Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(назва освітнього ступеня)

на тему: «Автоматизація технологічного процесу нанесення порошкових покриттів (комплексна тема)»

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Холява А.М. (прізвище та ініціали)
(підпис) Броніцький К.Р. (прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Медвідь В.Р. (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль (підпис) Козбур І.Р. (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри (підпис) Савків В.Б. (прізвище та ініціали)
Рецензент (підпис) Голотенко О.С. (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« ___» _____2026р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Холява Андрій Михайлович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація технологічного процесу нанесення порошкових покриттів» (комплексна тема).

Керівник роботи к.т.н., доц., Медвідь В.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджена наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-231
2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики та вимоги, технології нанесення порошкових покриттів. ДСТУ ISO 12944-7:20XX (ISO 12944-7:2017, IDT) «Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами» Частина 7 «Виконання та контролювання фарбувальних робіт»
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Аналітична частина;
2) Проектна частина;
3) Спеціальна частина;
4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	*доц. Медвідь В.Р.*		
Безпека життєдіяльності,	*доц. Сенчишин В.С.*		
основи хорони праці			

7. Дата видачі завдання *«____» _____20_____ р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	*Аналітична частина*	*20.05.2026*	
2.	*Проєктна частина*	*25.05. 2026*	
3.	*Спеціальна частина*	*05.05. 2026*	
4.	*Безпека життєдіяльності, основи охорони праці*	*10.06. 2026*	
5.	*Оформлення графічної частини та пояснювальної*	*20.06. 2026*	
	записки		
6.	*Захист кваліфікаційної роботи*	*25.06. 2026*	

Студент _____ *Холява А.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ *Медвідь В.Р.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« ___» _____2026р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Броніцький Костянтин Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Автоматизація технологічного процесу нанесення порошкових покриттів» (комплексна тема).

Керівник роботи к.т.н., доц., Медвідь В.Р.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
Затверджена наказом ректора від « 14 » травня 2026 року № 4/9-231
2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року
3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики та вимоги, технології нанесення порошкових покриттів. ДСТУ ISO 12944-7:20XX (ISO 12944-7:2017, IDT) «Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами» Частина 7 «Виконання та контролювання фарбувальних робіт»
4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
1) Аналітична частина;
2) Проектна частина;
3) Спеціальна частина;
4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	*доц. Медвідь В.Р.*		
Безпека життєдіяльності,	*доц. Сенчишин В.С.*		
основи хорони праці			

7. Дата видачі завдання *«____» _____20_____ р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	*Аналітична частина*	*20.05.2026*	
2.	*Проєктна частина*	*25.05. 2026*	
3.	*Спеціальна частина*	*05.05. 2026*	
4.	*Безпека життєдіяльності, основи охорони праці*	*10.06. 2026*	
5.	*Оформлення графічної частини та пояснювальної*	*20.06. 2026*	
	записки		
6.	*Захист кваліфікаційної роботи*	*25.06. 2026*	

Студент _____ *Броніцький К.Р.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ *Медвідь В.Р.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна роботи присвячена розробці технічної документації основного технологічного обладнання лінії нанесення порошкових покриттів, автоматизованої системи управління камерою оплавлення порошкової фарби для управління технологічним процесом фарбування деталей світильників, згідно ДСТУ ISO 12944-7:20XX (ISO 12944-7:2017, IDT) «Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами».

У проєктній частині роботи детально описано автоматизовану лінію, проаналізовано етапи підготовки поверхні виробів до обробки та процеси ґрунтування. Розроблено циклограми функціонування автоматизованої виробничої системи, визначено камеру оплавлення як головний об'єкт керування та виконано комплекс її інженерних розрахунків.

Розроблено мікропроцесорну систему автоматичного керування. З метою забезпечення високої точності контролю технологічних параметрів розроблено архітектуру та схемотехнічні рішення мікропроцесорної системи управління камерою оплавлення. В межах цього завдання обґрунтовано вибір мікропроцесора Intel 8051 та розроблено структуру взаємодії з периферією. Спроектовано ключові функціональні блоки системи, – стабілізований блок живлення, модуль клавіатури та дисплея, блоки синхронізації, комутації, опитування давачів, керування калориферами. Спроектовано модуль АЦП термопар та блок інтерфейсу для обміну даними між ОЕОМ та ЕОМ, а також оцінено похибку вимірювання температури термопарою, що підтвердило метрологічну відповідність системи вимогам техпроцесу.

У спеціальній частині роботи проведено формалізований опис функцій управління та розроблено управляючу модель технологічного об'єкта. Описано практичний підхід до програмування мікроконтролерів із використанням інтегрованого середовища розробки IDE SILABS та інструментарію Keil Реалізований програмний код забезпечує стабільний алгоритм зчитування даних, регулювання температури та відпрацювання аварійних ситуацій.

ABSTRACT

This qualified work is dedicated to the development of technical documentation of the main technological equipment of the line for applying powder coatings, an automated control system for the powder furnace melting chamber for managing technological the process of preparing lamp parts, according to DSTU ISO 12944-7:20XX (ISO 12944-7:2017, IDT) “Corrosion protection of steel structures with dry varnish-based systems.”

In the design part of the robot, the automated line is described in detail, the stages of preparing the surface of the paints before processing and the priming process are analyzed. It is divided into cyclograms of the functioning of the automated vibration system, a melting chamber is identified as the main object of the treatment and a complex of engineering departments.

The microprocessor automatic cleaning system has been expanded. In order to ensure high precision control of process parameters, the architecture and circuitry solutions of the microprocessor system for controlling the reflow chamber were divided. Within the framework of this task, a selection of daily microprocessors (Intel 8051 family) was installed and the structure of its interaction with the periphery was fragmented. The key functional blocks of the system were designed and described: stabilization unit, keyboard and display module, synchronization units, switching units, heater supply unit, heater unit. A thermocouple ADC module and an interface block for exchanging data between the EOM and EOM were designed, and the temperature loss of the thermocouple was assessed, which confirmed the metrological conformity of the system to the technical process.

In a special part of the work, the description of the control functions was formalized and the control model of the technological object was broken down. A practical approach to programming microcontrollers using the integrated development core IDE SILABS and Keil tools is described. Implementing the program code will provide a stable algorithm for reading data, regulating temperature and handling emergency situations.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ 6
ABSTRACT 7
ЗМІСТ 8
ВСТУП 11
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА 13
1.1 Аналіз технологічного процесу напилювання покриттів з порошкових полімерних композицій. 13
1.2 Стандарти та регламенти нанесення порошкових покриттів 21
1.3 Обладнання нанесення порошкових покриттів 22
1.3.1 Автоматизовані лінії 22
1.3.2 Камери порошкової фарбування 29
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА 32
2.3 Автоматизована лінія нанесення порошкових покриттів та її призначення. 34
2.4 Аналіз технологічного процесу напилювання покриттів 35
2.5 Підготовка поверхні виробу до обробки 39
2.5.1 Підготовка поверхні виробу 39
2.5.3 Ґрунтування. 43
2.6 Характеристика об’єкту управління, призначення, умови роботи 43
2.6.1 Будова і принцип роботи камери оплавлення 45
2.6.2 Технічні характеристики камери оплавлення 47
2.6.3 Принцип роботи. 48
2.6.4 Циклограма роботи автоматизованої виробничої системи. 49
2.7 Обладнання, що входить у автоматизовану виробничу систему та його показники 50
2.9 Розрахунок нагрівачів камери оплавлення автоматизованої лінії нанесення порошкових покриттів. 53
2.10 Контроль параметрів процесу оплавлення порошкового покриття в умовах автоматизованого виробництва 54

2.11 Розрахунок похибки вимірювання термопарою. 55
2.12 Розрахунок камери оплавлення порошкових фарб..... 58
2.12.1 Технічне завдання: 58
2.12.2 Розхід тепла в камері оплавлення..... 58
2.12.3 Визначення кількості свіжого повітря. 61
2.12.4 Розрахунок продуктивності вентиляторів і калориферів..... 65
2.12.5 Розрахунок вентиляційної системи повітропровода. 67
2.12.6 Розрахунок втрат напору у повітропроводі рівномірної роздачі. 68
2.12.7 Вибір вентилятора й електродвигуна..... 69
2.14 Вибір мікропроцесора для систем керування. 75
2.15 Вибір оптимального варіанту архітектури системи управління камерою оплавлення. 79
2.16 Розробка та опис блоків мікропроцесорної системи управління..... 81
2.16.1 Мікропроцесорний блок, вузол вибірки ОЗУ. 81
2.16.2 Стабілізований блок живлення. 82
2.16.3 Модуль клавіатура дисплей. 84
2.16.4 Модуль керування та синхронізації. 86
2.16.5 Блок опитування давачів і формування керуючих сигналів..... 86
2.16.6 Блок комутації. 88
2.16.7 Модуль керування калориферами 89
2.16.8 Блок АЦП навантаження 91
2.16.9 Модуль інтерфейсу. 92
2.16.9.1 Передача ОЕОМ→ЕОМ 92
2.16.9.2 Прередача ЕОМ → ОЕОМ 93
2.17 Модуль АЦП термопар. Принцип роботи блоку вимірювання та регулювання температури. 93
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА..... 102
3.1 Аналіз технологічного об”єкту з точки зору управління..... 102
3.1.1 Розробка управляючої моделі 102
3.1.2 Формалізований опис функції управління 103

3.2 Програмування мікроконтролерів сімейства Intel 8051 за допомогою програмного пакета IDE SILABS 106
3.2.1 Оптимізуючий крос-компілятор C51 (Keil C51) 107
3.2.2 Макроассемблер A51 (Keil Software A51) 108
3.2.3 Компонувальник L51 (BL51) 109
3.2.4 Відладчик/симулятор 110
3.2.5 Програмування 8051 F064EK 110
3.2.6 Запуск IDE Silabs та створення файлу проекту з використанням компілятора мови Сі 114
3.2.8 Робота з відладчиком C51 115
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ІПРАЦІ 118
4.1 Вимоги пожежної безпеки при експлуатації системи керування камерою оплавлення. 119
4.2 Характеристика дільниці оплавлення з точки зору охорони праці. 121
4.3 Захист обладнання від статичної електрики. 122
4.4 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці на виробництві. 125
4.5 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для камери оплавлення порошкових фарб. 128
ВИСНОВОК 131
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 135

ВСТУП

Покриття із порошкових полімерів являються новим напрямком в розвитку лакокрасочної техніки. Створення обладнання з врахуванням особливостей напилювання порошкового полімера забезпечує високу продуктивність процесу.

Розвиток технології напилювання полімерних і олігомерних матеріалів пов'язаний з вимогами, що зросли до захисту металевих поверхонь від корозії, необхідністю забезпечувати специфічні високі експлуатаційні параметри виробу. Цей розвиток зажадав створення нових захисних і електроізоляційних матеріалів, розробки нових процесів їх нанесення. Досвід експлуатації окремих установок, ліній, дільниць по напиленню в нашій країні нараховує до 35 років, однак широке поширення напилювання полімерних і олігомерних матеріалів стало можливим з початку 1970-х років, коли був початий серійний випуск спеціальних розчинів для напилювання, головним чином термореактивних.

Накопичений досвід застосування порошкових полімерних матеріалів підтвердив їх високу технічну і економічну ефективність, і передусім при заміні складних видів електричної і хімічної ізоляції, металевих і силікатних покриттів, а також багатошарових систем лакофарбових і спеціальних видів покриттів.

Встановлено, що порошкові покриття поліпшують якість і збільшуьть термін служби виробів; забезпечують зменшення їх габаритів (у разі використання як ізоляція); сприяють зниженню трудоємкості, підвищенню продуктивності праці і рівня механізації і автоматизації виробничих процесів.

Порошкові полімерні покриття можуть знайти застосування в багатьох галузях промисловості. Зокрема, в електротехнічній промисловості вони перспективні для пазової ізоляція роторів і статорів електричних машин, корпусній і міжвитковій ізоляції апаратів; в радіотехнічній і електронній промисловості для герметизації трансформаторів, опорів, конденсаторів; в газохімічнії промисловості для антикорозійного захисту труб, в тому числі

великого діаметра; в машинобудуванні як антифрикційні матеріали; в автомобільній промисловості для антикорозійного захисту ободів коліс, пружин підвісок, рам мотоциклів і вантажних машин, а також для захисно-декоративної обробки виробів широкого споживання: холодильників, пральних машин, пилососів і ін.

Є відомості про використання напилювання для виготовлення тонкостінних порожнистих виробів. Ці способи перспективні для напилювання полімерів з високою температурою плавлення, наприклад фторопластів. Вироби, що отримуються (ємкості і інш.) відрізняють рівною товщиною стінок і високими механічними властивостями (на 20-40% перевершують показники аналогічних виробів, виготовлених литтям під тиском).

Технологія напилювання порошкових полімерних і олігомерних композицій здійснюється без викиду шкідливих речовин у водяне середовище і з мінімальними викидами в атмосферу.

Разом з тим для широкого впровадження способів напилювання потрібні не тільки нові, що раніше не використовувалися, матеріали, але і обладнання і технологічні процеси. З цим пов'язані труднощі, виникаючі в процесі освоєння порошкових матеріалів.

Подальший успішний розвиток технології отримання покриттів із порошкових матеріалів багато в чому залежить від загальних зусиль хіміків, технологів і машинобудівників.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз технологічного процесу напилювання покриттів з порошкових полімерних композицій.

Технологічний процес напилювання покриттів з порошкових полімерних композицій складається з наступних основних операцій:

- підготовка композиції до напилювання; підготовка поверхні виробу;
- ізоляція місць, що не підлягають напиленню;
- грунтування; попередній нагрів виробу;
- нанесення порошкової композиції;
- оплавлення шара порошку;
- затвердіння покриття;
- охолоджування покриття;
- контроль.

Для конкретного виробу схема технологічного процесу може включати не всі перераховані операції, вона залежить від вигляду покриття і вибраного способу напилювання. При нанесенні покриттів на основі полівінілбутираля, епоксидних, поліефірних смол і інших полімерів, що володіють високої адгезією, не проводиться грунтування. У разі напилювання покриттів електростатичними методами відпадає необхідність в попередньому нагріві виробів. Використання композицій на основі термопластів виключає операцію затвердіння.

До виробів, що напиляються пред'являються наступні вимоги:

1. Вироби повинні витримувати технологічний нагрів. Температура залежить від вигляду покриття і може досягати 120-420 °С.
2. Поверхня виробу не повинна мати завусин, гострих кромок (радіусом менше за 0,3 мм), бризг від зварювання, напливів після паяння, пропалів, залишків флюсів. У разі напилювання на поверхню деталей, що ллються на

ній не допускаються порушення суцільності металу (раковини, тріщини, спаї і ін.), а також нерівності у вигляді приливів, складок.

3. Вироби, зварені точковим (роликовим) зварюванням перекриванням або склепаі, не повинні мати зазорів більше 0,05 мм (перевіряється набором щупів по ГОСТ 882-75).

Зупинимось детальніше на печах попереднього нагріву і оплавлення.

Оплавлення шару порошку і затвердіння покриття.

Оплавлення шаре порошку є складним фізико-хімічним процесом, що включає декілька стадій:

- перехід часток порошку у в'язкотекучий стан,
- монолітизація (сплавлення) часток,
- змочування підкладки і розтікатися розплаву полімеру,
- видалення з розплаву газових включень.

Перехід часток порошку у в'язкотекучий стан характеризують температурами склування, плавлення або текучості і деструкції. Механізм переходу полімерних матеріалів при нагріві з твердого (склоподібного або кристалічного) у високоеластичне і далі в'язкотекучий стан широко описаний в літературі.

Сплавлення (монолітизація) часток порошку, що знаходяться у в'язкотекучому стані, відбувається спочатку за рахунок самодифузії (взаємного проникнення і переплетення ланок макромолекул), а потім внаслідок дії механізму в'язкої течії матеріалу.

В'язкість полімеру і його поверхневе натягнення про в свою чергу в різній мірі, але залежать від температури. Для більшої частини полімерів при підвищенні температури до 180-200°С в'язкість меншає в десятки разів, а поверхневий натяг знижується менш ніж на 10%. У цьому причина прискорення сплавлення часток при підвищенні температури.

Висока в'язкість полімерів утрудняє монолітизацію часток і обмежує можливість отримання суцільних плівок покриттів в тонких шарах. У даний час мінімальна товщина покриттів, що напилюються становить ~70 мкм.

Змочування підкладки і розтікатися розплаву полімеру відбуваються одночасно з монолітизацією часток. У результаті встановлюється адгезійна взаємодія (зчеплення) між розплавом і поверхнею підкладки. Змочування і розтікання, є протилежності монолітизації, вони прискорюються при зменшенні поверхневого натягу. Сприяє процесам високий ступінь обезжирення поверхні, їх мінімальна шорсткість, наявність ґрунтувальних шарів.

Завершальною стадією процесу оплавлення покриттів є видалення з розплаву газових включень.

Основним джерелом газових включень в покриттях з порошків полімерів є повітря, якого навіть в щільному шарі порошку міститься до 40% від об'єму і який блокується частками при їх переході у в'язкотекучий стан. Додатковим джерелом включень можуть бути летючі домішки (в основному, волога і залишки мономерів) в полімері і продукти його термоокисної деструкції. Дослідження показали, що видалення газових включень з порошкового покриття відбувається через механізм дифузії газу з розплаву полімеру. Рушійною силою цього процесу є прагнення системи до зменшення своєї поверхневої енергії.

Затвердіння покриттів потрібно тільки при нанесенні покриттів на основі термореактивних композицій. Температура і час затвердіння взаємопов'язані, збільшення температури в певному інтервалі дозволяє зменшити тривалість затвердіння і, навпаки, збільшення тривалості дозволяє знизити температуру затвердіння. Використання низькотемпературного режиму затвердіння забезпечує можливість напилювання порошків полімерів на вироби, виготовлені з матеріалів обмеженої термостійкості, наприклад намоточні вузли (трансформатори, котушки реле та інш.).

Охолоджування покриттів ведуть при різних швидкостях. Поліпшенню надмолекулярної структури покриттів з кристалічних полімерів сприяють

високі швидкості охолоджування (до 350 °С/хв). Як охолоджуючий агент використовують воду. Охолоджування покриттів на основі аморфного полімеру полівінілхлориду також ведуть у воді з метою запобігання термоокисної деструкції полімеру.

Поліамідні покриття для підвищення їх антифрикційних властивостей охолоджують в гарячому мінеральному маслі: виріб з покриттям вміщують в масло, нагріте до 100 °С, яке потім охолоджують до 40 °С.

Режим охолоджування покриттів на основі термореактивних полімерів практично не впливає на їх властивості. Покриття охолоджують природним шляхом або потоком повітря, що примусово подається.

Для попереднього нагріву виробів при напиленні порошкових полімерних композицій в основному використовують два типи печей: терморадіаційні і індукційні.

Індукційні печі використовують для попереднього нагріву виробів простої форми, в основному погонних, – стрічок, дротів, сіток, труб, а також намоточних виробів. При цьому інтенсивний нагрів досягається за рахунок збудження на поверхні виробів вихрових струмів. Глибина проникнення вихрових струмів при температурі 150-200 °С і частоті 600-5000 кГц становить 1,5-2 мм. Нагрів більш глибоких шарів досягається за рахунок теплопровідності металу. Нагрівальний індуктор виготовляють з мідної трубки, що має форму спіралі або жолоба, що допускає застосування підвісного конвейєра. Як джерело живлення використовують магнітні або лампові генератори струму високої частоти (500-1200 кГц) потужністю 7,5-2000 кВ. Рівномірність нагріву виробу, що напилюється забезпечується однаковою відстанню від витків індуктора до поверхні виробів. Нагрів виробу до 300-350 °С при переміщенні його всередину індуктора і подачі енергії відбувається за декілька секунд. Незважаючи на різке скорочення часу нагріву, індукційні печі через високу вартість генераторів і труднощів в підборі індукторів знаходять обмежене застосування.

Терморадіаційні печі для попереднього нагріву виробів знаходять широке застосування. Нагрів виробу досягається за рахунок опромінення його поверхні інфрачервоними променями. Як джерела інфрачервоного опромінення застосовують лампові випромінювачі, панельні нагрівальні елементи і трубчасті електричні нагрівники (ТЕНи) з рефлекторами. При нанесенні порошкових полімерних покриттів в основному використовують ТЕНи, що генерують при нагріві до 300-400 °С інфрачервоні промені з довжиною хвилі 4-5 мм.

ТЕН являє собою металеву трубку, в яку вміщена спіраль ніхромового дроту, ізольована від внутрішніх стінок трубки кварцовим піском або електрокорундом. Для обладнання печей попереднього нагріву використовують ТЕН ТУ 63-59 серії ВНС (нагрівник повітряний сушильний). Питома щільність випромінювання ТЕН підвищується більш ніж в 3 рази, якщо їх вмістити в центрі параболічного рефлектора. Рефлектори виготовляють з алюмінію або хромованої сталі з полірованою поверхнею. Алюмінієві рефлектори з полірованою або анодованою поверхнею дають високий процент відбиття інфрачервоних променів (до 95%).

Терморадіаційні печі можуть бути тупикові і прохідні, одно- і багатоходові. Розміри печей визначаються розмірами виробів і тривалістю операції нагріву. На вході і виході виробів печі обладнують тамбурами-форкамерами для зменшення втрат тепла. ТЕН розміщують в печі так, щоб відстань між випромінювачем і поверхнею виробу становила 200-300 мм, а між ТЕНамі 100-150 мм.

