work are of practical importance for improving the technology of applying powder coatings, improving product quality and the competitiveness of the enterprise in the market. The implemented automation solutions also contribute to reducing energy costs and minimizing the impact of the human factor.

Keywords: automation, powder coating, functional automation scheme, industrial controller, polymerization, furnace, temperature.

Вступ

Основна ідея нанесення покриття із застосуванням електростатичного поля високої напруги полягає у притяганні заряджених часток фарби до протилежно зарядженої (заземленої) поверхні деталі.

Для нанесення порошкових фарб придатні більшість термостійких твердих тіл і насамперед металевих деталей. На даний час технологія порошкового фарбування широко поширена при виготовленні виробів різного призначення завдяки таким

перевагам, як якість, чистота та економічність.

Високопродуктивна лінія порошкового покриття датської фірми Ideal Line, що використовується на заводі, дозволяє відмовитись від традиційного фарбування, надає виробам сучасного зовнішнього вигляду і значно підвищує їх корозостійкість.

Мета роботи – полягає в створенні системи автоматизації процесу нанесення порошкового покриття, що забезпечить: підвищення якості продукції разом зі зниженням її собівартості та виробничих витрат; оптимізацію витрат на матеріали, сировину та енергоресурси; ефективніше використання потужностей підприємства та збільшення обсягів готової продукції; розширення асортименту виробів і покращення їх конкурентоспроможності; покращення умов праці персоналу та мінімізацію кількості дефектів.

Технологія нанесення порошкового покриття

Технологія порошкового фарбування забезпечує довговічне та якісне покриття, яке вирізняється стійкістю до зношування й корозії. Вона є економічною альтернативою традиційним лакофарбовим матеріалам завдяки своїм чудовим захисним властивостям і естетичному вигляду, що створює гладке та рівномірне покриття. Основою порошкової фарби є полімерний порошок, що складається з полімерної смоли, затверджувачів і кольорових пігментів. Під час нагрівання порошок проходить процес полімеризації, формуючи необхідну поверхню.

З розвитком технологій порошкове фарбування стало доступним не лише для металевих виробів. Останніми роками значно розширився спектр матеріалів, на які можна наносити порошкове покриття, а методи його нанесення стали ще ефективнішими. Основною метою вдосконалень є підвищення економічності процесу та скорочення часу фарбування.

Ефективність фарбування залежить від швидкості подачі порошку та його кількості. Чим більшу площу покриває

порошок за одиницю часу, тим продуктивнішим стає процес. На великих підприємствах автоматизовані конвеєри, що переміщують вироби через спеціальні камери напилення, дозволяють суттєво зменшити витрати часу та підвищити показники виробництва.

Особливістю порошкового фарбування є те, що фарба осідає лише у потрібній кількості, а надлишки матеріалу залишаються нейтральними, що знижує втрати. Проте важливо забезпечити оптимальне співвідношення нанесеної фарби до площі покриття, щоб мінімізувати кількість рекуперованого матеріалу.

Рівномірність покриття має значення навіть для складних поверхонь із важкодоступними зонами. Це досягається правильним регулюванням заряду та повітряного тиску в обладнанні для напилення.

Процес порошкового фарбування складається з трьох основних етапів: підготовки поверхні; нанесення порошкового матеріалу; формування покриття.

Підготовка поверхні. Якість порошкового покриття безпосередньо залежить від ретельності підготовки виробу, що має таке ж значення, як і при роботі з рідкими, гальванічними чи силікатними покриттями. Порошкове фарбування зазвичай виконується після завершення всіх механічних і термічних обробок. Виріб має відповідати певним вимогам: уникати відкритих країв з радіусом менше 0,3 мм, виступаючих елементів, недосконалих зварних швів, крапель, пропалин чи тріщин. Поверхня повинна бути повністю сухою, очищеною від нагару, іржі (для металевих виробів), мастил чи інших забруднень, що можуть вплинути на якість покриття.

2. Нанесення порошкового покриття. Пістолети-розпилювачі з живильниками складають установку нанесення порошкової фарби, що забезпечує одержання суміші порошкової фарби з повітрям, утворення струменя і набуття частками порошкової фарби електричного заряду. Установка складається з таких

перебування виробу в печі T складається з часу його нагрівання T_1 і часу затвердіння T_2 : $T=T_1+T_2$. Час повного нагрівання T_1 (у хв) приблизно може бути визначене як $T_1=3A$, де A - товщина металевого виробу (чи стінки) у мм.

Для оплавлення, формування плівки та затвердіння порошкового покриття використовуються різні типи печей: тупикові та прохідні, з електричним обігрівом або нагріванням топковими газами, горизонтальні та вертикальні, одно- та багатоходові. Основна вимога до таких печей для забезпечення високої якості покриття — це рівномірний прогрів виробу з нанесеною порошковою фарбою до заданої температури, відповідної характеристикам фарби, і підтримання цієї температури протягом часу, необхідного для затвердіння. Для тупикових печей важливу роль також відіграє швидкість підвищення температури. Найкращим чином цим вимогам відповідають печі з рециркуляцією повітря. Більшість порошкових фарб затвердіють при температурі 180–200°C за 10–20 хвилин.

Варто зазначити, що під температурою затвердіння мається на увазі температура поверхні виробу, який фарбується, а не температура повітря в самій печі.

Розробка функціональної системи автоматизації

Розроблену функціональну схему автоматизації (ФСА) технологічного процесу показано на рис. 2. Як спостерігаємо, основними параметрами для контролю та регулювання є температура та вологість повітря. Для керування процесом обрано програмований логічний контролер (ПЛК) фірми Мікрол МІК-51. Розроблено систему автоматизації вентиляції, контролю напilenня і екстреного вимкнення. Процес напilenня розпочинається з натискання кнопки пуск. Подача порошкової фарби здійснюється зі спеціальної камери зі здатністю вибору потрібного кольору. Здійснюється контроль за інтенсивністю напilenня за допомогою ПЛК. При закінченні процесу напilenня вмикається

звуковий сигнал. Далі виріб по лінії іде в піч, а потім – у камеру охолодження.

Для вимірювання температури і вологості використовується двоканальний давач DHT-22 фірми AOSONG: вихід 1: $T(^{\circ}\text{C})$, $I_{\text{вих}}=4\text{--}20\text{mA}$; вихід 2: $W(\%)$, $I_{\text{вих}}4\text{--}20\text{mA}$. Для забезпечення регулювання привода вентиляції обрано частотний перетворювач Altivar 58.

Розрахунок та моделювання системи автоматизованого регулювання

Було виконано моделювання системи припливної вентиляції камери напilenня з використанням електропривода. Поставлено завдання: забезпечити досягнення заданої температури повітря (22°C) у максимально короткий час без перевищення встановленого температурного ліміту.

Для характеристики динамічних властивостей асинхронного двигуна використано математичну модель, побудовану на основі лінеаризованої механічної характеристики [3]. Динаміку вентилятора було проігноровано, розглядаючи механічну систему як одномасову з еквівалентним моментом інерції. Частотний перетворювач моделювався як аперіодична ланка, що враховує час розгону та гальмування, заданий у параметрах перетворювача для обмеження струмових перевантажень [2].

Структурну схему моделі зображено на рис. 3. Здійснено налаштування ПІД-регулятора і здобуто перехідну характеристику системи рис. 4. При цьому налаштування ПІД-регулятора такі: $K_p=0,1197$, $K_i=0,03356$, $K_d=0$.

Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення для керування технологічним процесом на базі ПЛК МІК-51 розроблено у середовищі Альфа і наведено на рис. 5. Програмний пакет «АЛЬФА» слугує редактором FBD-програм, призначеним для розробки програмного забезпечення на мові функціональних блоків для мікропроцесорних контролерів серій МІК-51 і МІК-52, виготовлених компанією «МІКРОЛ».