Для оплавлення покриттів в основному використовують конвекційно-терморадіаційні печі нагріву, тобто поряд з ТЕНами піч містить систему рециркуляції і калорифер для підігрівання повітря. Поєднання терморадіаційного і конвекційного способу нагріву дозволяє збільшити швидкість і рівномірність нагріву виробів.

Для дрібносерійного виробництва можуть бути рекомендовані тупикові терморадіаційні печі (сушильні камери) типу СНОЛ з максимальною температурою 300 і 500 °С.

На цей час в промисловому масштабі виробляються порошкові полімерні фарби, які можна розділити па дві групи: для захисно-декоративних покриттів, для хімічно стійких покриттів.

До перших відносяться фарби на основі епоксидних, полівінілбутиральних, поліефірних, полівінілхлоридних смол, до других, пентапласт, поліетилен, поліпропіленів, фторопласт.

Важливе місце серед захисно-декоративних фарб займають порошкові фарби па основі епоксидних смол. Широко використовуються такі фарби, як П-ЕП-219 (ТУ 6-10-1597-77), П-ЕП-534 (ТУ 6-10-900-80), П-ЕП-45 (ТУ 6-10-11-6-76), П-ЕП-177 (ТУ 6-10-1575-76) .

В промисловому масштабі випускаються полівінілбутиральні фарби ПВЛ-212 (ТУ 6-10-855-75), полівінілхлоридні фарби ПХВ-716 (ТУ 6-10-1706-79), розроблені і випускаються дослідні партії епоксидних фарб П-ЕП-91 (ТУ 6-10-100-127-78) і П-ЕП-134 (ТУ 6-100-125-81). Одеський лакофарбовий завод виробляє поліефірну фарбу П-ЕП- 1130у (ТУ 6-10-285-6-79) .

У роботах були випробувані епоксидні, полівінілбутиральні, полівінілхлоридні і поліефірні фарби при їх нанесенні трибостатичним методом. Досить високий електростатичний заряд від тертя отримують епоксидні фарби П-ЕП-219, П-ЕП-91, П-ЕП-534, П-ЕП-971, П-ЕП-134 і полівінілбутіральна фарба ПВЛ-212. Ці фарби використовуються при впровадженні ліній нанесення покриттів у промисловості.

Поліефірна фарба П-ЕП-1130у отримує слабий заряд від тертя. При фарбуванні виробів II і III груп складності спостерігаються недофабування, після сушки покриття виходить неякісним, – кратери, шагрень і інш.

Полівінілхлоридна фарба ПХВ-716 не отримує електричного заряду при терті, застосовувати її для фарбування з використанням трибостатичного ефекту не рекомендується.

Емалі ПФ-115 призначені для окраски дерев'яних, металевих та других об'єктів, котрі піддаються впливам атмосфери.

Емалі наносять на поверхні методами занурення, розпилення та струменевого обливу.

Дозволяється заміна на емаль МЛ-12 ГОСТ 9754-76, що являє собою суспензію пігментів в розчинах алкідних і міламіно-формальдегідних смол і органічних розчинників.

Емаль призначена для фарбування попередньо заґрунтованих або заґрунтовано-шпакльованих металевих виробів, котрі експлуатуються в атмосферних умовах і всередині приміщень.

Емалі наносяться на поверхні розпиленням.

Система покриття, що утворюється з двох шарів емалі ПФ-115 (ГОСТ 6465-76) чи дозволяється заміна на МЛ-12 (ГОСТ 9754-76), нанесених на фосфатовану чи загрунтовану поверхню грунтовкою типу В-КФ-093 або В-КЧ-0207 поверхню, забезпечує захисні, декоративні властивості в умовах холодного, помірного клімату на протязі 5 років.

В тропічному кліматі, вказана система покриття забезпечує захисні і декоративні властивості протягом 1 року.

Плівка емалі стійка до зміни температури від мінус 50 до плюс 60^{o}С (ПФ-115) від мінус 60 до плюс 60^{o}С (МЛ-12).

Властивості покриттів визначаються в основному властивостями початкових речовин, головним чином плівкоутворюючих полімерів.

Полімерні покриття володіють високою стійкістю до ударних деформацій. Для більшості покриттів ударна міцність, визначена на приладі У-1А (ГОСТ 18299-72), становить 5 Нм. Виключення складають покриття на основі полівінілбутиралі, акрилових смол і високонаповнених епоксидних композицій 2-3 Нм.

Найбільшу гнучкість (вигин) мають покриття на основі фторопластів, полівінілхлорида і поліетилену 1 мм по шкалі гнучкості ШГ-1 (ГОСТ 6806-73), декілька меншу гнучкість (5-10 мм) показують покриття на основі поліефірних смол і низьконаповнених епоксидних смол, інші види покриттів мають показник 15-30 мм.

Всі напилені покриття володіють високими електричними властивостями. Придатність тих або інших покриттів як електрична ізоляція машин і апаратів встановлюють по зниженню цих показників при нагріві, в умовах підвищеної вогкості і перепаді температур (термоударостійкостю).

Покриття на основі порошку УП-2155 і фторопластів володіють найбільш високими властивостями: їх електричні показники практично не знижуються в інтервалі робочих температур, а також після впливу протягом 30 діб тропічних умов.

Велика частина полімерних порошкових покриттів має високі захисні властивості в умовах різних кліматичних зон. Найбільшою атмосферостійкістю володіють покриття на основі фторопластів, гарантований термін служби яких становить 20 років, і покриття на основі акрилових смол 8-10 років. За винятком полівінілбутиралі і поліефірних смол, порошкові покриття володіють високою стійкістю до дії різних агресивних середовищ.

Істотним чинником міцності покриттів є їх адгезія до поверхні, що покривається. Адгезія залежить від матеріалу виробу, що забарвлюється і від якості підготовки поверхні. Наприклад, зчеплення полімерних покриттів зі сталлю значно краще, ніж з кольоровими металами. Найбільша адгезія, як вже вказувалося, досягається дробовоструменевій обробкою або фосфатувати поверхні, а також грунтуванням.

Наявність на поверхні жирових плівок, пилу погіршує адгезію і приводить до відшарування покриття.

Досвід експлуатації підтверджує, що покриття, що містить інгібіруючий грунт і нанесене на забруднену поверхню, руйнується через рік, а нанесене на

поверхню, обчищену дротяними щітками, - через 3 роки; покриття, нанесене на заздалегідь попіскоструєну поверхню, руйнується через 8-10 років.

1.2 Стандарти та регламенти нанесення порошкових покриттів

Порошкове покриття в Україні регламентується сучасними ДСТУ (Державними стандартами України) та гармонізованими європейськими нормами EN. Вони контролюють увесь процес – від безпеки фарбувальних камер до товщини шару, міцності та методів тестування. [1–8]

Ключові групи стандартів, які діють сьогодні, згруповані по ознаках їх застосування у виробничих процесах.

Якість та безпеку порошкових матеріалів визначають наступні діючі стандарти:

- ДСТУ ISO 8130 (група стандартів) – встановлює методи випробування порошкових фарб (визначення густини, часу желатинізації, втрати маси під час сушіння та ефективності нанесення).
- ДСТУ ISO 8130-4 – правила розрахунку нижньої межі вибуху порошково-повітряної суміші. [8, 9, 10]

Товщину покриттів, експлуатаційні вимоги та захист від корозії регламентують наступні стандарти:

- ДСТУ ISO 12944 (група стандартів) – описує захист сталевих конструкцій від корозії за допомогою лакофарбових систем (методи випробувань та контроль фарбувальних робіт). Згідно зі стандартами, товщина затверділої плівки має вимірюватися без руйнування покриття (наприклад, за допомогою приладів згідно ISO 2808). [11, 12]
- ДСТУ ISO 1520, – регламентує випробування покриття на витягування (глибоку витяжку металу) для перевірки його еластичності та міцності на розрив. [13]

Архітектурні та промислові вимоги приведені в стандартах:

- ДСТУ EN 12206-1: стосується фарбування алюмінію та алюмінієвих сплавів для архітектурних цілей.

- ДСТУ EN 13523 (група стандартів): визначає методи тестування фарбованих рулонних металів на стійкість до розчинників, УФ-випромінювання та конденсації води.
- ДСТУ EN 12981: охоплює вимоги щодо безпеки для фарбувальних камер та установок для нанесення органічних порошкових матеріалів. [14, 15]

Підприємства, котрі спеціалізуються на нанесенні порошкових покриттів, також керуються європейськими системами сертифікації якості, такими як QUALICOAT або QUALISTEELCOAT, які тісно переплетені з вищенаведеними ДСТУ ISO/EN. [16].

1.3 Обладнання нанесення порошкових покриттів

1.3.1 Автоматизовані лінії

Дільниця порошкового фарбування з кільцевою транспортної системою

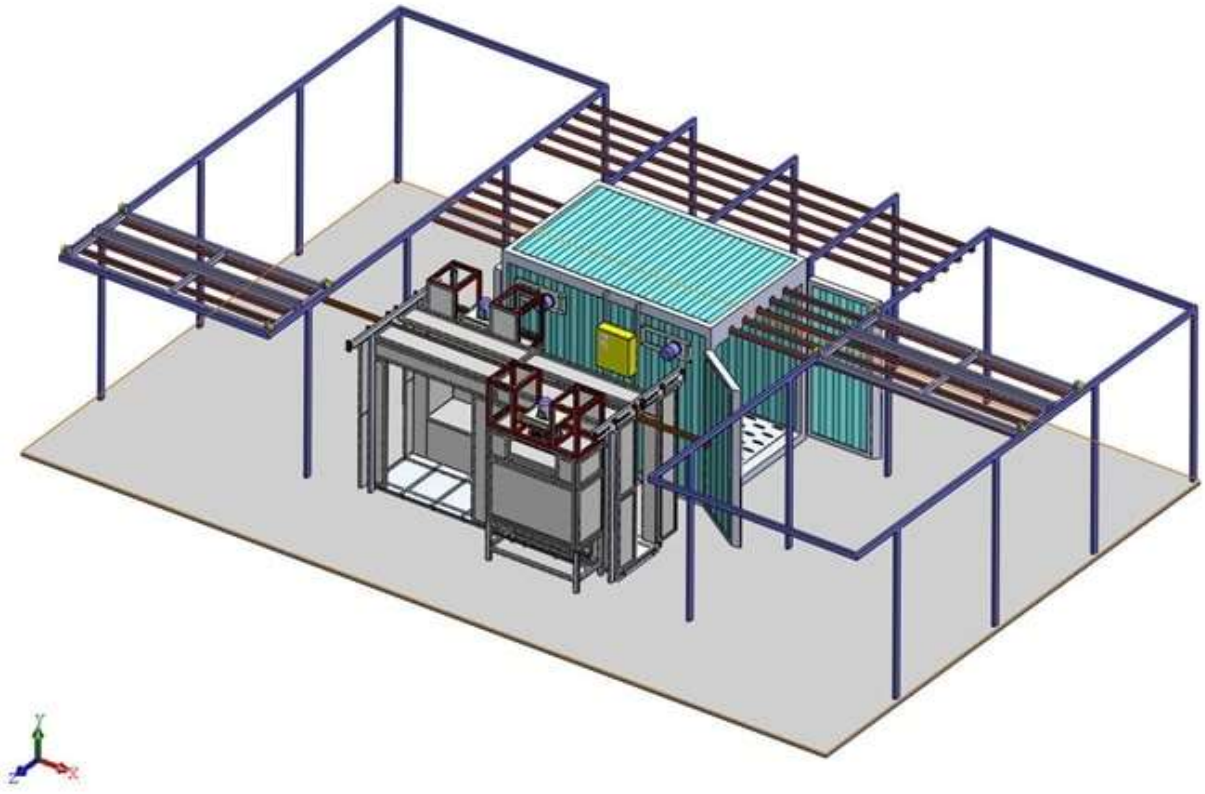


Рисунок 1.1 Закільцьована транспортна система

Планування такого розміщення обладнання ділянки нанесення порошкового покриття із закільцьованою транспортної системою зображено на рис 1.2.

Переваги компоновки, – легко розрахувати необхідну виробничу площу виходячи з внутрішніх розмірів камери полімеризації, при заданих параметрах приміщення обчислити максимально можливі параметри камер полімеризації та напилення.

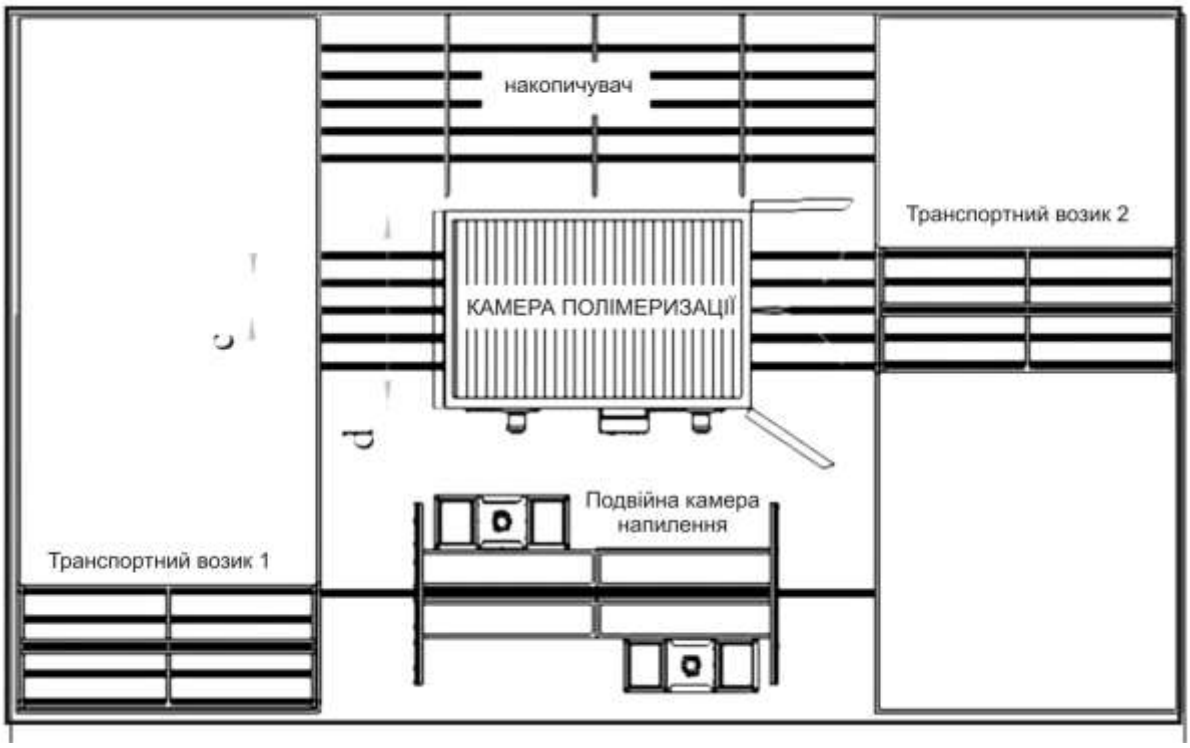


Рисунок 1.2 – Планування ділянки нанесення порошкового покриття із закільцьованою транспортної системою

Приклад розрахунку виробничої площі для розміщення комплексу обладнання із закільцьованою транспортної системою із внутрішньою довжиною камери полімеризації L = 4000 мм із п'ятьма напрямними з міжосьовим відстанню C = 300 мм:

З урахуванням необхідного простору для відкривання відчинених дверей m, значення якого залежить від внутрішньої ширини камери полімеризації d, довжина приміщення складе:

$$L = l + m + l + m + l = 4000 + 4c + 4000 + 4c + 4000 = 14400\ мм.$$

Ширина, відповідно розрахується:

$$D = d + d + d + 1500 = 3\left(5c + 450\right) + 1500 = 7350\ мм \text{ або } 5800\ мм .$$

Номенклатура фарбується виробів та параметри наявного виробничого приміщення можуть призводити до різних змін двох вищенаведених основних схем розташування комплексу обладнання, як це показано на рис. 1.3, 1.4.