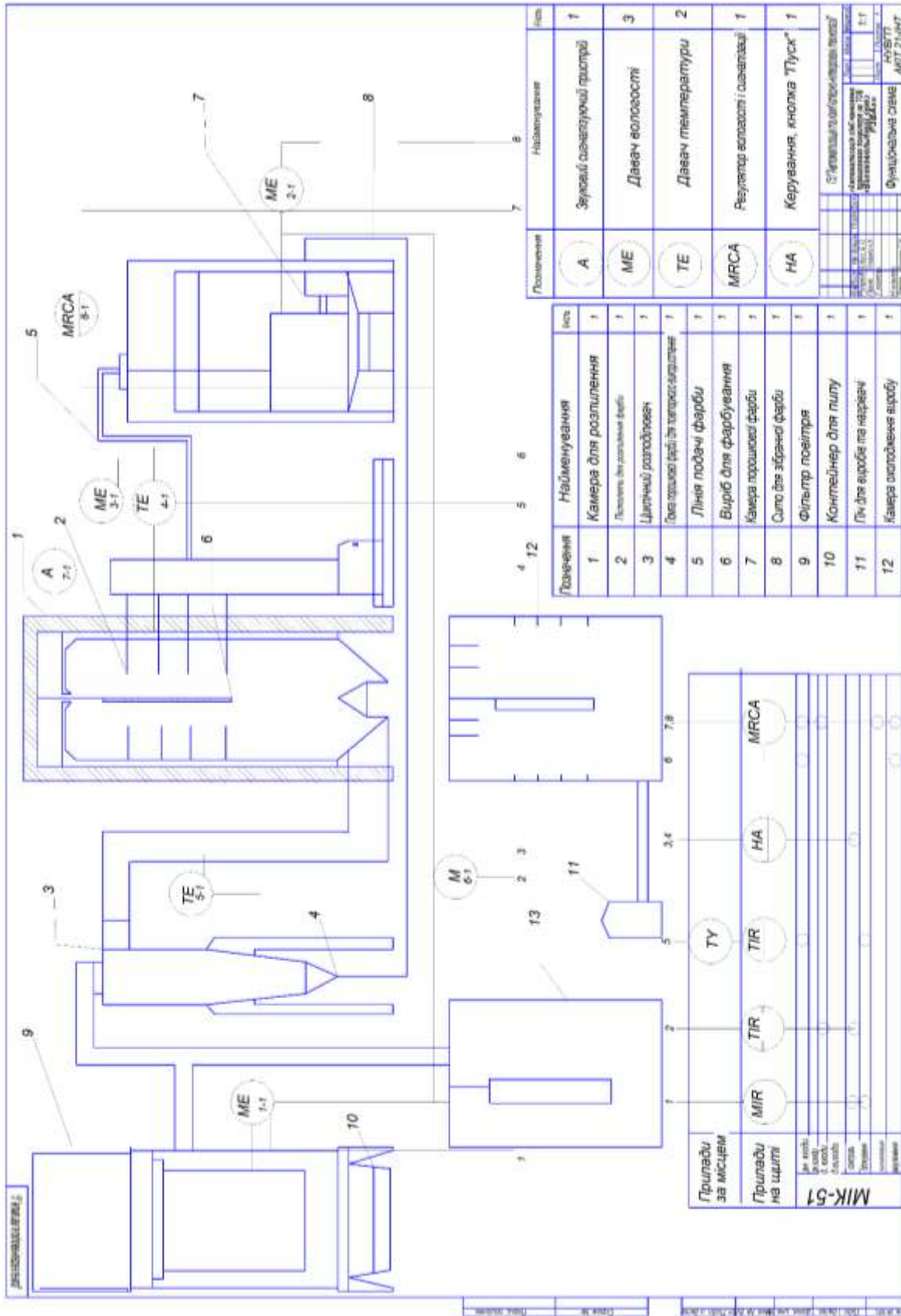


Рисунок 2 – ФСА технологічного процесу нанесення порошкового покриття