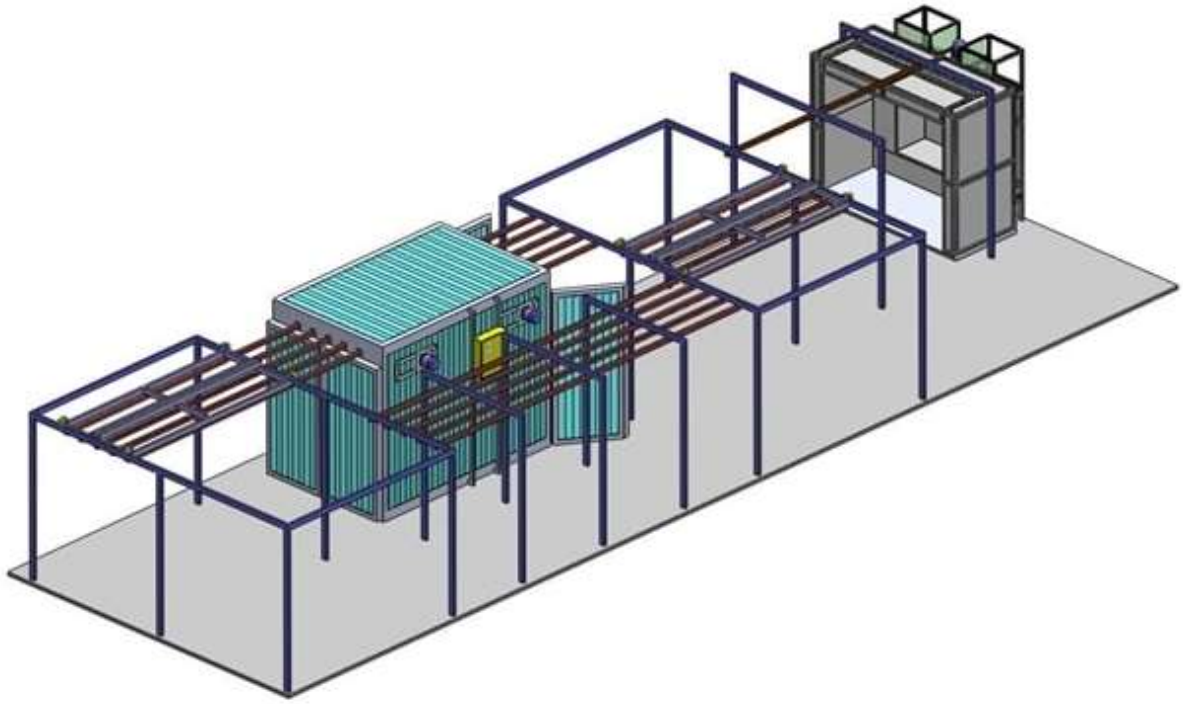


Рисунок 1.3 – Можливий варіант лінійного розміщення обладнання

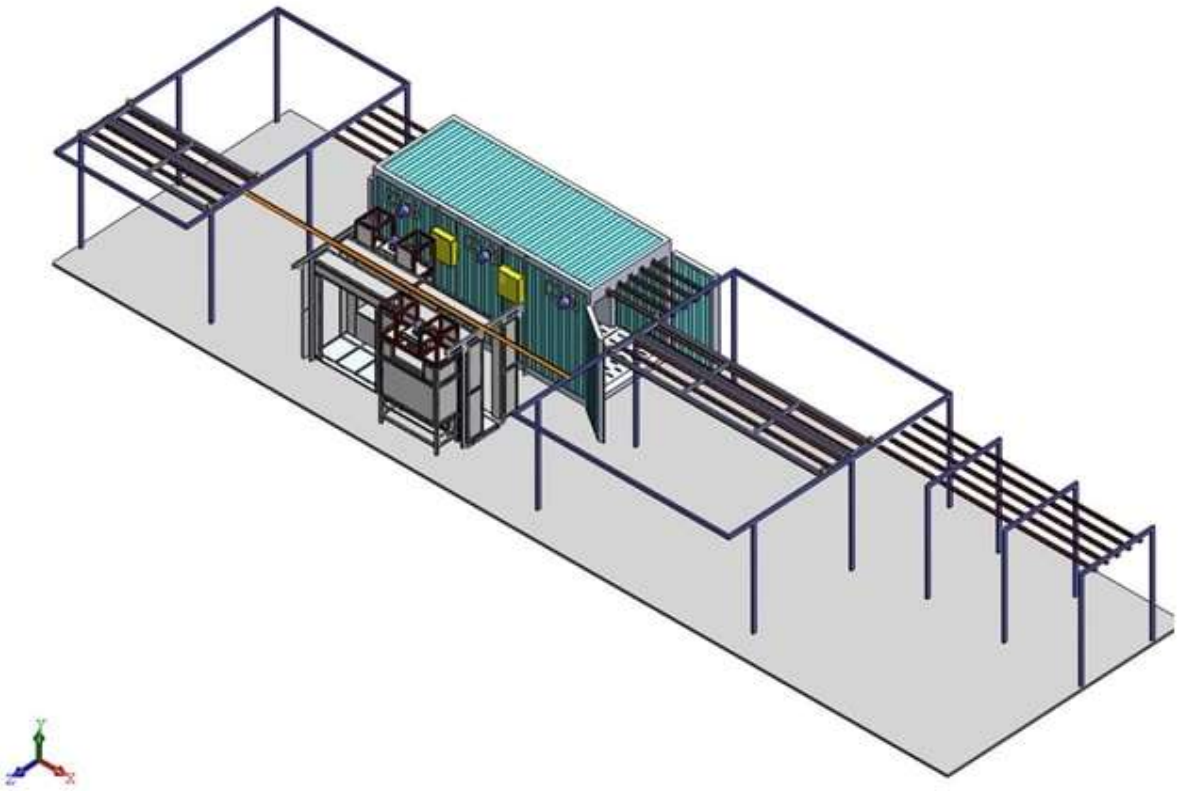


Рисунок 1.4 – Кільцева система з торцевим розташуванням накопичувача

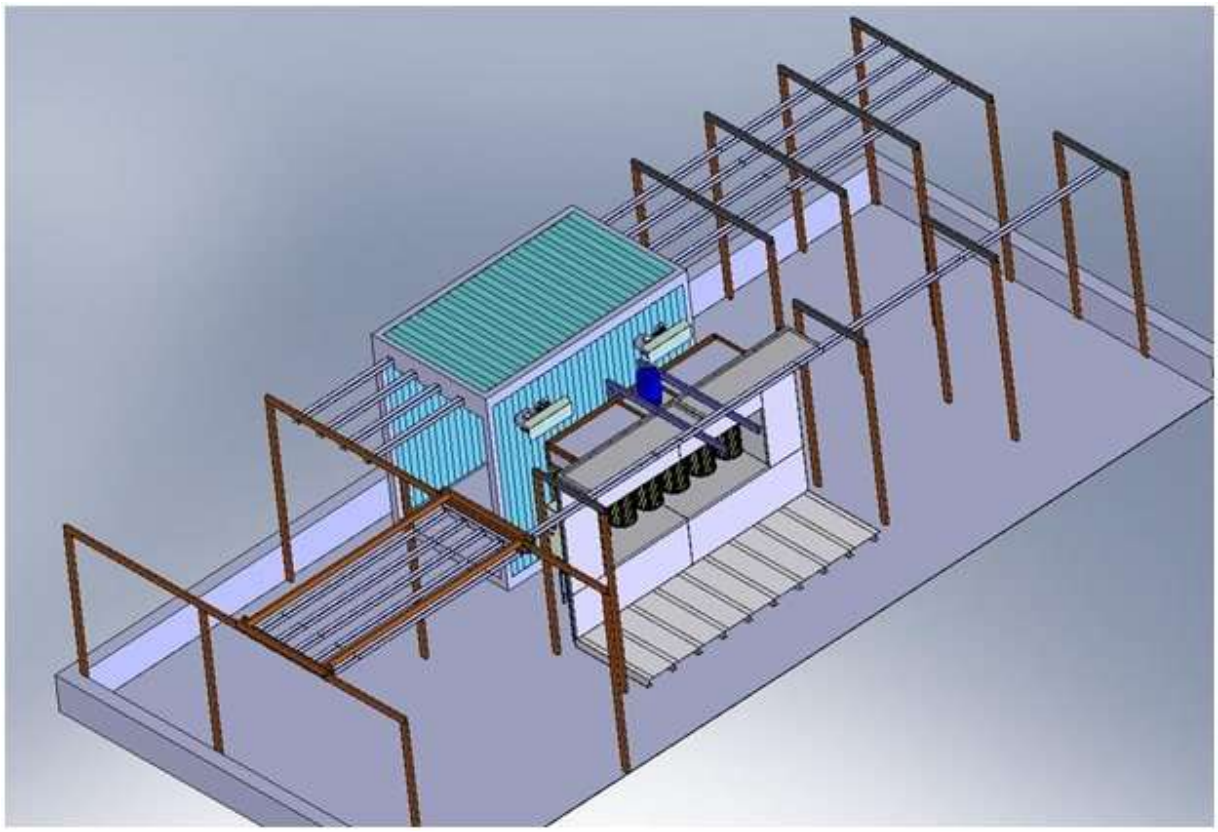


Рисунок 1.5 – Варіант компоновки з частково закільцьованою системою.

Нерідко номенклатура виробів, котрі фарбуються так, що основна їх частина має середні розміри, а інша частина – довгомірні або великогабаритні. У цьому випадку дуже ефективною є закільцьована система з двосекційною камерою полімеризації з незалежно або об'єднано працюючими секціями (Рис. 1.6). При цьому внутрішні довжини секцій можуть мати різні значення. Транспортувальні возики в цьому випадку мають довжину, що відповідають об'єднаній довжині камери та довжині однієї з секцій.

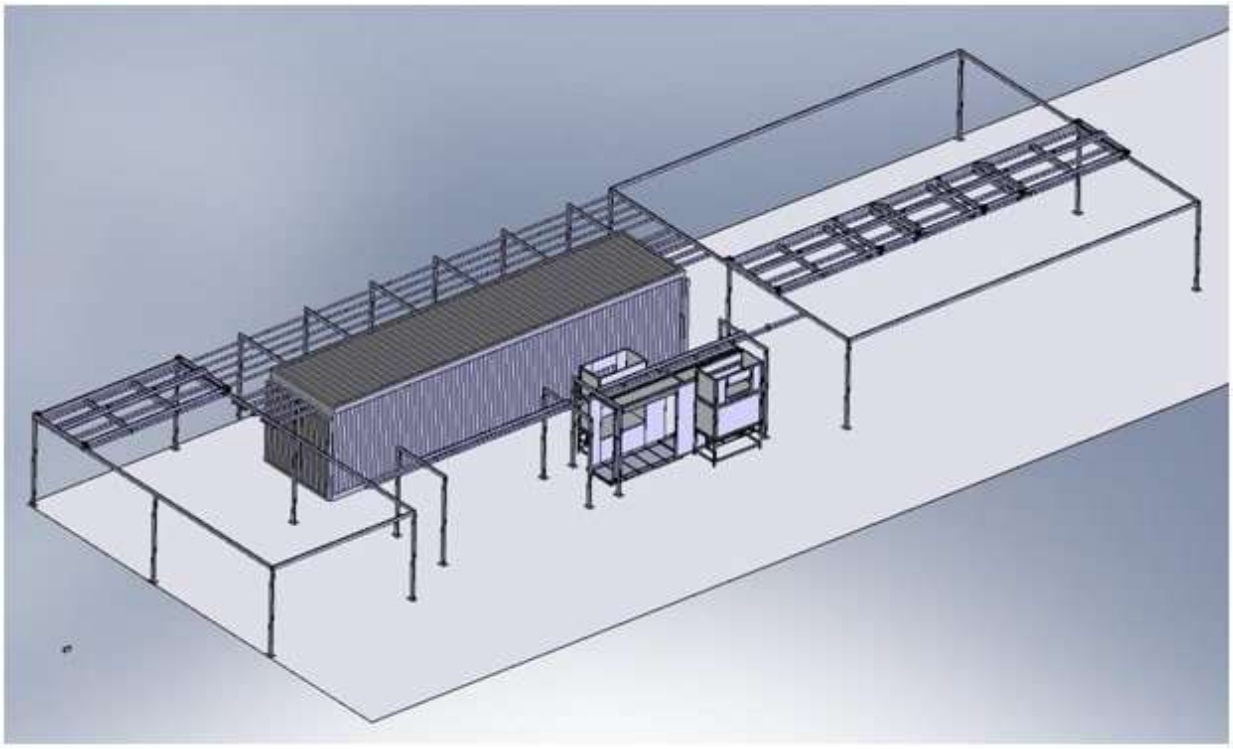


Рисунок 1.6 – Кільцева система з двосекційною камерою полімеризації

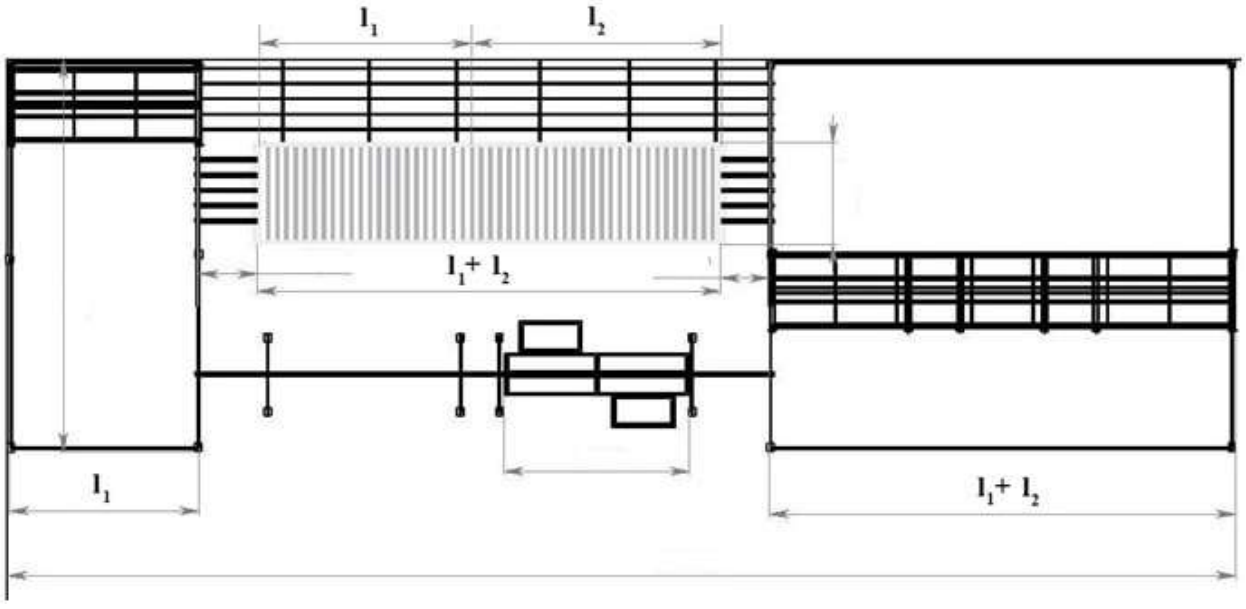


Рисунок 1.7 – Планування ділянки із закільцьованою системою з двосекційною камерою полімеризації

При фарбуванні великого кількості різнотипних виробів вищеописані транспортні системи з певним кількістю напрямних часто не є оптимальними з погляду щільності завантаження камер полімеризації. Іноді буває більш зручним двостороннє розміщення транспортувальних возиків, ширина та довжина яких трохи менша внутрішніх довжини та ширини камери полімеризації. На суцільних за розмірами возиках сітках вироби можуть оптимально та щільно навішуватися, а транспорті возики поперемінно повністю можуть заноситись у камеру полімеризації і, після затвердіння, цілком виводитись (Рис. 1.8).

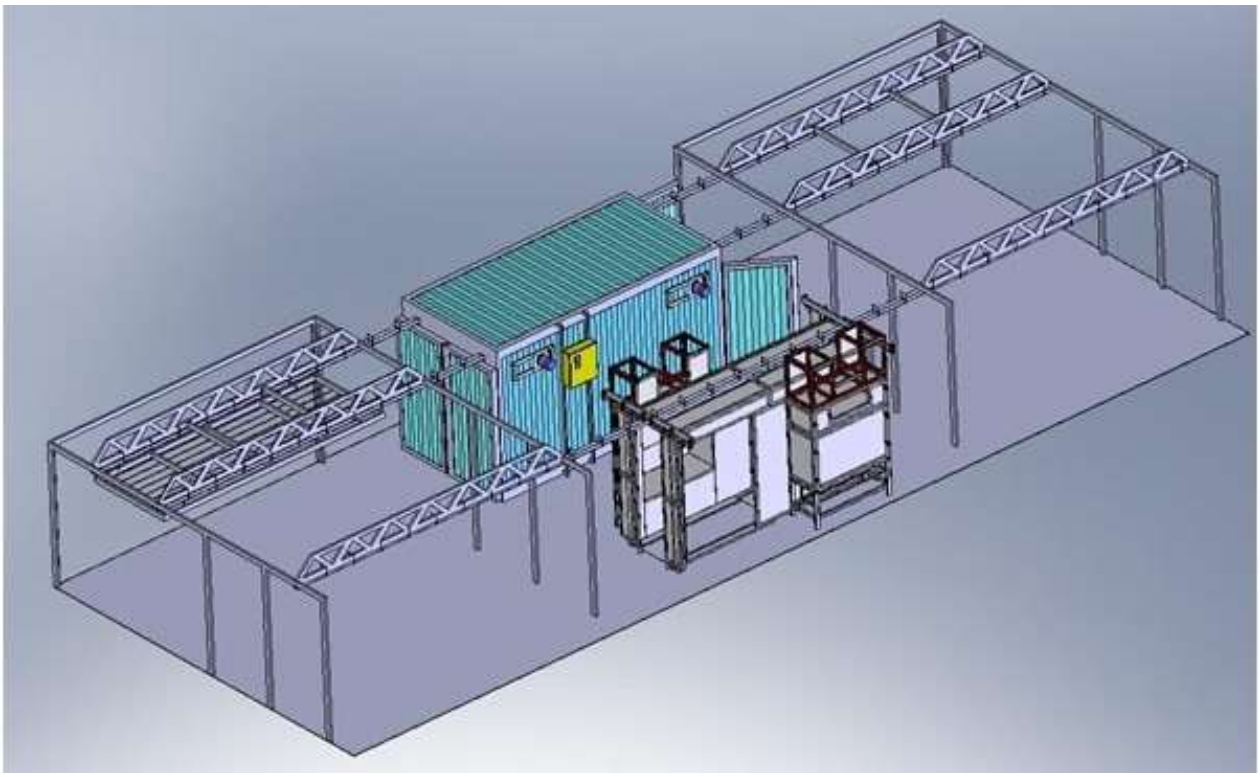


Рисунок 1.8 – Комплекс обладнання з двостороннім розташуванням транспортувальних віз

Подібна організація транспортної системи, очевидно, може мати різні варіанти, які можуть бути реалізовані при фарбуванні дрібних однотипних

виробів, коли вузьким місцем є камера напилення і необхідно встановити дві камери напилення (Рис.1.9, 1.10).

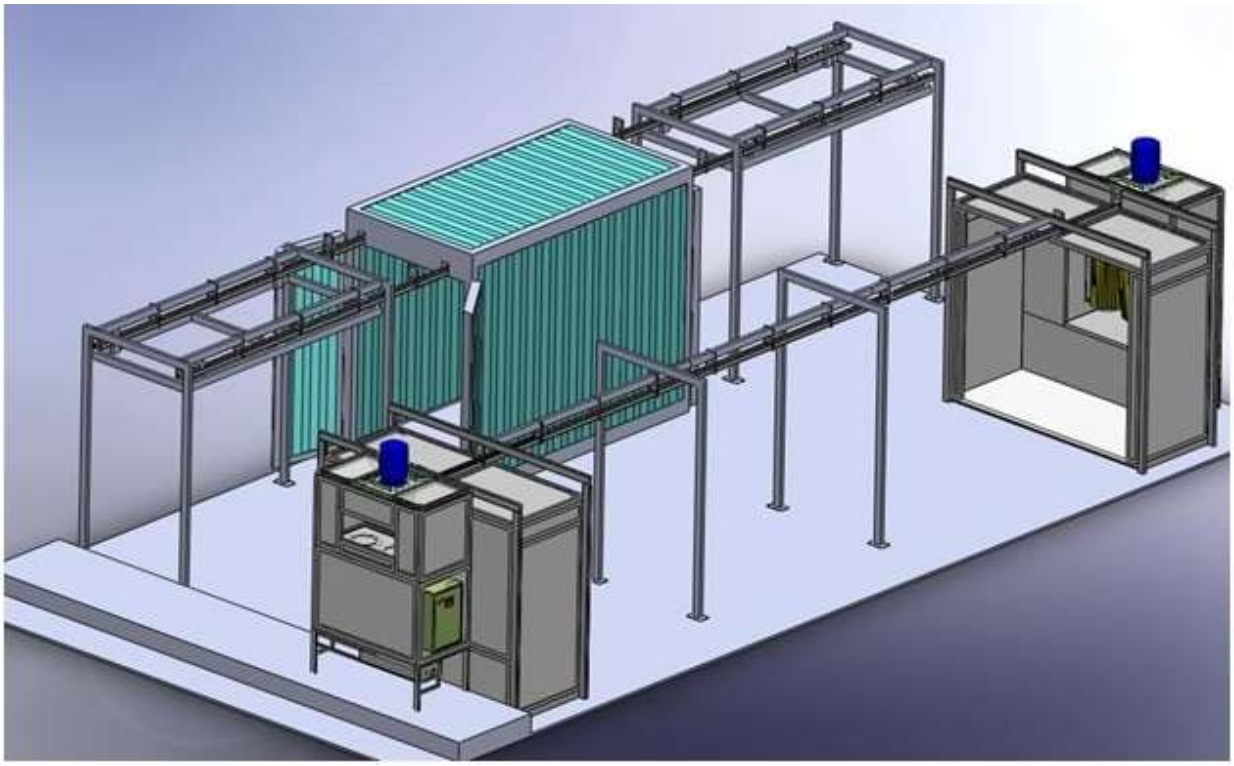


Рисунок 1.9 – Двостороннє завантаження з двома камерами напилення

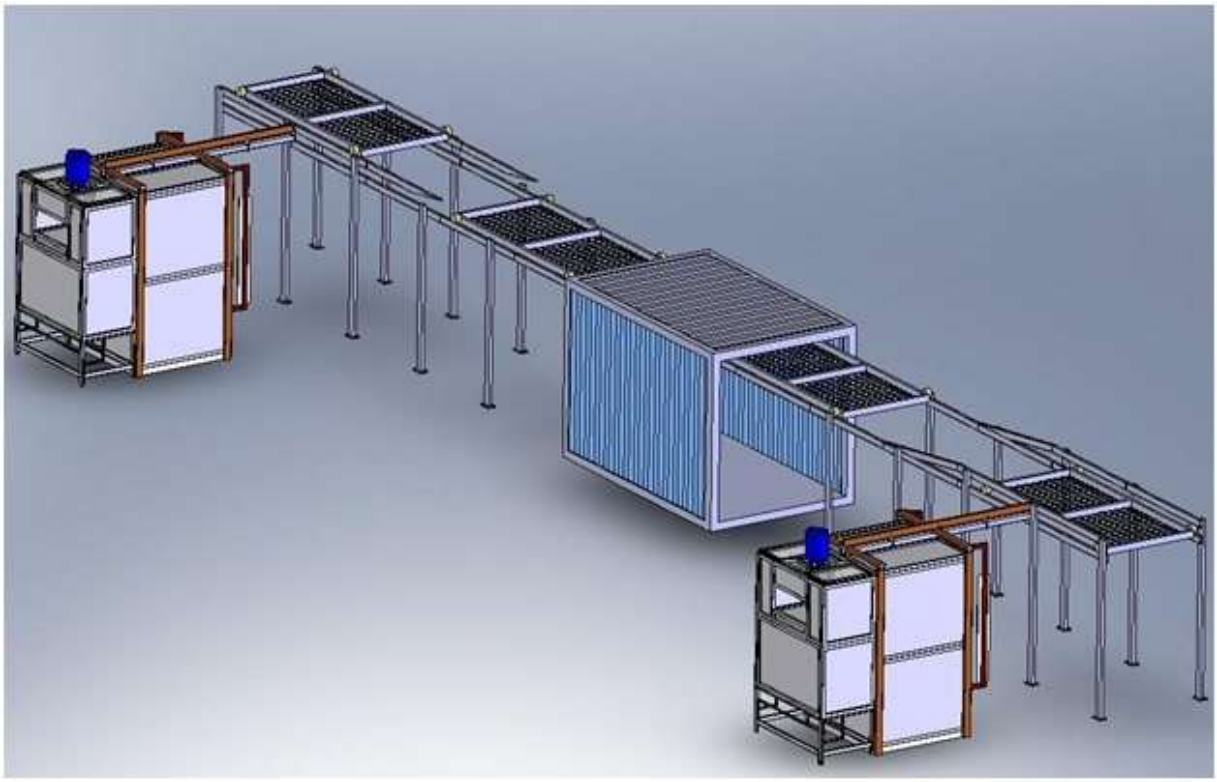


Рисунок 1.10 – Можливий варіант попереднього підвищення продуктивності

1.3.2 Камери порошкової фарбування

Основна мета будь-якої камери полімеризації – створити контрольований простір, де порошкова фарба наноситься ефективно, безпечно та економно. Це означає повну ізоляцію процесу від цеху, максимальний збирання та повернення в цикл не осілого матеріалу, а також суворе дотримання всіх норм охорони праці оператора.

Вибір типу камери – ключовий момент, що визначає всю логістику на ділянці фарбування. Існує кілька варіантів, кожен з яких перевірений роками практичного застосування.

1. Тупикові камери – це компактні та ефективні рішення для фарбування середніх та дрібних деталей. Ідеальні для обмежених просторів . Їх пріоритетна складова – багатоступенева система фільтрації. Повітря, що захоплює за собою частинки фарби, спочатку проходить через картриджні фільтри. Вони вловлюють до 99% порошку. Завершує очищення фінішний фільтр тонкого очищення HEPA/ULPA, що повертає в цех повітря бездоганної чистоти. Просте, але неймовірно результативне рішення.
2. Прохідні камери – призначені для інтенсивних, великих потоків негроміздких виробів. Вони організують процес у форматі конвеєра, мінімізуючи простої. Тут потрібні більш потужні вентилятори та системи вентиляції, ретельно продумана ергономіка робочих місць.
3. Здвоєні прохідні камери використовуються у випадках, коли є серйозні обсяги продукції, наприклад масове виробництво. Це вже складні технологічні комплекси. Потужні витяжні вентилятори створюють необхідну тягу для уловлювання великої кількості фарби. Щоб захистити дорогі картриджні фільтри та знизити експлуатаційні витрати, в якості першої ланки очищення використовується інтегрований у систему вентиляції циклон або мультициклон. Він утримує до 80-90% порошку,

направляючи його відразу в систему рекуперації для повторного використання . Це економічно дуже вигідне рішення .

За циклоном слідує блок картриджних фільтрів тонкого очищення. Їх кількість від 1 до 16 і більше . Кількість прораховується індивідуально, виходячи з розмірів камери, кількості фарбувальних постів та запланованої інтенсивності роботи. Ці фільтри автоматично очищаються імпульсним продуванням стиснутим повітрям . Спеціальний клапан швидкого вихлопу спрацьовує на частки секунди створюючи потужну зворотну хвилю, яка струшує порошок у піддон . Автоматика дбає про стабільність роботи .

Для фарбування дійсно великогабаритних конструкцій – металокаркасів, будівельної техніки, вагонів – оптимальні заселені камери. Оператор працює всередині, маючи повний доступ до виробу зі всіх сторін. Безпека та ефективність тут критично важливі. Заселена камера напилення в залежності від внутрішніх розмірів може мати один або два блоки фільтрів, – блок картриджних фільтрів з автоматичною системою очищення та фільтри тонкого очищення. Маса частини порошкової фарби, що не осіла, осідає в ящиках розташованих перед блоками фільтрів. циклонів. У камері нанесення порошкової фарби принцип роботи витяжний та припливний вентиляцій, аналогічний системі у традиційних фарбово-сушильних камерах – через фільтри, розташовані в стелі до камери надходить чисте повітря з цеху, а з нижньої частини камери, повітря рівномірно по горизонтальному перерізу витягується і пройшовши через циклон та блок фільтрів викидається у приміщення цеху.

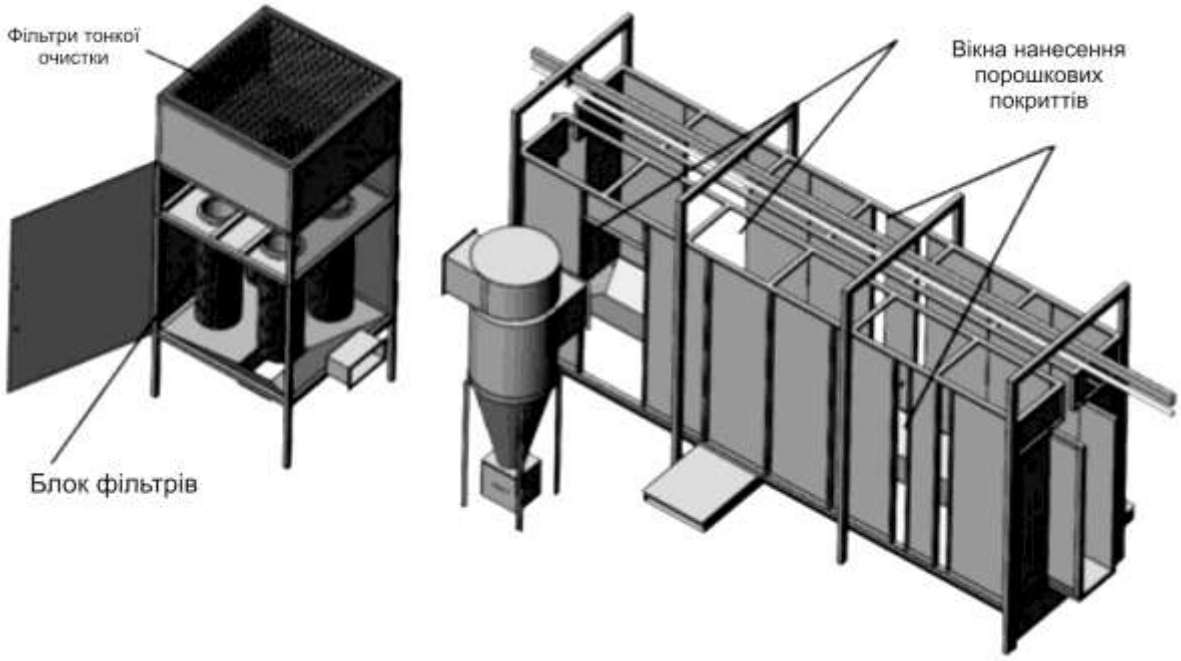


Рисунок 1.11 – Можливий варіант попереднього підвищення продуктивності камери порошкової фарбування

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Характеристика об’єкту керування, його призначення та умови роботи

Лінія покриття порошковими фарбами деталей, являється комплексом технологічного обладнання для нанесення порошкових полімерних матеріалів (ППМ) і призначена для фарбування виробів методом пневматичного і пневмоелектростатичного розпилення на конвеєрних лініях безперервної дії.

Спосіб нанесення покриттів в електростатичному полі оснований на використанні силової взаємодії електричних полів із зарядженим тонкодисперсним полімером і полягає в тому, що заряджені частинки порошку під дією сил електростатичного поля переміщаються до протилежно зарядженого виробу і осідають на його поверхні рівним шаром. Як відомо, полімерні матеріали володіють малою електропровідністю (питомий об’ємний опір складає 10^{10}–10^{18} Ом*см), електричний заряд, набутий частинкою порошку, не здатний повністю стекти на протилежно заряджений виріб, тому напилений шар порошку за рахунок електричного притягання і молекулярних сил утримується на поверхні тривалий час,достатній для переміщення виробу в нагрівальний пристрій, де забезпечується необхідна термообробка нанесеного шару.

2.2 Обладнання для пневмоелектростатичного напилювання.

Обладнання пневмоелектростатичного напилювання складне, і його обслуговування вимагає високої кваліфікації працюючих.

До складу обладнання входять:

- джерела високого напруження;
- іскрогасні і іскрозапобіжні пристрої;
- апарат зарядки порошкових полімерних матеріалів;
- камера розпилення з системою рекуперації порошку;

- агрегат очищення стислого повітря;
- піч оплавлення;
- транспортні пристрої.

Спосіб нанесення покриттів з порошкових матеріалів в електростатичному полі має вагомі переваги перед всіма вище описаними способами :

1) відсутність попереднього нагріву;
2) зниження втрат порошкового матеріалу в процесі напилювання до мінімума;
3) можливість отримання рівномірного за товщиною покриття на виробах складної конфігурацій;
4) можливість нанесення покриттів на вироби, виготовлені з матеріалу, що володіє деякою електропровідністю(в т.ч. дерево, пластмаса, скло, папір і т.д.);
5) можливість отримання покриттів з товщиною напиленого шару від 50 до 500 мкм;
6) можливість автоматизації процесу напилювання;
7) універсальність методу, висока продуктивність процесу.

Спосіб електростатичного напилювання порошкових фарб, розроблений порівняно недавно, являється багатообіцяючим і в даний час знаходить широке засосування в найрізноманітніших гілках промисловості.

Недоліки, характерні цьому способу (неможливість отримання покриттів з товщиною більше 200 мкм і не можливість нанесення суцільного покриття на вироби складної конфігурації), можуть бути усунені шляхом вдосконалення технології напилювання і розробки досконаліших розпилювально-зарядних пристроїв.

В даному випадку, спосіб електростатичного напилювання здійснюється при допомозі пістолетів, при цьому зарядження частинок порошку здійснюється шляхом пневматичного розпилення порошку в міжелектродному просторі.

Лінія покриття порошковими фарбами, яка знаходиться і експлуатується на ВАТ “ВАТРА ”, призначена для експлуатації у вибухонебезпечному приміщенні класу В-11а при температурі повітря від +5 ^{0}С до +40 ^{0}С при відносній вологості не більше 80%.

Лінія містить такі складові елементи:

- камера напилювання;
- камера фарбування,
- два тамбура,
- система рекуперації порошкової фарби,
- система просіювання фарби ,
- фільтр очистки повітря),
- камера оплавлення покриттів,
- сушильна камера,
- камера обезжирення і фосфатування,
- пульт керування,
- підвісний штовхаючий конвеєр,
- відсік завантаження-вивантаження.

Зупинимось детальніше на конструктивних та експлуатаційних особливостях камері оплавлення.

2.3 Автоматизована лінія нанесення порошкових покриттів та її призначення.

Нанесення порошкових фарб на даній лінії використовується для покриття деталей світильників таких як “ЛСП02В”, “ЛПЛ04В”, “ЛПП04В”, “ВЕКТОР-2”, “ОНІКС ” та ін.

Виріб – відбивач світильника “ЛСП02В” – призначений для експлуатування як в атмосферних умовах, так і всередині приміщень. Властивості матеріалу визначаються умовами експлуатування, клімату, захисних властивостей покриття.

Відбивач світильника виготовляється з листового матеріалу Б-ПН-0,5 ГОСТ19904-74/5-11-Н-08КП ГОСТ16523-70.

Хімічне знежирювання матеріалу виробу проводиться з використанням натрію їдкого технічного ТД – твердий діафрагмований (ГОСТ 2263-79).

Покриття – хімічне фосфатування здійснюється з використанням фосфатуючих концентратів:

- амоній молібденово-кислий (ГОСТ 3765-78);
- кислота ортофосфорна, термічна (ГОСТ 10678-76).

Впровадження процесів напилювання полімерів і олігомерів значно поліпшує умови праці в порівнянні з нанесенням лакофарбових, гальванічних і інших матеріалів. Однак способи напилювання пов'язані із застосуванням речовин шкідливих і пожежонебезпечних при певній концентрації. Крім того, роботи по напиленню ведуться з використанням електричного і механічного обладнання, а також струму високої напруги. Тому з метою запобігання травмам, професійних захворювань і пожеж необхідно виконувати наступні правила.

2.4 Аналіз технологічного процесу напилювання покриттів

Технологічний процес напилювання покриттів з порошкових полімерних композицій складається з наступних основних операцій:

- підготовка композиції до напилювання;
- підготовка поверхні виробу;
- ізоляція місць, що не підлягають напиленню;
- ґрунтування;
- попередній нагрів виробу;
- нанесення порошкової композиції;
- оплавлення шару порошку;
- затвердіння покриття;
- охолоджування покриття;
- контроль.

Для конкретного виробу схема технологічного процесу може включати не всі перераховані операції, вона залежить від вигляду покриття і вибраного способу напилювання. При нанесенні покриттів на основі полівінілбутираля, епоксидних, поліефірних смол і інших полімерів, що володіють високої адгезією, не проводиться грунтування. У разі напилювання покриттів електростатичними методами відпадає необхідність в попередньому нагріві виробів. Використання композицій на основі термопластів виключає операцію затвердіння.

До виробів, що підлягають операції напилювання порошкового покриття пред'являються наступні вимоги:

1. Вироби повинні витримувати технологічний нагрів. Температура залежить від вигляду покриття і може досягати 120-420 °С.
2. Поверхня виробу не повинна мати завусинець, гострих кромок (радіусом менше за 0,3 мм), набрисків від зварювання, напливів після паяння, пропалів, залишків флюсів. У разі напилювання на поверхню деталей, що формуються литтям, на ній не допускаються порушення суцільності металу (раковини, тріщини, спаї і ін.), а також нерівності у вигляді приливів, складок.

Для реалізації процесу нанесення порошкового покриття, враховуючи властивості матеріалу, забезпечення продуктивності і обсягу виробництва в умовах автоматизації необхідно застосувати наступне основне обладнання обладнання:

- агрегат хімічної очистки поверхні;
- агрегат сушки від вологості;
- автоматична установка фарбування порошковими фарбами, що містить пристрій для фарбування деталей і системи рекуперації, або агрегат пневмоелектростатичного розпилення і установка зарядки порошків полімерів;
- камеру оплавлення порошкової фарби індуктивну або конвекційну;
- камеру охолодження.

Застосування агрегату пневмоелектростатичного розпилення дозволяє створювати покриття на виробах будь-якої конфігурації з високою якостю покриття. Використання автоматичної установки окраски з використанням трибостатичного ефекту дозволяє не використовувати установка зарядки порошків полімерів та джерела високої напруги, що приведе до значної економії електроенергії та витрат пов'язаних з використанням додаткового обладнання, отже вибираємо останнє.

Так як технічні умови вибраного покриття не вимагають високих температур оплавлення більш доцільно застосувати конвективний спосіб нагріву та оплавлення, що в порівнянні з індукційними та терморадіаційними є менш енергоємким, отже економічно ефективним.

Можливе застосування камери охолодження, застосування порівняно невеликих температур оплавлення дозволяє не використовувати дане обладнання, але вимагає збільшення часу транспортування виробів до їх повного охолодження, що в загальному приведе до зниження собівартості одиниці продукції.

Враховуючи вищенаведене – технологічний процес порошкового покриття включає наступні операції:

Таблиця 2.1 – Операції технологічного процесу напилювання порошкових фарб.

Операція	Найменування операції
005	Захист поверхні, яка не підлягає фарбуванню
010	Монтаж деталей на підвіску
015	Монтаж підвіски на конвеєр
020	Хімічне знежирювання
025	Промивка в теплій воді
030	Контроль якості знежирювання
035	Фосфатування
040	Промивка в теплій воді
045	Сушка

Операція	Найменування операції
050	Напилювання порошкової фарби
055	Підфарбовування
060	Оплавлення порошкової фарби
065	Демонтаж підвісок з конвеєра
070	Демонтаж деталей з підвісок
075	Зняття ізоляції
080	Контроль

Технічне нормування розробленого технологічного процесу автоматизованого виробництва.

Монтаж деталей на підвіску:

рукавиці трикотажні- ГОСТ 5007-87

Монтаж підвіски на конвеєр:

рукавиці тип Б- ГОСТ 12.4.010-75

Хімічне знежирювання:

натр їдкий технічний TD 1сорт- ГОСТ2263-79

Промивка в теплій воді:

питна вода- ГОСТ 2874-82

Фосфатування:

емульгаторОП7.ОП-10 – ГОСТ 8433-81

амоній молібденовокислий- ГОСТ 3705- 78

кислота ортофосфорна- ГОСТ 106-78

Напилювання порошкової фарби:

стиснене повітря- ГОСТ 9.010-8

Упаковка деталей :
папір обгортковий 1-7 - ГОСТ 8273-75

Зачистка місця контакту підвіски з деталлю :
напильник 2820 –0066 – ГОСТ 1465-80
молоток 7850 – 0101 – ГОСТ 2310-77

Колір і зовнішній вигляд візуально :
зовнішній вигляд – ГОСТ 9.032-74
адгезія покриття - ГОСТ 15140-78
товщина покриття – ГОСТ 16875-75
міцність покриття при ударі – ГОСТ4765-73

2.5 Підготовка поверхні виробу до обробки

2.5.1 Підготовка поверхні виробу

Підготовка виробу перед напилюванням полягає в очищенні його поверхонь від жирових забруднень і окисів і включає обезжирення, видалення окисів і нанесення конверсійних покриттів.

Тривалість перерви між підготовкою поверхні і напилюванням (грунтуванням) при зберіганні виробів в приміщенні при нормальних умовах не повинна перевищувати 24 год., при наявності конверсійних покриттів (фосфатних, оксидних і інших хімічно освічених плівок солей і оксидів) – 72 год. При зберіганні на відкритому повітрі тривалість перерви скорочується відповідно до 6 і 18 год. На відкритому повітрі зберігання допускається при температурі не нижче за 5 °С і при відсутності атмосферних опадів.

Обезжирення. Проводять органічними розчинниками, найменше небезпечними в пожежному відношенні (тетрахлоретиленом, трихлоретиленом, і іншими хлорованими вуглеводнями), а також миючими лужними складами. Вироби з III мірою обезжирення поверхні напиленню не підлягають.

Для оцінки міри обезжирення по розриву плівки води знежирений зразок (виріб) занурюють в дистильовану воду або розпилюють на поверхню виробу розчин, що містить 50 г нігрозину на 1 л дистильованих води. Час до розриву плівки (в с.) характеризує міру обезжирення поверхні.

Оцінку по масляній плямі проводять таким чином. На поверхню виробу наносять 2-3 краплі бензину, витримують 15 хв., потім шматок фільтрувального паперу притискують до випробуваної ділянки і залишають до повного вбирання бензину. На інший шматок фільтрувального папери також наносять 2-3 краплі бензину і витримують до їх випаровування. Шматки порівнюють, і по наявності або відсутності масляної плями дають оцінку міри обезжирення.

Як органічні розчинники для виробів з чорних металів рекомендується трихлоретилен, а з алюмінієвих і магнієвих сплавів - тетрахлоретилен. Обезжирення проводять методом занурення, розпилення або в парах розчинників.

Лужне обезжирення здійснюють за допомогою готових до вживання миючих засобів КМ-1, МЛ-52, КМЭ-1, МС-6 і інших методами занурення і розпилення.

Видалення оксидів. Оксиди видаляють травленням і абразивною обробкою, якість очищення від оксидів для кольорових металів не встановлюється.

Травлення проводять розчинами кислот методом занурення або розпилення. Травлення забезпечує I-II ступінь очищення поверхонь від оксидів.

Абразивну обробку рекомендують для виробів при товщині металу 3 мм і більше. Обробка виробів меншої товщини допускається при умові збереження виробами геометричної форми.

Для абразивної обробки кольорових металів використовується тільки кварцовий пісок, для чорних металевий або чавунний дріб.

По закінченні абразивної обробки виріб обдувають стислим повітрям до повного видалення пилу, що утворився. Абразивна обробка, як і травлення,

забезпечує I-II ступінь очищення від оксидів. Вироби, що поступають на обробку абразивом, повинні бути знежирені.

Нанесення конверсійних покриттів. Фосфатування забезпечує отримання на поверхні металів нерозчинних фосфорнокислих сполук у вигляді фосфатних плівок. Перевага фосфатування в порівнянні з абразивною обробкою полягає в тому, що нарівні з шорсткістю поверхні плівка, що утворюється володіє антикорозійними властивостями, що збільшує захисні властивості покриттів сповільнює корозію при порушенні суцільності покриття. Товщина фосфатної плівки становить 3-5 мкм; жаростійкість до 500-600 °С.

Фосфатуванню піддають в основному вироби з сталі. Для підготовки поверхонь під порошкове покриття рекомендують аморфні фосфати із залізофосфатним складом КФА-1 і циклофосфатними сполуками КФ-2 і КФ-4.

Пасивування і хімічне оксидування. Пасивування досягається за рахунок додання в знежирюючі розчини хроматів або обробкою розчином нітриту натрію. Пасивування підвищує корозійну стійкість полімерних покриттів.

Оксидування проводять в розчинах хромового ангідриду, хромпіка з добавками кислот і інших сполук. Оксидні плівки служать прекрасними грунтовками, володіють високими захисними і електроізоляційними властивостями. Використовуються в основному для алюмінію, алюмінієвих і магнієвих сплавів. Товщина плівок досягає 3-20 мкм; жаростійкість біля 1500°С.

Нанесення оксидних плівок електролітичним методом носить назву анодного оксидування.

При виборі схеми, матеріалів, режиму процесу і обладнання для підготовки поверхні перерахованими способами (це залежить від початкового стану поверхонь, умов експлуатації покриттів, металу і конструктивних особливостей виробу) потрібно керуватися ГОСТ 9.025-74 "Підготовка металічних поверхонь перед фарбуванням" і ОМРТМ 7312-010-78 "Фарбування металічних поверхонь".

При підготовці до напилювання виробів, виготовлених з металевих і неметалічних матеріалів, наприклад трансформаторів, котушок індуктивності і інших електротехнічних виробів, підготовка поверхонь зводиться до очищення їх від механічних забруднень стислим повітрям, обезжиренню в органічному розчиннику і сушці на повітрі.

2.5.2 Ізоляція місць, що не підлягають напиленню

Окремі ділянки поверхні виробів, на яких не повинно бути покриття (і контактні частини, що труться, отвору різьблення, поглиблення і , захищають за допомогою спеціального пристосування, шаблонів, а також накладенням масок з алюмінієвої фольги, листів кремнійорганічної гуми або нанесенням 20% розчину каучуку СКТН в бензині, силіконового клею, змазки ЦИАТИМ-221.

У разі нанесення покриттів електростатичними способами пристосування, шаблони і маски потрібно знімати перед приміщенням виробу в піч оплавлення. При електростатичних способах порошок з окремих дільниць виробу може бути також видалений механічним шляхом, наприклад пензликом або за допомогою пилососа, забезпеченого набором насадок, по розмірах і конфігурації відповідним місцям, що непокриваються. Останній спосіб найбільш ефективний при необхідності маскування різьбових знаків.