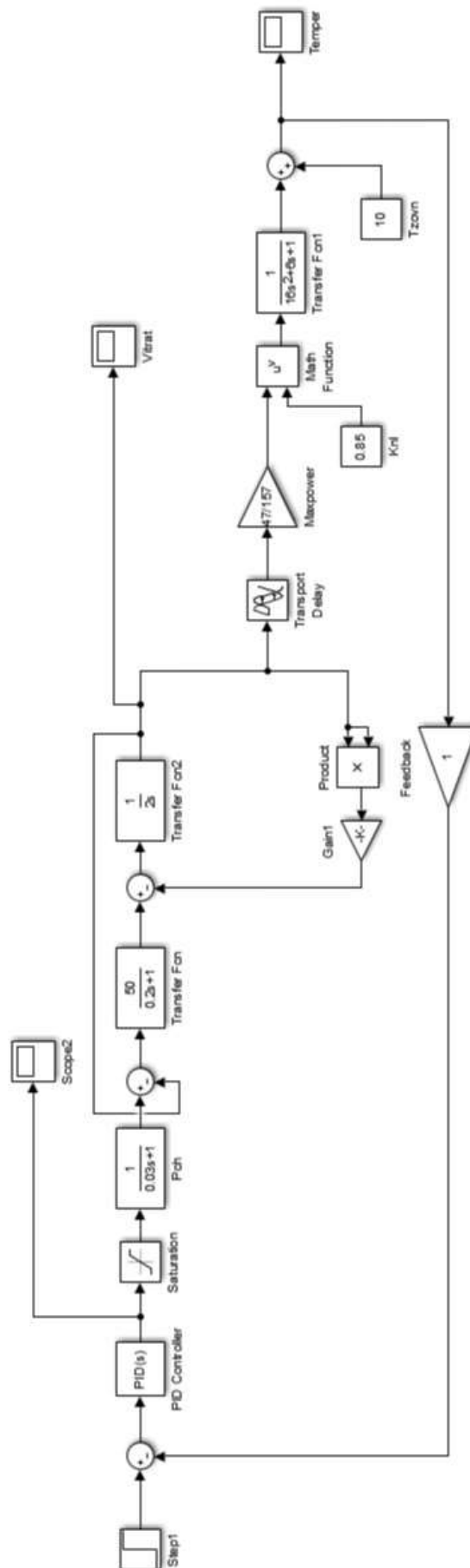


Рисунок 3 – Модель системи припливної вентиляції камери наплення з електроприводом