Перед початком роботи підвіски, пристосування, шаблони і інші деталі оснащення, на які може попасти порошкова полімерна композиція, потрібно обробити 20% розчином каучуку СКТН в бензині. Його готують розчиненням СКТН в бензині при перемішуванні. Розчин наносять в 1-2 шари кистю або розпиленням. Тонкі плівки покриття, що Утворюються при цьому володіють високою термостійкістю і прекрасними антиадгезійними властивостями: покриття, що попали на поверхню оснащення, обробленого розчином каучуку, мимовільно розтріскуються, частково відшаровуються і можуть бути легко видалені. Відновлювати антиадгезійне плівки слідує після 10-20-кратного використання оснащення. Кожний шар сушать протягом 10-15 хв на повітрі.

У ряді випадків використання СКТН виключає необхідність відпалу підвісок і пристосування з метою їх очищення.

2.5.3 Ґрунтування.

Грунтування проводять в тих випадках, коли плівкоутворюючий полімер володіє зниженою адгезією до матеріалу виробу. До таких полімерів відносяться: полівінілхлорид, фторопласти, в меншій мірі пентапласт і поліаміди.

Збільшення адгезії досягають різними шляхами. У разі використання як грунтовочного шару фосфатних плівок або абразивної обробки за рахунок створення більшої шорсткості, т. е. збільшення площі істинної поверхні виробу за рахунок мікронерівностей. Це збільшення площі приводить до збільшення площі фактичного контакту між розплавом полімеру і поверхнею і підвищує адгезію покриттів незалежно від природи адгезійних зв'язків.

При використанні еластичних або високонаповнених грунтовочних сполук збільшення адгезії пов'язане із зменшенням внутрішніх напружень на кордоні контакту полімеру з твердою поверхнею.

2.6 Характеристика об’єкту управління, призначення, умови роботи

Розглядувана лінія покриття порошковими фарбами деталей, являється комплексом технологічного обладнання для нанесення порошкових полімерних матеріалів (ППМ) і призначена для фарбування виробів методом пневматичного і пневмоелектростатичного розпилення на конвеєрних лініях безперервної дії.

Спосіб нанесення покриттів в електростатичному полі оснований на використанні силової взаємодії електричних полів із зарядженим тонкодисперсним полімером і полягає в тому, що заряджені частинки порошку під дією сил електростатичного поля переміщаються до протилежно зарядженого виробу і осідають на його поверхні рівним шаром. Як відомо,

полімерні матеріали володіють малою електропровідністю (питомий об'ємний опір складає 10^{10}–10^{18} Ом*см), електричний заряд, набутий частинкою порошка, не здатний повністю стекти на протилежно заряджений виріб, тому напилений шар порошка за рахунок електричного притягання і молекулярних сил утримується на поверхні тривалий час,достатній для переміщення виробу в нагрівальний пристрій, де забезпечується необхідна термообробка нанесеного шару .

Лінія покриття порошковими фарбами, яка знаходиться і експлуатується на ВАТ "ВАТРА", призначена для експлуатації у вибухонебезпечному приміщенні класу В-11а при температурі повітря від +5 ^{0}С до +40 ^{0}С при відносній вологості не більше 80%.

Лінія містить такі складові елементи:

1. камера напилювання (камера фарбування, два тамбура, система рекуперації порошкової фарби, система просіювання фарби, фільтр очистки повітря),
2. камера оплавлення покриттів,
3. сушильна камера,
4. камера обезжирення і фосфатування,
5. пульт керування,
6. підвісний штовхаючий конвеєр,
7. відсік завантаження-вивантаження.

Зупинимось детальніше на на камері оплавлення.

В конвективних сушильних установках передача теплоти лакофарбовому матеріалу, що знаходиться на виробі, здійснюється за рахунок безпосереднього його контакту з нагрітим повітрям, що циркулює в камері. Теплоносієм в установках є вода, пара, газ або електроенергія.

Конвективні сушильні установки представляють собою камери тунельного або тупикового типу, що складаються з корпуса, тепловентеляційних агрегатів, витяжних пристроїв, системи контролю і автоматичного регулювання.

Корпус камери може бути зварним або збірно-розбірним, і складається з металевого каркасу, який обшитий теплоізоляційними панелями. Панелі виготовляються у вигляді пустотілих щитів з двійними стінками з листової сталі, а простір між ними заповнюють негорючим теплоізоляційним матеріалом, частіше всього мінеральною або скловатою, схема розміщення панелей і теплоізоляція камери поз. 5.

Такі панелі складаються оболонки – оцинкованих стальних листів товщиною 1,0-1,2 мм, з'єднаних спеціальними замками, і теплоізоляції у вигляді мінераловатних плит. Ущільнення стиків панелей здійснюється шаром герметика. Панелі виготовляються товщиною 80-120 мм з таким розрахунком, щоб температура зовнішньої поверхні стінок корпуса не перевищувала 45 ^{O}C.

Камери прохідного типу використовують при масовому і крупносерійному виробництві. Завантаження і розвантаження виробів в них здійснюється безперервно за допомогою конвеєра без відключення установки.

2.6.1 Будова і принцип роботи камери оплавлення

У нашому випадку розглядається камера прохідна, двоходова тунельного типу, безперервної дії з одностороннім розміщенням проємів для входу і виходу виробів.

Камера являє собою металоконструкцію, яка зварена з швелера і листового прокату в вигляді естакади. Естакада встановлюється і закріплюється на фундаменті фундаментними болтами. До естакади (рами) приварений каркас, який виконаний з стандартного кутника, для розміщення панелей та теплоізоляції камери. Основа камери утеплена керамзитом і теплоізоляційними панелями, в якій виконані отвори для проходження патрубків з'єднання вентиляторів і калориферів з повітропроводами камери. Під естакадою (рамою) розміщено 8 вентиляторів і калориферів для нагріву і циркуляції повітря до досягнення заданої температури згідно з технологічним процесом.

Всередині камери розміщені повітропроводи для всмоктування і подачі повітря при циркуляції.

Всередині, в верхній частині камери розміщується транспортний конвеєр для транспортування підвісок з деталями при оплавленні порошкової фарби на поверхні деталей. Траса конвеєра має захист для попередження від вибуху при оплавленні порошкової фарби.

По ходу руху конвейєра вона має вхідний і вихідний тамбури. Тамбур забезпечує скорочення теплових втрат через відкритий транспортний проєм, зниження перепадів температур при вході і виході виробів, запобігає проникненню забрудненого повітря в приміщення цеху. Тамбур відділений від зон сушки теплоізоляційними діафрагмами і обладнаний повітряною завісою (нагнітаючого типу). Повітряна завіса тамбура складається з вентиляторів з електродвигунами в вибухобезпечному виконанні і повітрепроводами.

Вибухобезпечна концентрація парів розчинників в камері забезпечується викидом в атмосферу частини забрудненого повітря і підкачкою свіжого. Видалення забрудненого повітря здійснюється через повітрепровід витяжної системи. Підсос свіжого повітря здійснюється через транспортні проєми та вентиляторами нагнітання повітря через повітряні фільтри.

Рецеркуляція повітря здійснюється за допомогою вентиляторів з електродвигунами, продуванням його через калорифери, повітропроводами.

Конвективні сушильні установки обладнуються системою контролю температури і автоматичного регулювання, що забезпечує підтримку температури рецеркуляційного повітря в заданих межах, а також блокування, яке не допускає ввімкнення нагрівних приладів (калориферів) при виключеній вентиляції. Температура контролюється і регулюються приладами, що працюють з термопарами. Для контролю роботи вентиляторів на нагнітаючих дільницях повітропроводів встановлюються давачі перепаду тиску типу ДПТ.

В сушильних установках також розміщуються сигналізатори вибухонебезпечних концентрацій розчинників типу СВК-3М-1, що забезпечують відключення калориферів і припинення подачі виробів в камеру при перебільшенні концентрації розчинників.

Камера має сім зон контролю і регулювання температури, яка встановлюється згідно з технологічним процесом.

Контроль і регулювання температури відбувається з пульта керування, який встановлюється в приміщенні контрольно- вимірювальних приладів (КВП).

Для забезпечення гранично допустимих концентрацій (ІДК) шкідливих речовин і вибухонебезпечних сумішей камера обладнана витяжним вентелятором, який встановлюється окремо згідноз будівельними кресленнями.

2.6.2 Технічні характеристики камери оплавлення

Основні параметри і розміри камери подані в таблиці 2.2 .

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики камери оплавлення

№ п/п	Назва параметрів	Значення
1	Продуктивність камери, $м^2$/год	90
2	Швидкість конвеєра, м/хв, не більше	0,8- 1,0
3	Крок підвіски, мм, не більше	800
4	Час оплавлення порошку, хв	20- 30
5	Габаритні розміри підвіски, мм, не більше довжина ширина висота	 1600 600 600
6	Вага підвіски, кг, не більше	30
7	Температура оплавлення ,°С	160- 200
8	Перепад температур по висоті і довжині сушила,°С, не більше	10
9	Номіналь напруга, В	220/380
10	Частота струму живлення, Гц	50
11	Встановлена потужність, кВт, не більше	530

12	Габаритні розміри камери, мм, не більше	
	довжина	16960
	ширина	6000
	висота	6100

2.6.3 Принцип роботи.

В принципі роботи камери застосовано нагрів повітря ТЕНами, які встановлені в калорифері, і циркуляція нагрітого повітря вентиляторами і повітропроводами.

Нагрів поверхні виробів і оплавлення порошкової фарби здійснюється контактною передачею тепла від гарячого повітря, яке циркулює.

Всередині камери розміщені повітропроводи для всмоктування і подачі повітря при циркуляції.

Всередині, в верхній частині камери розміщується транспортний конвеєр для транспортування підвісок з деталями при оплавленні порошкової фарби на поверхні деталей. Траса конвеєра має захист для попередження від вибуху при оплавленні порошкової фарби. Камера має сім зон контролю і регулювання температури, яка встановлюється згідно з технологічним процесом.

В зоні нагріву деталей розміщено 8 термопар, для вимірювання температури внутрішнього середовища. Для захисту при критичних температурах безпосередньо біля ТЕНів розміщено 8 запобіжних датчиків температури.

Контроль і регулювання температури відбувається з пульта керування, який встановлюється в приміщенні контрольно- вимірювальних приладів (КВП).

Для забезпечення гранично допустимих концентрацій (ІДК) шкідливих речовин і вибухонебезпечних сумішей камера обладнана витяжним вентелятором, який встановлюється окремо згідноз будівельними кресленнями. Циркуляція прогрітого повітря у межах камери показана на рис. 2.1.

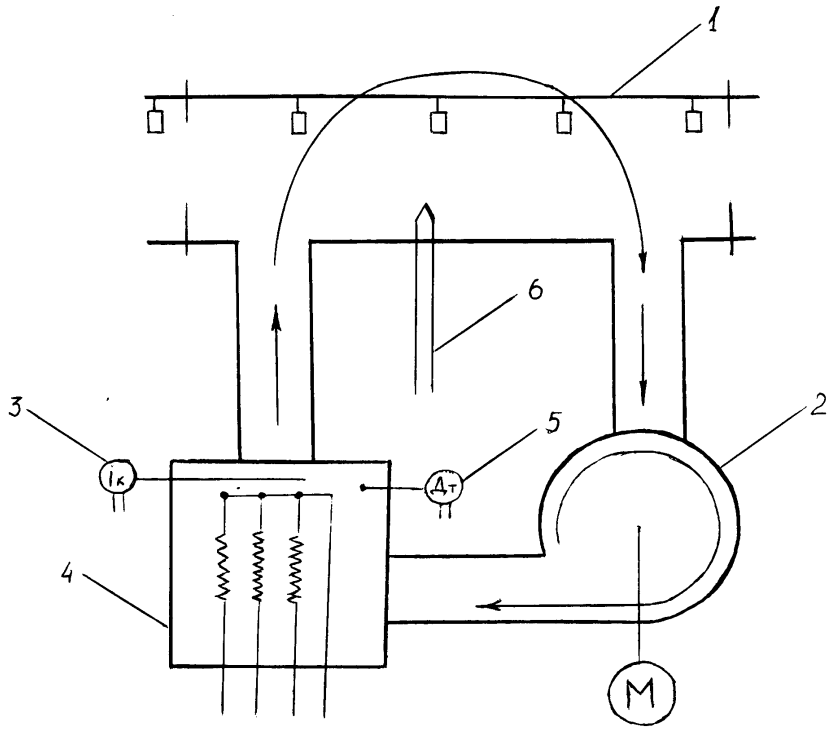


Рисунок. 2.1 – Схема циркуляції повітря у камері оплавлення тунельного типу. *1- конвеєр; 2 - вентилятор; 3- датчик критичної температури; 4 – калорифер; 5 – датчик тяги; 6 - термопара*

При виникненні критичного стану апаратне забезпечення системи керування відключає необхідні об'єкти керування незалежно від стану процесора. Процесор в свою чергу має можливість через деякий час проаналізувати причину критичної ситуації і прийняти рішення, повторний запуск даного об"єкта чи аварійне продовження роботи лінії для її зупинки з видачею відповідних сигналів на пульт керування.

2.6.4 Циклограма роботи автоматизованої виробничої системи.

Процес оплавлення відбувається при безперервному транспортуванні деталей Для отримання якісного покриття технічні умови оплавлення порошкової фарби передбачають час оплавлення 30 хв (T_o=30) при температурі 150-165 ^{O}C, тому з спроектованих габаритів обладнання отримуєм швидкість транспортування деталей 0,9-1 м/хв. Ккамера оплавлення може перебувати у двох основних станах,які і вказані у циклограмі- це робочий стан (вкл.) і не

робочий (викл.), останній виникає у випадку подачі команди оператора або ж при виникненні аварійної ситуації автоматично.

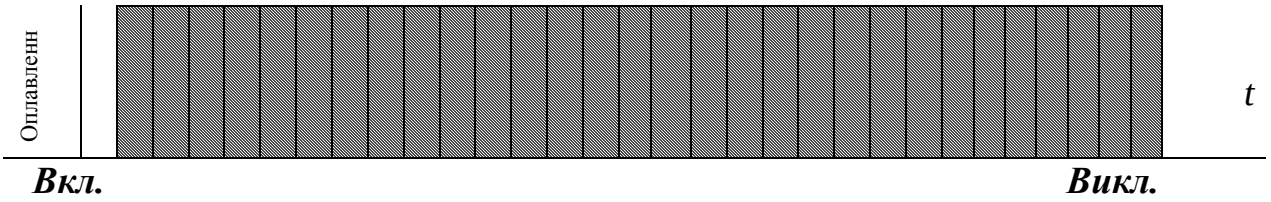


Рисунок 2.2 – Циклограма роботи лінії порошкового покриття деталей.

2.7 Обладнання, що входить у автоматизовану виробничу систему та його показники

Оребрені трубчасті електронагрівальні виконуючі пристрої призначені для нагрівання повітря і неагресивних газів у сушильних камерах, опалювальних і технологічних калориферах і інших електронагрівальних пристроях. Вони мають високорозвинену тепловіддаючу поверхню, надійні при вібраціях і великих питомих навантаженнях, корпус нагрівача не знаходиться під напругою.

При використанні оребрених нагрівачів для опалювальних цілей температура на поверхні ребер (по вимогах сантехніки і гігієни) не повинна перевищувати 150° С. При температурі вище 150° С починається, підгоряння пилу, підвищується інфрачервоне випромінювання, а також з'являються інші небажані явища, що негативно впливають на комфортні умови приміщення, що обігрівається.

При застосуванні нагрівачів у сушильних камерах, калориферах і ін. технологічних пристроях температура на поверхні ребер може бути збільшена до 400° С. При більш високій температурі істотно знижується термін служби нагрівача, а в деяких випадках відбувається розплавлювання ребристої сорочки в місцях зі зниженим теплообміном.

Оребрені нагрівачі можуть бути застосовані: у нагрівальних пристроях радіаторного типу, у яких теплообмін здійснюється за рахунок природної циркуляції повітря (температура на оребрені нагрівача 150° С); у калориферах

для опалення і вентиляції приміщень із примусовим обдувом; нагрівачів (температура на оребрении 150°С) і в калориферах, повітряно-нагрівальних і ін.. технологічних пристроях із примусовим обдувом нагрівачів (температура на оребренні – 400° С).

2.8 Конструкція

Оребрений трубчатий електронагрівник 1 (рис.2.3) складається з двох основних частин: власне ТЕНа і ребристої, сорочки з розвиненою тепловіддаючою поверхнею, яка щільно, без зазору охоплює ТЕН. Ребриста сорочка виконана з м'якого алюмінієвого сплаву марки АД-ІМ, температура плавлення якого 600° С.

Трубчатий електронагрівник складається з тонкостінної сталевої трубки, в середині якої по осі розташована спіраль із дроту високого омічного опору надіваються керамічні ізолятори, металічні діаметром від 0,2 до1,5 мм. Кінці спіралі з'єднані з вивідними контактними стержнями.

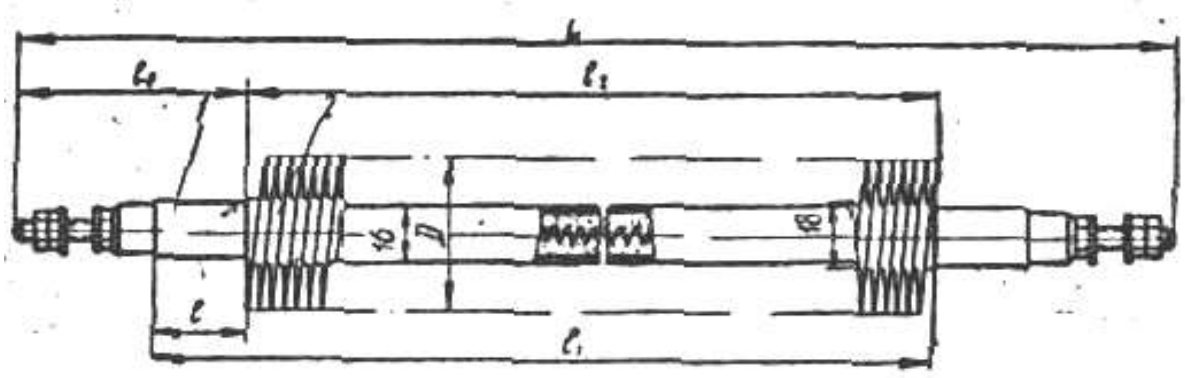


Рисунок 2.3 – Оребрений трубчатий електронагрівник.

1–трубчатий електронагрівальний елемент; 2–тепловіддаюча ребриста сорочка.

Внутрішній простір трубки заповнений периклазом. (кристалічним окисом магнію), що є, з одного боку – добрим електроізолятором, а з іншого – гарним провідником тепла від спіралі до трубки. Торці трубки заливають вологонепроникним термостійким лаком (герметиком). Контактні виводи, на яких розміщено шайби і гайки, виготовляються зі сталевого дроту. Кріпильні деталі (шайба і гайка) забезпечують фіксацію ізолятора і кріплення струмопідвідних проводів до нагрівача.

Оребрені трубчаті електронагрівачі, приведені в таблиці до мал. 1, мають ТЕНи діаметром 16*мм,* а приведені в таблиці до мал. 2 – ТЕНи діаметром 23 *мм;* останні допускають роботу при напрузі 3000 *в.*

Таблиця 2.3 Типи тенів, які можуть використовуватись в технологічному процесі оплавлення.

№ креслення нагрівача	Потужність нагрівача при напрузі					Основні розміри нагрівачів						Площа поверхні оребреня, $м^2$	Маса кг
	110 В	*127 В*	*190 В*	*220 В*	*380 В*	*D*	*L*	*1*	l_1	l_2	l_3		
5НТ.422.38а	0,175	0.231,	052	0,7	2.1	36	500	36	430	362	71	0173	0,76
5НТ.422.38в	0,21	0,28	0,625	0,84	2,52	36	620	36	550	482	71	024	1.02
5НТ.422.389	0,25	0,333	0.745	1,0	3.0	36	740	36	670	602	71	0.295	1,24
5НТ.422.390	0,29	0396	0,89	1,19	3,57	36	860	36	790	722	71	0.355	1,45
5НТ.422.391	0,374	0,495	1.11	1,48	4,44	36	1100	36	1030	862	71	0,475	1.9
5НТ.422.392	0,435	0,575	1,21	1,73.	5.19	36	1220	36	1150	1082	71	0,535	212
М050.02.010	0,465	0,62	1,39	1,86	5,58	42	860	36	790	722	71	0,50	1,385

Для підтримки заданих у робочому приміщенні потрібно нагрівати повітря в кількості 2500 *$м^3$/год.* Початкова температура повітря t_2=10°С, кінцева t_1=150°С.

Швидкість повітря між нагрівачами в самому вузькому січенні *v=10м/сек.* Нагрівачі розташовані в шаховому порядку. Зовнішній діаметр оребрення нагрівачів 42 *мм.*

2.9 Розрахунок нагрівачів камери оплавлення автоматизованої лінії нанесення порошкових покриттів.

1. Визначаємо потужність Р необхідну для нагрівання повітря до заданої температури [17–19]:

$$P = \frac{C_p \cdot \gamma_{cp} \cdot G \cdot (t_2 - t_1)}{860 \cdot \eta} = \frac{0{,}238 \cdot 1 \cdot 2500 \cdot 140}{860 \cdot 0{,}9} \approx 106 кВт \qquad (2.1)$$

де *Ср* – теплоємність повітря при середній температурі,

γ_{cp} – обємна вага повітря при середній температурі (знаходимо за графіком мал.3), *кг/м*^{3}*;*

G – кількість повітря, що нагрівається, у калорифері*, м*^{3}*;*

t_2 – кінцева температура,повітря що\ нагрівається, ^{0}C;

t_1 –початкова температура повітря, що нагрівається,^{0}C;

η –ККД калорифера в системі установки.

2. Визначаємо найбільшу припустиму поужність оребреного ТЕНа довжиною 1 *м* [20–23]

$$p = \frac{C \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot (t_2 - t_1) \cdot 0{,}8}{860} = \frac{0{,}198 \cdot 4{,}57 \cdot 48(150 - 10) \cdot 0{,}8}{860} = 5{,}56 кВт \qquad (2.2)$$

де *С* – коефіцієнт, що залежить від параметрів оребрення;

K_1 – коефіцієнт, що залежить від швидкості повітря в калорифері і розташування нагрівачів;

K_2 – коефіцієнт, що залежить від температури повітря і розташування нагрівачів;

t_2 – температура повітря на виході з калорифера, °С;

t_1 – температура повітря на вході в калорифер, °С;

0,8 – коефіцієнт, що враховує нерівномірність швидкості повітря по січенню калорифера;

3. По таблиці 2.3 до рис. 2.1 підбираємо нагрівач по кресленню № М050.02.010, що найкраще за інших відповідає заданим умовам. Потужність нагрівача 5,58 *кВт,* довжина оребрения 860 *мм.*

4. Потрібна кількість нагрівачів на калорифер складає [24–26]

$$N = \frac{P}{p} = \frac{106}{5{,}58} = 18 шт \qquad (8.3)$$

Приймаємо 18 нагрівачів для трифазного з'єднання.

2.10 Контроль параметрів процесу оплавлення порошкового покриття в умовах автоматизованого виробництва

Для контролю температури широко використовуються термоелектричні перетворювачі – термопари. В них реалізовано принцип виникнення електрорушійної сили в місці спаю двох різнорідних провідників при нагріві і дають можливість перетворення в електричний сигнал досить великих значень температури.

В нашому випадку в камері оплавлення встановлені перетворювачі термоелектричні $ХК_{68}$. Технічні умови і характеристики приладу регламентовані державним стандартом ГОСТ 23847-79, згідно якого пертворювачі термоелектричні кабельні типу КТХКС:

- градуювання по ГОСТ 3044-77: $ХК_{68}$
- матеріал термоелектродів: хромель, копель
- матеріал оболонки: корозійностійка сталь (08Х18Н10Т або 12Х18Н10Т).

В камері використовується термоперетворювач з ізольованим робочим спаєм.

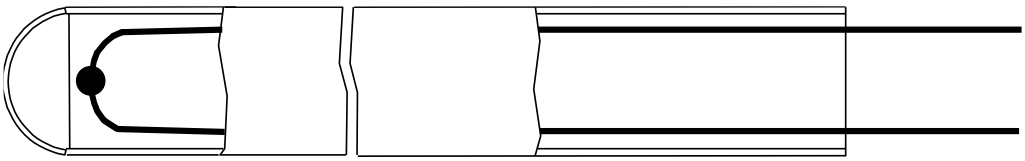


Рисунок 2.2 – Термоперетворювач з ізольованим робочим спаєм

Характеристики термоперетворювача з ізольованим робочим спаєм:

- діапазон вимірювальних температур при довгому використанні: 223 – 673К;
- максимальна вимірювальна температура при короткочасному вимірюванні: 1073 К; номінальний опір пари термоелектродів: 51 Ом.

Термопари ХК розвивають найбільш високу Т.Е.Р.С. із всіх інших металічних термопар, що застосовують для вимірювання температури. При 800°С її Т.Е.Р.С. рівна 60 мВ. Крива залежності Т.Е.Р.С. термопари від температури має невелику кривизну і досить добре описується трьохчленною квадратичною формулою.

Такий вид залежності приводить до того, що для цієї термопари [27–30] дійсні наступні характеристики по відповідним температурним значенням:

при 0 °С – $\Delta E/\Delta t$ = 65мкВ/°С

при 600 °С – $\Delta E/\Delta t$ = 90мкВ/°С

Хромель- копелеві термопари являються самими розповсюдженими технічними термопарами. Їх використовують в різноманітних вітках промисловості.

2.11 Розрахунок похибки вимірювання термопарою.

Границі допустимих відхилень вимірювальних значень термо- ЕРС термопар від основних значень повинні визначатись по рівнянню [31, 32]

$$\Delta E = \pm[a+b(t-c)]dE/dt,$$

де a,b,c- коефіцієнти;

dE/dt- коефіцієнт перетворення термопари.

Допустимі відхилення, виражені в градусах, визначаються виразом в квадратних дужках.

Припустимо, що границя допустимих відхилень для термопари хромель-копель в інтервалі- 50-300°С складає

$$\Delta t=\pm[2.5+0(t-0)]=\pm 2.5°C$$

В інтервалі 300-800°С, для t=600°С

$$\Delta t=\pm[2.5+6*10^{-3}(600-300)]=\pm 4.3°C ,$$

що відповідає $\Delta E=\pm 4,3*0,0878=0,38мВ$.

В нашому випадку вимірювання Т.Е.Р.С. відбувається приладом класу 0,6, градуювання ХК зі шкалою 0-600°С. Нехай вимірювана температура 550°С. Границя допустимої похибки в даному випадку визначається через клас К і діапазон вимірювання [8, 14]

$$\Delta 0=(Хк-Хн/100)*К$$

$$Хк=Е(600°С,0°С)=49,11мВ$$

$$Хн=Е(0°С,0\ °С)=0мВ$$

$$\Delta 0=((49,11-0)/100)*0,6=0,29мВ$$

Границя відносної похибки на відмітці 550°С [8, 15, 16]:

$$\delta 0=(\Delta 0/Е(550°С,0°С))*100$$

$$\delta 0=(0,29/44,71)*100=0,64\%$$

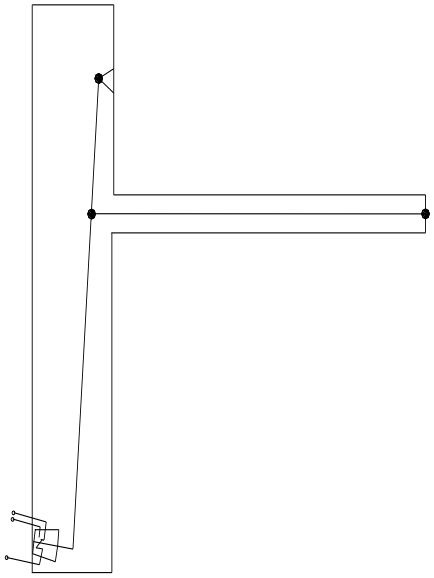
Границя допустимої абсолютної похибки однакова для всіх відміток шкали, тоді як границя відносної похибки збільшується до початку шкали.

Наприклад, при 300°С [17, 18, 19]

$$\delta 0=(0,29/22,88)*100=1,2\%$$

В нашому випадку контроль температури в секціях камери здійснюється термоелектричними перетворювачами ВК9- ВК16, сигнали з яких подаються на регулятор температури. При досягненні установки “грубого” завдання температури відбувається зупинка конвеєра.

Сигналізацію та миттєве реагування системи при виникненні небезпечної ситуації забезпечує давач критичної температури



.

Рисунок 2.5 – Схематичне позначення датчика критичної температури.

Внутрішній стержень виготовлений з латуні,а корпус давача з заліза. За рахунок різних коефіцієнтів лінійного терморозширення матеріалів, при підвищеній температурі відбувається замикання контакту. Це сигналізує про критичну температуру.

Для визначення надмірної тяги, у камері використовуються сильфонові вибухобезпечні сигналізатори тяги 2В0.283.685 ТО.

Принцип дії цих приладів ґрунтується на зрівноваженні вимірюваного тиску силами пружної деформації сильфону і діапазонних пружинних блоків. Рух дна сильфона перетворюється в кутове переміщення важелів, передається при допомозі трубно-секторного механізму на сигналізуючу частину приладу.
В якості давача електричного сигналу використовуються обмотки генератора високої частоти.

Один з них видає сигнал мінімального значення, інший – максимального значення вимірювального тиску або навпаки.

Критеріями вибору давача для даного технологічного процесу є їх виконання за правилами вибухозахищеного електрообладнання (ПІВРЕ), ОАА.684.053-67 і можуть використовуватись у вибухонебезпечних приміщеннях класів В-1, В-1а, В-1б, згідно класифікації "Правил влаштування

електроустановок" (ПУЭ), де по умовах роботи можуть створюватись вибухонебезпечні суміші газів і парів з повітрям категорій 1, 2, 3 груп Т1, Т2, Т3, Т4 згідно класифікації ПІВРЕ.

2.12 Розрахунок камери оплавлення порошкових фарб.

2.12.1 Технічне завдання:

Вихідні дані для розрахунку камери оплавлення порошкових фарб:

- максимальна довжина конвеєра укомплектованого пофарбованими виробами 4.0х1.3×1.9 м.;
- матеріал виробів і канвеєєра – сталь;
- маса (вага) виробів, що одночасно завантажуються – 300кг,
- конвеєра – 750 кг;
- температура оплавлення 383 К (110С°);
- час час оплавленя 3600 с (60 хв.);
- пропускна здатність камери по масі (вазі) (виробів і конвеєра) – 1.04кг/с (3750 кг/год);
- теплоносій – нагріте повітря;
- фарбовий матеріал П-ЕП-219 (білого кольору);
- вага фарбового матеріалу, що надходить із виробами в камеру оплавлення за 1с (за 1 год.) 0,00091 кг (3.27 кг), в тому числі летких речовин – 0.000547кг;
- зовнішні розміри камери – 5.3× 3,42×3.22 м;
- вхідні отвори – 1.7×2.0м;
- живлення – змінний струм частотою 60Гц, напругою 380/220В .

2.12.2 Розхід тепла в камері оплавлення.

Втрати тепла через огородження камери оплавлення [20–24]:

$$Q_1=[K_{си}F\left(T_{суш}-T_{цех}\right)+K_1F_1\left(T_{суш}-T_{цех}\right)+K_{2си}F_2\left(T_{суш}-T_{н.в}\right)++K_{3си}F3\left(T_{суш}-T_{цех}\right)] \quad (2.1)$$

де F – площа поверхні стін і стелі камери, м^2;

$F = 2 \cdot 5.22 \cdot 3.18 + 5.25 \cdot 3.34 + (3.34 \cdot 3.18 - 1.7 \cdot 2) \cdot 2 = 64.5\ м^2$.

F_1 – площа поверхні вхідного отвору,м^2.

$F_1 = 2 \times 1.7 \times 2 = 6.8\ м^2$.

F_2 – площа поверхні підлоги, м^2;

$F_2 = 5.22 \times 3.34 = 17.5\ м^2$;

F_3 – площа поверхні зовнішніх повітропроводів камери, м^2;

$F_3 = 30\ м^2$;

$К_{си}$ (К) – коефіцієнт теплопередачі стін і стелі, Вт/м^2·град.

При ізоляції стін і стелі з металевими щитами, виготовленими з листової сталі, товщиною 0,0016 м із внутрішнім заповненням мінеральною ватою товщиною 0,08 м (згідно вимог технологічного процесу) [24–26]:

$$K_{си} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн.си}} + \sum \frac{\delta}{\lambda_{си}} + \frac{1}{\alpha_{н.си}}} \qquad (2.2)$$

де $a_{вн.си}$ – коефіцієнт тепловіддачі гарячого повітря внутрішній стінці камери, Вт/м^2·град, ($a_{вн.си} = 8.7\ Вт/м^{2\times}град$) [26–32]

δ – товщина кожного шару ізоляції, м; ($d_1 = d_3 = 0.0016\ м,\ d_2 = 0.08\ м$);

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу кожного шару ізоляції, Вт/м^{2}град;

$\lambda = \lambda_3 = 52{,}3\ Вт/м^2 град$ – коефіцієнт теплопровідності сталі [5–8];

λ_2 – коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати; $\lambda_2 = 0{,}093\ Вт/м^2 \bullet град$;

$\alpha_{н.си}$ – коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні стінки в навколишнє середовище в Вт/м^2•град;($\alpha_{н.си}$ =13,9 Вт/м^2·град) [9–11];

K_1 – коефіцієнт теплопередачі вхідного та вихідного отворів при товщині мінеральної вати 50 мм; $K_{1\cdot си} = 1{,}38\ Вт/м^2 \bullet\ град$ [12–15];

K_2 – коефіцієнт теплопередачі підлоги до поверхонь, розташованих від зовнішньої стіни на 2-4 м; $K_{2.си} = 0{,}465\ Вт/м^2 \cdot град$ [19–20];

K_3 – коефіцієнт теплопередачі повітропроводів з теплоізоляцією асбозуритом або білою глиною з вовняними волокнами шляхом обмазки по сітці шаром товщиною $\delta = 0{,}05 - 0.06$ м при $\lambda_{си} = 0{,}151 - 0{,}186\ Вт/м^2 \cdot град$; $K_{3.си} = 2.91\ Вт/м^2 \cdot град$; [17–22]

$T_{суш}(t_{суш})$ – температура повітря в сушильній камері; $T_{суш}(t_{суш}) = T_{ср}(t_{ср}) = 383\ K\ (110°C)$;

$T_{цех}(t_{цех})$ – температура повітря в приміщенні; $T_{цех}(T_{цех}) = 293\ K(20\ °C)$;

$T_{н.в}(t_{н.в})$ – температура зовнішнього повітря (розрахунково-опалювальна температура дли заданої місцевості) $T_{н.в}(t_{н.в}) = 243°\ K\ (-30°\ C)$;

$K_{зап}$ – коефіцієнт запасу на додаткові теплові втрати через нещільну ізоляцію, стики металоконструкцій, через нетеплоізольовані вхідні отвори, металеві поверхні кількості 10-30% втрат через зовнішню ізоляцію [23–27].

$$K_{си} = \frac{1}{\frac{1}{8.7} + \frac{0.016 \cdot 2}{52.3} + \frac{0.08}{0.093} + \frac{1}{1.9}} = 0.93\ Вт/м^2 \cdot град$$

Теплові втрати через зовнішню ізоляцію камери оплавлення:

$Q_1 = [0.93 \times 64{,}5\ (388 - 293) + 1{,}38 - 6{,}8\ (383 - 293) + 0{,}405 - 17{,}5\ (383 - 243) +$
$+ 2{,}91 \times 30\ (383 - 293)] \times 1{,}2 = 18600\ Вт.$

Витрата тепла на нагрів пофарбованих виробів і транспортного ристрою (конвеєра) [15, с.147]*:*

$$Q_2 = g_{вир} c_{1си} (T_{суш} - T_{цех}) K_1 + g_{кон} c_{2си} (T_{суш} - T_{цех}) K_2 \text{ , Вт}$$

де $g_{вир} = 0{,}835\ кг/$ ($g_{вир} = 3000\ кг/год$, [28, 29]);

$g_{кон} = 0{,}205\ кг/с$ ($g_{кон} = 750\ кг/год$, [14–17]);

K_1, K_2 – коефіцієнти прогріву виробів і конвеєра; приймаємо $K_1 = K_2 = 1$, [18, с.210];

c_1, c_2 – теплоємність матеріалів виробів і транспортного пристрою;

(для сталі $c_{1.си} = c_{2.си} = 0{,}4815 \cdot I0^3$ Дж/кг· град, [17, с.134]).

$$Q_2 = 0{,}835 \cdot 0{,}4815 \cdot 10^3(383 - 293) \cdot 1 +$$
$$+ 0{,}205 \cdot 0{,}4815 \cdot 10^3(383 - 293) \cdot 1 = 45200\ Вт.$$

Втрата тепла на нагрів емалі і випаровування розчинника [15, с.253]:

$$Q_3 = g_{кр} c_{кр.си}\left(T_{суш} - T_{цех}\right) + g_p i_{р.си} \qquad (2.4)$$

де $g_{кр}$ – кількість лакофарбового матеріалу, що надходить в камеру;

($g_{кр} = 0{,}00091\ кг/с$, [17, с.135]).

g_p – вага розчинника, що міститься в завантажуваному лакофарбовому матеріалі ($g_p = 0{,}000547$);

$c_{кр.си}$ – теплоємність емалі ($c_{кр.си} = 2{,}0934\ Дж/кг \times град$, [17, с.121]);

$i_{р.си}$ – теплота випаровування розчинника ($i_{р.си} = 376.812 \times 10^3\ Дж/кг$, [17, с.133]).

$Q_2 = 0{,}00091 - 2{,}0934 \times 10^3(383 - 293) + 0.000547 - 376.812 \times 103 = 377\ Вт$.

Загальна витрата тепла в сушильній камері:

$Q' = Q_1 + Q_2 + Q_3 = 18600 + 45200 + 377 = 64177\ Вт$.

2.12.3 Визначення кількості свіжого повітря.

Для нормального процесу оплавлення, забезпечення необхідних концентрацій розчинника в камері оплавлення кількість свіжого повітря обчислюється за формулою [15, с.134]:

$$L_{пв} = \frac{kgp}{p}\ м^3/с \quad \left(L_{пв} = \frac{kGp}{p}\ м^3/год\right) \qquad (2.5)$$

де k – поправочний коефіцієнт на швидкість випаровування розчинника для камери оплавлення неперервної дії; $(k = 1.5 - 2)$; $g_p = 0.000547 г/с$ ($G_p = 1970\ кг/год$) [17, с.137];

p – припустима концентрація парів розчинника, яка не повинна перевищувати 50% нижньої вибухобезпечної межі з додатковим коефіцієнтом запасу $k_3 = 2 \div 5$, що враховує нерівномірність випаровування розчинника і температуру оплавлення.

Для розчинника РКБ-1 знаходимо нижню межу вибухобезпечності – 40 г/м^3 або 40-10^3 кг/м^3.

Отже,

$$p = \frac{0.5 + 46 \cdot 10^3}{k_3} \qquad (2.6)$$

$$\text{p} = \frac{0.5 + 46 \cdot 10^3}{5} = 4.6\ кг/м^3$$

$$\text{L}_{\text{ñв}} = \frac{2 \cdot 0.00547}{4.6 \cdot 10^{-3}} = 0.238\ м^3/с$$

У вагових одиницях $g_{св} = r_{цех} = L \cdot c_в = 1.2 \times 0{,}238 = 0{,}286\ кг/с = 1030\ кг/год$, [17, с.137];

де $\rho_{цех}$ – густина цехового повітря; ($\rho_{цех} = 1.2\ кг/м^3$,[17, с.138]).

Визначення кількості циркульованого, рециркульованого повітря і втрат тепла з повітрям, що виходить назовні.

Із загальної кількості теплових втрат камери оплавлення m % у цьому випадку 10% компенсується нагрівальними приладами, встановленими всередині камери, а інші (100 – m) %, тобто 90% в результаті тепловіддачі нагрітого у виносних калориферах циркульованого повітря, кількість якого визначаться з формули [15, с.226]:

$$g_{цир} = \frac{Q'}{c_{в.си}(T_{гор} - T_{отр})} \cdot \frac{100 - m}{m}\ кг/с \qquad (2.7)$$

де Q' – загальна витрата тепла в камері оплавлення; ($Q' = 64\,177\ Вт$);

$c_в$ – теплоємність повітря, Дж/кг·град; ($c_в = 1{,}0048 - 10'\ Дж/кг \times град$, [17, с.136]);

$T_{гор}\left(t_{гор}\right)$ – температура повітря, що виходить з калорифера і направляється в камеру підігрітого повітря (в К (°С)).

$T_{гор}\left(t_{гор}\right) = 393°K\ \left(120°C\right)$;

$T_{відпр}\left(t_{відпр}\right)$ –температура відпрацьованого повітря,(в К (°С)).

$T_{відпр}\left(t_{відпр}\right) = 383°K\ \left(110°\ C\right)$;

$$g_{цир} = \frac{64177}{1.0078 \cdot 10^3 \cdot 10} \cdot 0.9 = 5.75\ кг/с\ \ (20676\ кг/год)$$

Перед вентилятором до повітря, що йде з камери, добавляється через фільтр свіже повітря з цеху з температурою $Т_{цех}$, а за вентилятором (перед калорифером) така ж кількість суміші повітря, що відпрацювала, із свіжим викидається в атмосферу.

Для того щоб у нагнітальному повітропроводі камери містилася необхідна кількість свіжого повітря необхідно з цеху добавляти трохи більше повітря, тому що частина його буде викидатися разом із повітрям, що відпрацювало, назовні. Кількість повітря, що підмішується, повинно знаходитися в такому ж відношенні до відсмоктуваного із камери оплвлення повітря, як кількість свіжого повітря, яке подається в камеру, до рециркульованого (того, що повертається).