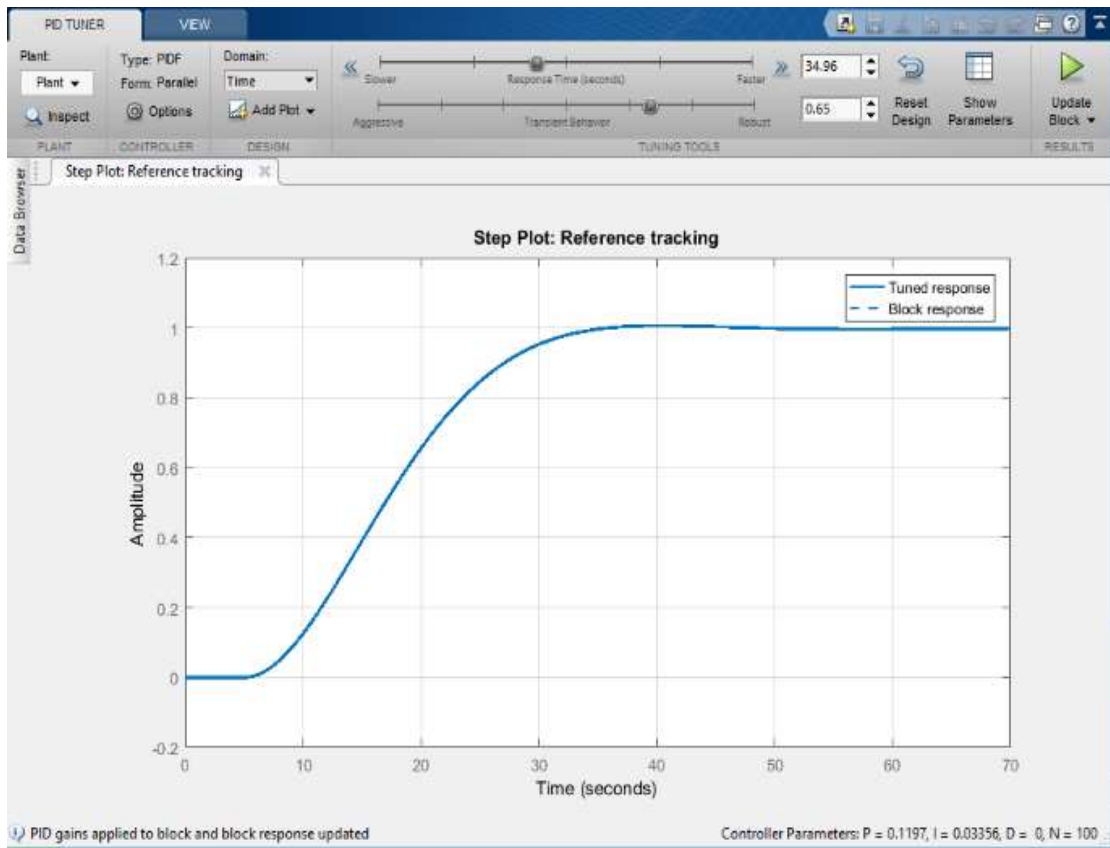


Рисунок 4 – Перехідна характеристика системи припливної вентиляції

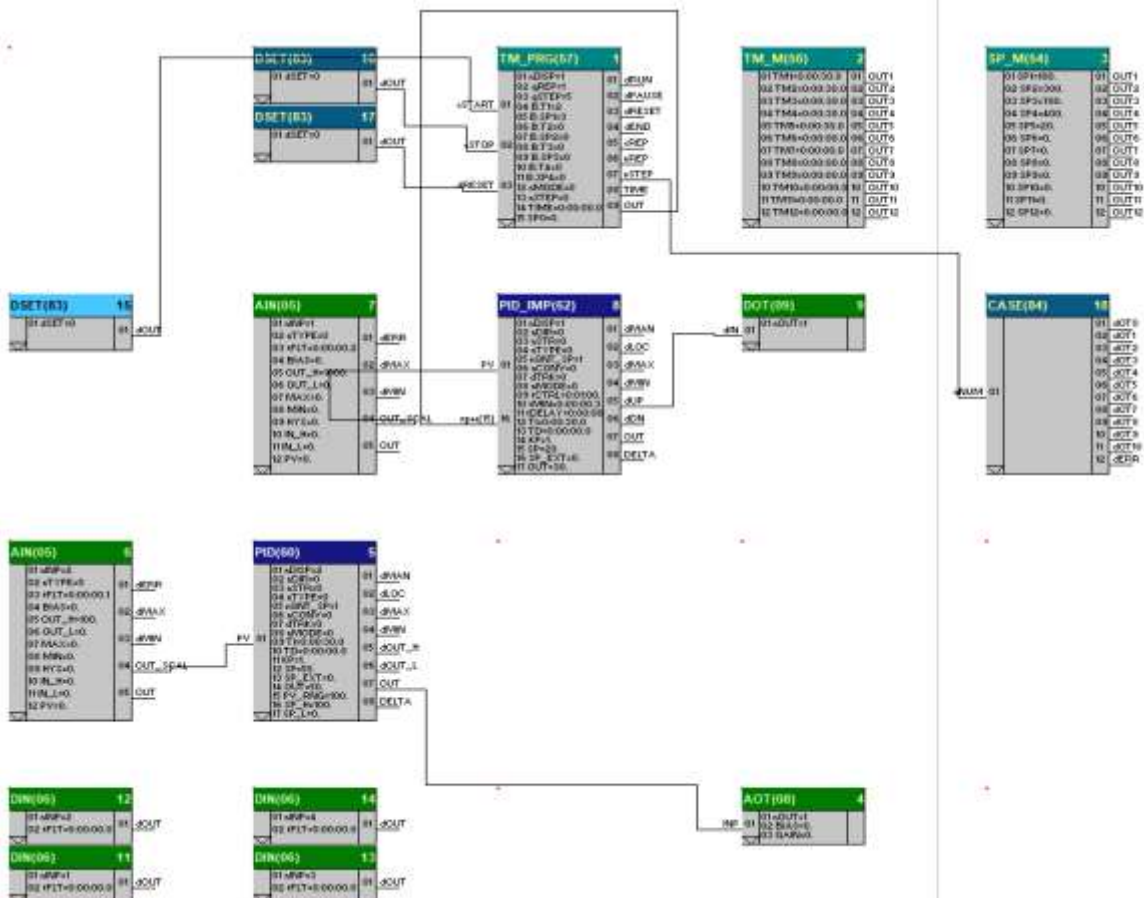


Рисунок 5 – Програмне забезпечення для керування технологічним процесом

Систему програмування розроблено у відповідності до стандарту Міжнародної Електротехнічної Комісії (IEC) 1131-3 та призначено для створення прикладного програмного забезпечення, що забезпечує керування технологічними процесами на основі програмованих контролерів [1].

Висновки

Розглянуто технологію процесу нанесення порошкового покриття, розроблено ФСА процесу, вибрано технічні засоби автоматизації, здійснено моделювання системи припливної вентиляції камери напилення, розроблено програмне забезпечення для ПЛК МІК-51.

Список використаних джерел

1. Ельперін І.В. Промислові контролери: Навчальний посібник. Київ: НУХТ, 2003. 320 с.
2. Клепач М.І. Теорія автоматичного керування. Лабораторні роботи. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. Рівне: НУВГП, 2008. 206 с.
3. Баховець Б.О. Автоматизований електропривод. Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2009. 96 с.
4. Nicholas P. Liberto. User's Guide to Powder Coating. Society of Manufacturing Engineers. 2003. P. 185.
5. P. Liberto. Powder Coating: The Complete Finisher's Handbook. Powder Coating Institute. 1994. P. 419.
6. Smith A., Johnson B., Williams C. Optimization of Electrostatic Powder Coat Cure Oven Process. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2019. P.12.