Кількість рециркульованого повітря $g_{рец} = g_{цир} - g_{св} = 5.75 - 0.286 = 5.464\ кг/с$, [17, с.135]. Кількість підсмоктуваного повітря, що підмішується, повітря з цеху [15, с.227]:

$$g_{підс} = \frac{g_{св} \cdot g_{цир}}{g_{цир}} \qquad (2.8)$$

$$g_{підс} = \frac{0.26 \cdot 5.75}{5.464} = 0.301 \ \ кг/с \ \ (1084 \ \ кг/год)$$

За умовою роботи вентиляційної системи $g_{підс} = g_{вих.в}$ і $T_{вих}$ (температура повітря після вентилятора), дорівнюють $T_{см}$, яка визначається із співвідношення [15, с.227]

$$T_{см} = \frac{g_{св} T_{отр} + g_{підс} T_{цех}}{g_{цир} + g_{підс}} \qquad (2.9)$$

$$T_{см} = \frac{5.75 \cdot 383 + 0.301 \cdot 293}{5.75 + 0.301} = 378.51 \ \ K \ \ (t_{см} = 105{,}51 \ \ ^0C).$$

Втрати тепла з повітрям [15, с.227]

$$Q_4 = g_{вих} c_{в.си} \left(T_{вих} - T_{цех} \right) \qquad (2.10)$$

$$Q_4 = 0.301 \times 1.0048 \times 10^3 (378.51 - 293) = 25900 \ \ Вт \ .$$

Тепловий баланс камери приведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.2 – Тепловий баланс камери.

Витрата тепла	Кількість, Вт	Прихід тепла	Кількість, Вт
Втрати в теплоізоляції. На нагрів виробів і транспортних пристроїв На нагрів акофарбового матеріалу і випар. розчинника Втрати із повітрям, що випускається	18600 45200 377 25900	Від внутрішніх нагрівальних приладів З нагрітим повітрям	6418 83660
Разом	90077	Разом	90 078

2.12.4 Розрахунок продуктивності вентиляторів і калориферів.

Вентилятор встановлюємо в самому холодному місці перед калорифером. Перед вентилятором робиться підсмоктування свіжого холодного повітря приміщення через фільтр. Відпрацьоване повітря, викидається перед калорифером.

Продуктивність вентилятора [15, с.229]:

$$L_{вент}=\frac{g_{цир}+g_{підс}}{\rho} \qquad (2.11)$$

де $g_{цир}$ – кількість циркулюючого системі повітря, ($g_{цир}$=5.75кг/с).

$g_{підс}$ – кількість повітря, що підсмоктується з приміщення, ($g_{підс}$= 0,301 кг/сек, [17, с.139]);

ρ – густина повітря при $T_{см}=378{,}5\ K, r=\ 0{,}933\ кг/м^3$, [17, с.237].

$$L_{вент}=\frac{5.75+0.301}{0.933}=6.5\ \ м^3/с$$

Встановлюємо два вентилятори кожний продуктивністю

$L_{вент}=\ 3{,}25 м^3/с$. Приймаємо $L_{вент}=3{,}333\ м^3/с\ \left(L_{в.г}=12000\ м^3/рік\right)$.

Кількість тепла, що віддається калориферами повітря [15, с.229]:

$$Q_{пов}=g_{цир}c_в c_{си}\left(T_{гор}-\ T_{см}\right) \qquad (2.12)$$

$Q_{пов}=\ 5.75\times1.0048\times10^3\left(393\ -\ 378.51\right)=83660$.

Калорифери розбиваємо на дві груп з тепловою потужністю кожна

$$Q_{кал}=\frac{Q_{пов}}{2}=\frac{83600}{2}=41830\ \ кг/с$$

Кількість повітря, що проходить через одну групу калориферів.

$$g_{кал}\ \frac{g_{цир}}{2}=\frac{5.75}{2}=2.875\ \ кг/с$$

Поверхня нагріву однієї групи калориферів [15, с.229]

$$F_{кал}=\frac{Q_{кал}}{K_{кал.си}(T_п-T_{ср})}\ \ м^2 \qquad (2.13)$$

де $K_{кал.си}$ – коефіцієнт теплопередачі калорифера,Вт/м^2·град.

Для калориферів при оптимальному значенні вагової швидкості $u_g = 7{,}10\ кг/с \times м^2$ визначаємо площа живого перетину калорифера [13, с.371]:

$$f_{кал} = \frac{gкал}{\upsilon} \tag{2.14}$$

де $g_{кал}$ – кількість повітря, що проходить через одну групу калориферів,

$g_{кал} = 2{,}875\ кг/с$; $\upsilon_\gamma = 8\ кг/м^2 \times с$; $\upsilon \times r = 8 кг/м^2 \times с$ [13, с.374].

Приймаємо модель калорифера КФС-7 [13,с.331] знаходимо $K_{кал.си} = 7{,}9\ Вт/м^2 \times град$, і опір одного калорифера $H_{кал} = 76{,}6\ н/м^2$.

Температура фарби при надлишковому тиску:

$3{,}92 - 10^5 H/м^2$, $T_n(t_n) = 424\ K$ (151°С).

Середня температура повітря

$$T_{ср} = \frac{T_{гор} + T_{см}}{2} \tag{2.15}$$

$T_{ср} = \frac{393 + 378.51}{2} = 375.7\ \ K(t_{ср} = 112.7^0 C)$, тоді

$$F_{кал} = \frac{41830}{27.9(424 - 385.7)} = 39.2\ \ м^2$$

Відповідно до розрахунку приймаємо для кожної групи два калорифери КФС-7, розміщених послідовно, з поверхнею нагріву

$$F_{уст.кал} = 2 \times 30.4 = 60.8\ м^2 ,$$

де 30,4 м^2 – поверхня нагріву калорнфера КФС-7 [13].

Запас тепла кожної групи калориферів складає ≈35%.

Витрата повітря [15, с.230]

$$Д = \frac{\sum Q}{r \cdot 4.1868 \cdot 10^3 \cdot \eta},\ \ кг/с \tag{2.16}$$

де ΣQ – витрата тепла всієї установки; $\Sigma Q\ -\ 90078\ Вт$;

r – прихована теплота порошку при надлишковому тиску повітря 4кг/см^2 $r = 504 \times 1868 \cdot 10^3\ Дж/кг$, [17, с.149];

$\eta = 0{,}7 - 4 - 0{,}19$ – ККД приладів, [17, с.152];

$$Д = \frac{90078}{504 \cdot 4.1868 \cdot 10^3 \cdot 0.8} = 0.0534 \quad кг/с$$

.

2.12.5 Розрахунок вентиляційної системи повітропровода.

При розрахунку повітропроводів камери необхідно враховувати виправлення па температуру повітря, тому що таблиці втрат па тертя і місцеві опори у всіх довідниках складені для температури 20° С и γ=1.2кг/м^2. Тому при розрахунку втрат напору на тертя на прямих дільницях, табличні дані коефіцієнтів опору множимо на $\left(\frac{\gamma}{1.2}\right)^{0.852}$ [17, с.230], де γ - питома вага повітря в кг/м^3 при розрахунковій температурі. Втрати напору на місцеві опори визначаємо з виправленням на температуру, домножуючи на величину $\left(\frac{\gamma}{1.2}\right)$ [15, с.230].

Для розрахунку повітропроводів користуємося таблицями, діаграмами і характеристиками вентиляторів, приведеними в довіднику [14].

Напір, що розвивається вентилятором, повинний переборювати всі опори мережі повітропроводів. Втрати напору в мережі $Н_{заг}$ складаються з втрат напору на тертя у повітропроводах і втрат на місцевий опір [15, с.231]:

$$H_{заг} = H_т + H_м = \sum R \cdot l + \sum \xi \cdot \frac{v^2 \gamma}{2g}, \ Н/м \qquad (2.17)$$

де $H_т$ – втрати напору на тертя на прямих дільницях мережі,Н/м^2;

$H_м$ – утрата напору на місцеві опори мережі, Н/м^2;

R – втрата напору на 1 м прямої ділянки мережі, Н/м^2;

l – довжина ділянки, м;

v – швидкість повітря на даній ділянці в м/с;

$\Sigma\xi$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів;

γ – питомий усі повітря, г/м^3;

g = 9,81 м/с^2.

Коефіцієнти місцевих опорів приведені в [17.с.241].

2.12.6 Розрахунок втрат напору у повітропроводі рівномірної роздачі.

Кількість повітря, що виходить через вікна повітроповода рівномірної роздачі [15, с.231]:

$$Lc = \frac{g_{цир}}{2} \cdot \frac{1}{\rho} \quad м^3 / с \tag{2.18}$$

$$Lc = \frac{5.75}{2} \cdot \frac{1}{0.9} = 3.2 \quad м^3 / с$$

Швидкість у початковому перетині повітропровода рівномірної роздачі [15, с.231]:

$$v_{поч} = \frac{L_{сек}}{ab} \quad м / с \tag{2.19}$$

$$v_{поч} = \frac{3.2}{0.5 \cdot 0.6} = 10.7 \quad м / с$$

де *a*, *b* – розміри сторін вхідного січення повітропровода рівномірної роздачі, м.

Швидкість виходу повітря з вікон повітропровода рівномірної роздачі [15,с.231]

$$v_{вих} = \frac{L_c}{F_{вих.вк}} \tag{2.20}$$

де $F_{вих.вк} = 0.4 \times 0.7 \times 0.8 \times 4 = 0{,}9 \; м$; коефіцієнт 0,8 враховує площу решітки; 4 - кількість вікон.

$$v_{вих} = \frac{3.2}{0.9} = 3.56 \quad м / с.$$

Втрата статичного напору у повітропроводі [15, с.231]:

$$h_{ст} = 1.5 \cdot \frac{\rho L^2 cg}{2 \cdot \mu^2 \cdot F^2_{вих.вк}}. \quad Н/м \tag{2.21}$$

де ρ – густина повітря в системі при температурі $t_{гор}$=120 °С, кг/м^3; (ρ=0,0918 кг/м^3, [17, с.139]);

$L_с$ – кількість повітря, що проходить по повітропроводу за одну секунду; ($L_с$=3.2м/с).

μ – коефіцієнт витрати для вікна з направляючими гратами; μ=0,7;

$F_{вих.вк}$ – площа вихідних вікон, м^2; $F_{вих.вк}$=0.9 м^2;

$$h_{ст} = 1.5 \cdot \frac{0.0918 \cdot 3.2^2}{2 \cdot 0.7^2 \cdot 0.9^2} = 13.25 \quad Н/м$$

i

Втрати динамічного напору [15, с.231]

$$h_{ст} = \frac{v^2_{поч}}{2 \cdot g} \gamma. \quad Н/м \tag{2.22}$$

$$h_{ст} = \frac{10.7^2}{2 \cdot 9.81} \cdot 0.9 = 51.5. \quad Н/м$$

де $v_{поч}$ - швидкість в початковому січенні повітропровода рівномірної роздачі; ($v_{поч}$= 10.7 м/с, [17, с.138]).

Повна втрата напору повітропроводі рівномірної роздачі

$h_{пов} = h_{ст} + h_{дин}$ =13.25+51.5=64.75 $Н/м^2$.

2.12.7 Вибір вентилятора й електродвигуна.

Продуктивність вентилятора $L_{вент} = 12000\ м^3/год$ або $L_{вент} = 3{,}333\ м^3/с$. Напор, який розвивається вентилятором, з врахуванням температури середовища [15, с.232]:

$$H = H_{розр} \frac{T_{см}}{T_{цех}} g \quad Н/м^2 \tag{2.23}$$

де $H_{розр}$ – втрата напору в мережі кг/м^2 [15, с.352];

$T_{см}$ – температура суміші повітря, яке перекачується вентилятором, К, ($T_{см}$=378.5)

Т цех – температура в приміщенні; $T_{цех} = 293\ K$.

$$H = 39.6\frac{378.5}{293}9.81 = 500 \quad H/м^2$$

По знайденій продуктивності і напорові підбираємо відцентровий вентилятор Ц9–57 № 6 [14, с.98] у вибухобезпечному виконанні, який має наступні технічні характеристики: $L = 12000\ м^3/год$; $H = 500\ H/м^2$; $n = 700\ об/хв$; $\eta = 0{,}6$;

Потужність на валу вентилятора [15, с.232]:

$$Nв = \frac{L_{вент.с}(H_{розр} \cdot 9.81)}{\eta_в \cdot 10^3} \quad кВт \tag{2.24}$$

$$Nв = \frac{3.33 \cdot 39.6 \cdot 9.81)}{0.6 \cdot 10^3} = 2.16 \quad кВт$$

Потужність на валу електродвигуна [15, с.232]:

$$N_Д = \frac{Nв \cdot K}{\eta_П} \quad кВт \tag{2.25}$$

де К– коефіцієнт запасу для відцентрових вентиляторів;

$\eta_П$ – ККД передачі.

$$N_Д = \frac{2.16 \cdot 1.15}{0.9} = 2.76 \quad кВт$$

Приймаємо електродвигун виухобезпечного виконання серії КОМ–31–6 [16, с. потужністю $N = 2{,}8\ кВт$ і кутовою швидкістю $\omega = 98{,}7\ 1/с$ $(n = 940\ об/хв)$.

2.13 Розробка функціональної схеми – встановлення складу та призначення функціональних вузлів.

Схема системи керування включає в себе 12 основних блоків (модулів). А саме:

- блок живлення;
- блок контролю;
- модуль АЦП навантаження;
- модуль АЦП термопар;
- модуль ОМЕОМ;

- модуль клавіатури- дисплею;
- модуль керування калориферами;
- модуль керування двигунів;
- силовий модуль калориферів;
- силовий модуль двигунів;
- модуль вимірювання вибухонебезпечних концентрацій;
- блок комутації;
- модуль нульового захисту.

Живлення електрообладнання камери, здійснено від мережі трифазного струму номінальною напругою 380 В, частотою 50 Гц. Блок живлення формує всі необхідні напруги живлення для системи керування.

Блок контролю здійснює збір даних від датчиків тяги, датчиків критичної температури, стан зовнішнього кола керування, формує синхронізуючі сигнали для ввімкнення симисторів, формує сигнал дозволу роботи двигунів і ТЕНів, проводить збір даних стану двигунів повітряної завіси і витяжки.

Модуль АЦП навантаження здійснює комутацію аналогових сигналів (напруга еквівалентна струму навантаження силових кіл) і здійснює перетворення цих сигналів в цифровий код (12- розрядний).

Модуль АЦП термопар здійснює опитування аналогового сигналу з термопар, нормалізації аналогового сигналу, перетворення в цифровий код та гальванічну розв’язку цифрових сигналів від мікропроцесорної магістралі.

Модуль ОМЕОМ здійснює опитування давачів (дискретні сигнали) та різноманітних контролюючих блоків. Проводить обробку отриманої інформації та видає сигнали керування на блоки керування виконавчих систем (узагальнено або детально) на індикатор та зовнішній контролюючий пристрій (ЕОМ).

Контролер клавіатури–дисплею здійснює динамічне опитування клавіатури та виведення інформації на індикатор. При натисканні якоїсь клавіші контролер фільтрує сигнал шуму замикання чи розмикання сигналів,

запам’ятовує код нажатої клавіші і формує сигнал переривання на обслуговування для ОМЕОМ.

Модуль керування калориферами – формує сигнали керування симисторів виконавчих органів. Для керованої групи ТЕНів даний сигнал формується відносно восьмирозрядного коду “різання півхвилі синусоїди”. Для решти (некерована група ТЕНів, двигун) даний сигнал формується на початку “півхвилі синусоїди” у випадку дозволу на ввімкнення виконавчих органів. Здійснює нормалізацію зворотного аналогового сигналу по параметру навантаження, визначає наявність напруги на кожній фазі виконавчого елементу.

Модуль керування двигунами формує сигнал ввімкнення симисторів на початку синусоїди при дозволі роботи двигуна, нормалізує зворотній аналоговий сигнал навантаження двигуна і визначає наявність напруги на кожній фазі.

Силові модулі калориферів, двигунів повітряної завіси та двигуна витяжки здійснює:

- комутацію по силових колах ТЕНів та двигунів (комутуючий елемент – симистор),
- захист виконавчих елементів по перевантаженню чи короткому замиканню (автоматичні вимикачі QF та плавкі запобіжники FU),
- формування аналогового сигналу для зворотнього зв’язку по струму та формування сигналу наявності напруги на кожній фазі виконавчого органу.

Всі сигнали (керуючі або зворотнього зв’язку) мають гальванічну розв’язку здійснену за допомогою трансформаторів (імпульсні трансформатори, трансформатори напруги, трансформатори струму).

Модуль вимірювання вибухонебезпечних концентрацій здійснює аналіз витяжних газів з термокамери на наявність CO, H2 складових. При досягненні рівня концентрації небезпечного для вибуху видає сигнал тривоги, а також здійснює постійну самодіагностику робочого стану.

Блок комутації формує силові дискретні сигнали керування електромагнітними пристроями.

Модуль нульового захисту здійснює захист від короткочасних відключень силового кола мережі живлення, на електромагнітних пристроях формує сигнали стану системи нормальної роботи чи аварійного стану, дистанційна передача інформації на центральний пульт керування всієї лінії.

Запуск камери оплавлення відбувається в наступному порядку. Включення ввідного автоматичного вимикача QF1, при цьому в силові кола подається напруга живлення. Натиснути кнопку “Пуск” SA2, при цьому магнітний пускач КМ1 подає напругу на блок живлення, блок керування, та стає на саможивлення. При цьому вмикаються датчики тяги ВР1. Запускається процесор і схема запуску процесора запускає обробку алгоритму роботи спочатку. Мікропроцесор здійснює початкове встановлення всіх контролюючих блоків керування (підготовка до роботи). Мікропроцесор здійснює керування процесом ввімкнення камери в наступному порядку:

1. Вмикає двигуни витяжки та повітряні завіси. Через блок контролю та АЦП навантаження зчитує інформацію про стан даних об’єктів (провіряє нормальний режим роботи двигунів).
2. Запуск першого калорифера з витримкою деякого часу, запускається двигун слідуючого калорифера. З відповідних датчиків тяги, а також аналогових даних про навантаження провіряється режим роботи двигуна та калорифера.

Можливі варіанти:

- втрачається механічний зв’язок двигуна з вентилятором (обрив пасової передачі, роз’єднання вітряка з віссю). В результаті двигун працює в режимі холостого ходу, з АЦПн отримується сигнал цифровий еквівалент якого не достатній для відображення нормального коду відображення, а датчик тяги показує, що тяга відсутня;

- перекриття каналу циркуляції повітря в калорифері. В цьому випадку датчик тяги видасть сигнал наявності тяги, але з АЦПн отримається цифровий еквівалент більший ніж номінальний;
- заклинення вітряка чи осей двигуна. Відбувається велика перегрузка двигуна і схема керування даного двигуна автоматично його відключає подаючи відповідний сигнал процесору.

Дана схема спрацює і при обриві якоїсь фази.

1. Після запуску всіх двигунів мікропроцесор дає послідовні команди ввімкнення ТЕНів кожного калорифера. Насамперед вмикаються ТЕНи першого калорифера, провіряються параметри навантаження через АЦПн, з витримкою часу вмикаються ТЕНи другого калорифера. Так включаються ТЕНи всіх восьми калориферів.

2. Запускається алгоритм відслідковування температури кожного калорифера, який працює наступним чином. Процесор в АЦПТ записує номер термопари калорифера. Останній здійснює знімання параметру температури з даної термопари, перетворює в цифровий код і видає сигнал готовності для процесора. Процесор зчитує код температури, визначає степінь досягнення цієї температури до технологічно заданої і в регістр керованої групи ТЕНів записує код еквівалентний потужності, яку необхідно подати на дану групу ТЕНів (регістр знаходиться в блоці керування калорифера).

3. З досягненням температури даного калорифера технологічно номінальної цифровий код кута відкривання симистора зменшується із зменшенням цього коду збільшується час між початком півхвилі синусоїди і моментом відкриття симистора, відповідно зменшується потужність, що подається на керовану групу ТЕНів). Аналогічно процесор працює з рештою калориферів.

4. Далі алгоритм роботи процесора спрямований на відслідковування, корекцію роботи всіх калориферів та послідовне опитування всіх силових

органів на параметр навантаження для відслідковування нормальної роботи всієї термокамери.

У випадку виходу з ладу якогось калорифера мікропроцесор здійснює виключення силових органів даного калорифера з введенням компенсаційних параметрів в сусідні калорифери, а саме: підносить їх робочу температуру на 5-10 °С для компенсації втрат викликаних відключенням калорифера, щоб не зупиняти лінію. Даний режим роботи являється аварійним, але необхідним для завершення повного технологічного циклу всієї лінії.

2.14 Вибір мікропроцесора для систем керування.

Придатність архітектури кожного МП конкретного класу задач визначається тим, наскільки його система команд відповідає задачам, які повинні бути виконані.

Розглянемо мікропроцесорний комплект серії КР580, який виконаний по n-МДП і ТТЛШ- технології. Характеризується архітектурною сукупністю, яка забезпечується автономністю і функціональною завершеністю окремих мікросхем, уніфікацією їх інтерфейсу, програмованістю мікросхем, їх логічною і електричною сумісністю. Восьмирозядна організація, фіксований набір команд, великий вибір периферійних мікросхем різноманітного призначення, відносно висока швидкодія, помірне споживання потужності забезпечують МПК широке застосування при створенні засобівобчислювальної техніки: пристроїв локальної автоматики, контроллерів вимірювальних пристроїв і периферійних пристроїв, мікро- ЕОМ для керування технологічними процесами і вимірювальними системами і ін.

До комплекту серії К580 входять синхронно- асинхронний прийомопередатчик для каналів послідовного зв´язку К580ИК51, КР580ВВ51 (КР580ИК51) виготовляються по п-МДП технології. Мікросхему К580ИК51випускають у 48- вивідному металокерамічному, а КР580ВВ51- в 28-вивідному пластмасовому корпусі. Режими роботи: а) синхронний прийом і

синхронна передачча з перетворенням інформації, з внутрішньою або зовнішньою синхронізацією і б) асинхронний прийом і передача з перетворенням інформації.