7. Arthur A. Tracton Coatings Technology Handbook. CRC Press. 2005. P.936.
8. Emmanouil Spyrou. Powder Coatings Chemistry and Technology. Hanover, Vincentz Network. 2012. P.30.

References

1. Elperin I.B. Promyslovi kontrolery: Navchalnyi posibnyk. Kyiv: NUKhT. 2003. P. 320. [in Ukrainian]
2. Klepach M.I. Teoriia avtomatychnoho keruvannia. Laboratorni roboty. Navchalnyi posibnyk dlia studentiv vyshchyykh navchalnykh zakladiv. Rivne: NUVHP. 2008. P. 206. [in Ukrainian]
3. Bakhovets B.O. Avtomatyzovanyi elektropryvod. Navchalnyi posibnyk. Rivne: NUVHP. 2009. P. 96. [in Ukrainian]
4. Nicholas P. Liberto. Users Guide to Powder Coating. Society of Manufacturing Engineers. 2003. P.185.
5. P. Liberto. Powder Coating: The Complete Finishers Handbook. Powder Coating Institute. 1994. P.419.
6. Smith A., Johnson B., Williams C. Optimization of Electrostatic Powder Coat Cure Oven Process. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2019. P.12.
7. Arthur A. Tracton Coatings Technology Handbook. CRC Press. 2005. P.936.
8. Emmanouil Spyrou. Powder Coatings Chemistry and Technology. Hanover, Vincentz Network. 2012. P.30.

AUTOMATION OF POWDER COATING LINE

B. O. Libus, A. M. Stetsenko

National University of Water Management and Environmental Management; 11 Soborna St., Rivne, 33028, Ukraine; e-mail: a.m.stetsenko@nuwm.edu.ua