Число і склад мікросхем в системі визначаються вимогами, що вимагають споживачі. Необхідні мікросхеми в будь-якій системі: мікропроцесор КР580ВМ80А, генератор КР580Ф24, системний контролер КР580ВК28 (КР580ВК38), буферна схема адреса, побудована на двох мікросхемах КР580ВА86 (КР580ВА87)для забезпечення загрузочної здатності по шині адреси. Об'єм пам'яті ЗП і використання одної чи кількох периферійних мікросхем КР580ВВ51А, КР580ВИ53, КР580ВВ55А, КР580ВТ57, КР580ВН59, КР580ВВ79 чи КР580ВГ75ВИЗНАЧАЄ користувач.

Мікропроцесорна система має системну шину, що утворена з трьох шин: адреса А15- А0, даних D7- D0 і керування. Системна шина дозволяє будувати мікропроцесорну систему по модульному принципу: модуль центрального процесора, модуль ЗУ, модуль УВВ і т.д. Кожен модуль може містити власні буферні схеми адреси і даних.

Двонаправлені виводи даних периферійних мікросхем рекомендується підключати до системної шини через шинні формувачі (КР580ВА86, КР580ВА87 чи КР589АП16, К589АП26). Магістральна структура мікропроцесорної системи дозволяє підключати мікросхеми ЗП загальною ємністю до 64К байт і мікросхеми ПВВ до 256 каналів вводу і до 256 каналів виводу.

Завадостійкість системи по низькочастотним перешкодам у ланцюгу живлення необхідно забезпечити їх блокуванням за допомогою конденсатора ємностями 0,1 мкФ на кожну мікросхему, увімкненими між контактами +5В і GND на початку шини +5В. Високочастотні перешкоди фільтруються конденсаторами ємністю $0{,}015 - 0{,}022\,мкФ$, увімкненими між кожними виводами +5В і GND мікросхем, безпосередньо на мікросхемах (не далі ніж 5мм). Для збільшення швидкодії системи трьохстабільні лінії шини адреси і

даних рекомендується підєднувати до шин +5В через резистори опором 2,2кОМ.

Сімейство МК48 містить ряд моделей ОМЕОМ, функціональний склад і технічні характеристики яких відображають як відмінність в ідеологічному підході до застосування ОМЕОМ, так і прогрес технології СВІС. Всі моделі, що входять до серії МК48, являються повністю сумісними по системі команд, призначенню і розводці виводів, сукупності основних функціональних пристроїв із базового набору серії.

Перше покоління вітчизняних ОМЕОМ серії МК48 – ВІС *КМ*1816*ВЕ*48 і *КР*1816*ВЕ*35 є функціонально-конструктивними аналогами ВІС відповідно 8748 і 8035 фірми Intel, США, виконані по n-канальній МОН- технології, що обумовило наступні обмеження: рівень інтеграції обмежується – 18 тис. транзисторів на кристал, частота тактових сигналів – 6,0 *МГц*, обсяг ОЗП внутрішньої пам'яті – 64 байта, ППЗУ – 1К байт та мінімальний час циклу – 2,5 мкс.

Друге покоління – ВІС КР1816ВЕ49, КР1816ВЕ39 (аналоги ВІС фірми Intel 8049 і 8039) виконані за n-канальною МОН-технологією з пропорціональним масштабуванням, що дозволило підвищити рівень інтеграції до 36 тис. транзисторів на кристал, частоту тактових сигналів до 11,0 МГц, збільшити обсяг ОЗУ до 128 байт, ПЗУ – до 2 Кбайт і зменшити мінімальний час циклу до 1,36 мкс.

Третє покоління сімейства МК48 – ВІС ОМЕОМ серії К1830: КР1830ВЕ48, КР1830ВЕ35 (аналоги ВІС фірми Intel 80С48, 80С35) виконане по КМОН-технології, що дозволило на порядок зменшити струм вживання в порівнянні з ВІС КМ1816ВЕ48, КР1816ВЕ35 при збереженні решти параметрів.

ОМЕОМ КМ1816ВЕ48, КР1816ВЕ35, КР1830ВЕ48 і КР1830ВЕ35 повністю ідентичні зокрема в структурній реалізації. При цьому в ВІС КМ1816ВЕ48 програмна пам'ять розміщається в внутрішньому ПЗП з ультрафіолетовим стиранням, а в ВІС КР1830ВЕ48- в внутрішньому ПЗП масочного типу. Таким

чином, оперативність програмування ПЗП дозволяє використовувати ОМЕОМ КМ1816ВЕ48 при створенні контролерів одиничних екземплярів або дрібносерійних виробів. Користовачі ВІС КР1830ВЕ48 позбавлені такої можливості, так як програмування ПЗП здійснюється в процесі виготовлення ВІС по даних “прошивки” заказа споживача.

ОМЕОМ КР1816ВЕ49 і КР1816ВЕ39 мають однакову структуру, однакові схемотехнічні рішення і технічні характеристики, за виключенням пам’яті програм: ОМЕОМ КР1816ВЕ49 має внутрішню пам’ять програми об’ємом 2 Кбайт, виконану в вигляді маскового ПЗП, а ОМЕОМ КР1816ВЕ39 може використовуватись з тільки з зовнішнім ЗП програм. Реалізація програмної пам’яті КР1816ВЕ49 в вигляді ПЗП обумовлює доцільність застосування цих ОМЕОМ тільки для виробів середньо- та крупносерійного виробництва, що забезпечує в цьому випадку низьку вартість ОМЕОМ. В якості відналагоджуваної моделі, а також при розробці одиничних екземплярів виробів доцільно використовувати ОМЕОМ КР1816ВЕ39 з зовнішньою програмною пам’яттю.

В ОМЕОМ може забезпечити розширення пам’яті програм, – до 4 Кбайт, даних, – до 384 байт, збільшити число ліній вводу-виводу при використанні підключених зовнішніх кристалів пам’яті програм, ОЗП, мікросхем інтерфейсів.

На ВІС МПК 1810 реалізуються 16- розрядні процесори з 8- чи 16-розрядними системними шинами і з архітектурою універсальних мікропроцесорів К1810ВМ86, К1810ВМ88. Мікропроцесор К1810ВМ87 розширює архітектуру процесорів.

Мікропроцесори К1810ВМ86, К1810ВМ88 виконані по n-МОН- технології з джерелом +5В і струмами живлення340 і300мА.

Придатність архітектури кожного комп’ютера для конкретного класу задач визначається тим, наскільки його система команд відповідає задачам, які повинні бути виконані. Тому для дискретного управління в реальному масштабі часу наявність в системі команд операцій безпосередньо над бітами призводить

до створення більш продуктивних систем і програм обробки вхідної і вихідної двійкової інформації. З цією ціллю в ОМЕОМ сімейства МК51 введені спеціальні засоби, що називаються бітовим процесором, які підтримують прямі логічні операції з окремими бітами і операції їх тестування і дозволяють використовувати однобітові змінні в логічних операціях. Метою даного розділу – обґрунтувати застосування бітового процесора ОМЕОМ сімейства МК51.

В систему команд ОМЕОМ сімейства МК51 введені спеціальні команди для виконання операцій з бітовими змінними. Існує 17 таких команд. Ці команди в залежності від виконуваної функції можуть бути одно-, дво- чи трьохбайтні. Ті з них, які оперують з ознакою переносу, мають однобайтний код чи код, за яким слідує байт зміщення, що використовується для обчислення адреси умовного переходу. В більш узагальнених командах бітових операцій після коду добавляється байт адреси прямоадресуючого біта, утворюючи двох- чи трьохбайтні команди. За допомогою цих команд можна звертатись безпосередньо до 128 біт внутрішнього ОЗП і до 83 біт одинадцяти восьмирозрядних регістрів ОМЕОМ.

2.15 Вибір оптимального варіанту архітектури системи управління камерою оплавлення.

З огляду на розглянуті вище варіанти мікропроцесорних систем керування, можна зробити висновки щодо вибору оптимального варіанту системи керування камери оплавлення порошкових фарб, а саме мікропроцесорна система МК51.

Використана на підприємстві релейна схема керування характерна малою надійністю самоконтактів реле, великими розмірами, великим енергоспоживанням.

МК51, МК48, КР580 – восьмирозрядні мікропроцесорні системи.

МК51 по розрядності шини адреси відповідають КР580. Має меншу кількість команд в порівнянні з КР580, але містить команди побітової обробки

інформації, є функціонально завершеною. Має більшу швидкодію в порівнянні з КР 580.

К1810 –16- розрядна ШД, 20- розрядна ША, вища швидкодія ніж у всіх вищезгаданих серіях. Велика система команд, введена система самотестування, до складу системи входить арифметичний сопроцесор. Потребує значних апаратних затрат (так як і КР580), хоча набагато легше розробити програмне забезпечення.

МК51 у порівнянні з МК48 має вищий розвиток, більша розрядність ША, більша швидкодія, містить канал послідовного обміну даних (в КР580 необхідність встановлення ВВ51 (контролер послідовного порту). Розширена система команд, хоча обидві призначені для керування нескладними ТП (робототехніки).

Ось варіант перекладу вашого тексту в академічний (науковий) стиль. У цьому варіанті усунено розмовні звороти (наприклад, «все таки», «з першого погляду здатися кроком назад»), оптимізовано термінологію, покращено структуру речень та забезпечено чітку логіку викладу.

Академічний варіант тексту

Архітектура мікроконтролерів (МК) сімейства МК51, попри успадкування базових принципів функціонування сімейства МК48, не є повністю сумісною з попередньою модифікацією. Модернізація архітектури МК51 зумовлена впровадженням низки нових режимів адресації, додаткових інструкцій, розширенням адресного простору, а також іншими апаратними модифікаціями. Розширена система команд забезпечує підтримку побайтової та побітової адресації, виконання операцій у двійковій і двійково-десятковій арифметиці, індикацію переповнення та визначення парності/непарності, що дозволяє реалізувати функції логічного процесора.

Визначальною особливістю архітектури сімейства МК51 є здатність арифметично-логічного пристрою (АЛП) паралельно з обробкою 8-розрядних типів даних маніпулювати однорозрядними структурами (бітами). Окремі

програмно-доступні біти можуть бути встановлені, скинуті, інвертовані, а також передані, перевірені та використані в логічних обчисленнях.

Попри те, що підтримка елементарних типів даних, на тлі тенденції до збільшення розрядності процесорного слова, могла сприйматися як регресивне рішення, саме ця властивість забезпечує високу ефективність застосування мікроЕОМ сімейства МК51 у системах керування. Алгоритми функціонування промислових контролерів зазвичай передбачають оперування вхідними та вихідними булевими змінними, реалізація яких за допомогою стандартних мікропроцесорів є обчислювально надлишковою. Зазначений комплекс апаратно-програмних засобів класифікують як процесор сімейства МК51. Завдяки такій структурі АЛП система команд мікроЕОМ цього сімейства є однаково ефективною як для задач керування в реальному часі, так і для реалізації алгоритмів із високою щільністю потоків даних.

З розглянутих варіантів доцільно застосовувати МК51 оскільки є можливість зв'язку з зовнішнім ЕОМ (послідовний порт), є можливість підключення мікросхем зовнішнього ОЗП і ПЗП, відносно висока швидкодія. Команди МК51 дозволяють будувати складні алгоритми програм.

2.16 Розробка та опис блоків мікропроцесорної системи управління.

2.16.1 Мікропроцесорний блок, вузол вибірки ОЗУ.

Основною частиною системи керування є мікропроцесорний блок (мікропроцесор КР1830ВЕ51- DD1, ДП 0490.01.04.000). В регістр DD2 проводяться запис молодшого байта адреси, яка формується, а старший байт через порт Р2. Дані, які передаються чи приймаються - на входах порта D0. Параметри технологічного процесу проходять обробку в ОЗУ (DD3). В ОЗУ також записані початкові значення, які необхідні для правильного старту системи. В ПЗП (DD4) міститься код програми.

Мікросхеми РПЗП DD10-DD13 містять вихідні дані про елементи системи. Ця інформація перезаписується в ОЗУ після закінчення циклу роботи

мікропроцесора (мікропроцесор після чергової перевірки параметрів техпроцесу або при програмному збої - скидається).

Регістри DD15, DD16 служать для адресації РПЗП. Як видно, сума ліній даних регістрів - 16, а МС РПЗП 11-розрядні. Останні розряди регістрів використовують як керуючі.

Регістр DD18 містить дані з РПЗП (спочатку старший, а потім молодший байт).

Дешифратором DD8 - проводиться вмикання мікросхем контролера клавіатури-дисплея, блоку керування АЦП термопар, схеми переривань, схеми послідовного інтерфейсу через роз'єм SX1.

Тактування мікросхем проводиться за допомогою генератора побудованого на кварцовому резонаторі BQ1 та лічильнику DD9. Мікросхеми DD5.3, DD5.4, діод VD1, RC-ланка R3C2 - формують ручний скид.

Дешифраторами DD22,DD23 проводиться вибір термопар, керованих пускачів через роз'єм SX2, а також здійснюється керування схемою переривань. Вона включає: роз'єм SX4 на який поступають сигнали переривань від зовнішніх пристроїв, регістри DD27, DD22 містять код пріоритету переривань та номер переривань.

При допомозі транзисторів VT1 - VT6 проводиться встановлення рівнів напруги, які необхідні для перезапису РПЗП (12,7В, 22В, 5В). Імпульс по якому відбувається запис формується одновібратором DD21.

Дані від/до зовнішніх пристроїв до мікропроцесора поступають через шинний формувач DD24.

Формування адрес зовнішніх пристроїв проводиться через формувачі DD25-DD26.

2.16.2 Стабілізований блок живлення.

В блок живлення входить трьохфазний трансформатор ТТ-0,25 УХЛ3 380/220-170 ТУ16-517.013-79, вхідні та вихідні обмотки з'єднані по схемі "зірка", запобіжники FU1-FU3, LC- фільтри, діодний міст, на виході якого

отримується напруга 300В. LC-ланки на лініях 1,2 діодного моста призначені для згладження пульсації. Накопичуючі конденсатори С9,С10, з резисторами саморозрядки R2, R3, а також з резистором R4 і діодом VD5 служать для крмпенсації амплітуди вихідних імпульсів. Автогенератор зібраний на транзисторах VT1, VT2. Основними елементами початкового запуску є тиристор VD7.

Після ввімкнення живлення, конденсатори С9,С10 починають заряджатись. З одного плеча діодного моста через R7 заряджається конденсатор С13 до деякої напруги, яка визначається VD8, далі струм протікає через резистор R7 і стабілітрон VD8, відкриваючи тиристор VD7. Накопичена конденсатором енергія через тиристор VD7 подаєється на транзистор VT2 (відбувається запуск генерації).

При відкритті транзистора VT2, 16-й вивід трансформатора з'єднується з 0. Конденсатор С11 заряджається, а С12 розряджається. На обмотці 18 трансформатора формується імпульс напруги, який підтримує транзистор VT2 у відкритому стані, а також відкриває тиристор VD5, що замикає R4, подаючи більшу напругу в силове коло трансформатора.

Це триває доти, доки С11 не зарядиться, а С12 розрядиться. В силовому колі трансформатора струм зникає, відповідно зникає підживлення транзистора VT2, останній закривається. За рахунок накопиченої магнітної енергії в трансформаторі на обмотці керування транзистором VT1(11,12 вихід трансформатора) індукується зворотня ЕРС, яка відкриває VT1. При цьому конденсатор С11 розряджається, С12 заряджається і транзистор VT1 підтримується у відкритому стані до того часу, поки зарядиться С12, розрядиться С11. Після того VT1 закривається. Далі процес повторюється з самозапуском транзистора VT2.

У вторинному колі трансформатора TV1 при допомозі діодних мостів, фільтрів низьких частот та стабілізаторів напруги (-6В - КР142ЕН5Б, +5В - КР142ЕН5А, ±15В - КР142ЕН6).

2.16.3 Модуль клавіатура дисплей.

Є два режими управління камерою оплавлення :

- дистанційне, яке забезпечується ПЕОМ;
- місцеве.

Для місцевого керування використовується контролер КР580ВВ79, який обслуговує сканування клавіатури (ввід інформації) та індикатора (вивід візуальної інформації).

Індикатор ИЛЦ 1618 (Н1) - шістнадцятирозрядний з динамічною індикацією інформації.

Мікросхема КР580ВВ79 – програмований інтерфейсний пристрій, призначений для вводу і виводу інформації в системах, виконаних на основі 8- і 16-розрядних мікропроцесорів.

Мікросхема складається з двох функціональних автономних частин: клавіатурної і дисплейної.

Клавіатурна частина забезпечує ввід інформації в мікросхему через “лінії повернення” RET7-RET0 з клавіатури (клавіатурна матриця об’ємом 8 слів х 8 розрядів з можливістю розширення до 4 х 8 слів х 8 розрядів), а також ввід по стробуючому сигналу (8 слів х 8 розрядів). Для збереження введеної інформації в мікросхемі передбачений обернений магазин – оперативний запам’ятовуючий пристрій (ОМ-ОЗУ) ємністю 8 байт. Останній працює по принципу “перший ввійшов – перший вийшов”.

При наявності інформації в ОМ-ОЗУ мікросхема виробляє сигнал “Запит переривання” INT, а в випадку вводу чи читання більше восьми сигналів – сигнал (флаги) переповнення чи переспустошення.

В клавіатурній частині мікросхеми передбачений спеціальний режим визначення помилок при замиканні двох або більше клавіш, а також введена схема усунення вібрації при замиканні-розмиканні клавіші. Клавіатурна частина може спрягатись з будь-якою клавіатурою типу клавіатури пишучої машини, довільним набором перемикачів і ін.

Дисплейна частина мікросхеми забезпечує вивід інформації по двох каналах 4-розряди DSPA3-DSPA0 і DSPB3-DSPB0 у вигляді двійкового коду на 8- і 16-розрядні цифрові або алфавітно-цифрові дисплеї.

Для збереження інформації, що має відображатись в мікросхемі, є оперативний запам'ятовуючий пристрій відображення об'ємом 16 слів х 8 розрядів, який також можна використати як два пристрої об'ємом по 16 слів х 4 розряда, один пристрій об'ємом 16 слів х 4 розряди чи один пристрій об'ємом 8 слів × 8 розрядів.

Інформація на дисплей виводиться двома методами: зліва направо без зсуву, або зправа наліво зі зсувом. Мікросхема відображає інформацію на усіх відомих типах дисплеїв.

Програмування режимів роботи, запису інформації в ОЗУ відображення, читання інформації з ОМ-ОЗУ відображення, а також читання внутрішнього стану мікросхеми здійснюється через 8-розрядний двонаправлений канал даних D7-D0 при подачі відповідних керуючих сигналів.

Мікросхема забезпечує формування кодованих чи дешифрованих інтерфейсних сигналів BD сканування S3-S0 клавіатури і дисплея, а також сигнала для міжрозрядного гасіння інформації на дисплеї.

Наявність вихідної лінії запиту переривання INT і режиму читання внутрішнього стану дозволяють використувувати дану мікросхему в системах з перериванням і послідовним опитуванням зовнішніх пристроїв. Мікросхема допускає одночасне виконання функцій вводу/виводу і розрахована по виводу INT на пряме підключення до шини мікропроцесора.

Команди чи дані записуються в мікросхему після переходу сигналу $\overline{WR}$ з низького у високий рівень.

Буферні схеми каналу даних D7-D0 призначені для обміну інформацією між мікросхемою КР580ВВ79 і мікропроцесором. При подачі $\overline{WR}$ і $\overline{CS}$ здійснюється ввід інформації в мікросхему, а при подачі сигналів $\overline{RD}$ і $\overline{CS}$ - вивід інформації з мікросхеми. Якщо сигнал $\overline{CS}$ знаходиться в стані високого

рівня, то через буферні схеми D7-D0 обмін інформацією між мікросхемою і мікропроцесором не відбувається.

Схема керуавння і сигналізації крім основних своїх функцій виробляє вихідний сигнал $\overline{BD}$ довжиною не більше 150мкс, який використовується для гасіння відображення на дисплеї під час зміни цифр (букв) чи при надходженні команди "гасіння відображення".

2.16.4 Модуль керування та синхронізації.

На роз'єм XS1.1 поступає (лист ДП 049.01.02.000 Э3) напруга з мережі 220В частотою 220Гц. На виході трансформаторів TV1-TV3 отримуються напруги 50В. Випрямлення цієї напруги здійснюють двохпівперіодним випрямлячем на діодах КД105А. Синхронізована напруга для кожної з трьох фаз формується при допомозі генератора, побудованого на мікросхемах К561ЛН2. Транзистор VT1 працює як діод для запобігання пробивання мікросхеми DD1 вхід якої під'єднаний до колектора VT1(оскільки її вхідний опір дуже великий, то при малій напрузі на колектора транзистора на вході мікросхеми напруга різко зросте).

Підсилення сигналу по потужності здійснюється DD3.1, з виходу якої сигнал потрапляє на роз'єм XS2.2 (це сигнал переходу синусоїди фазної напруги через нульовий рівень).

На виходах одновібратора побудованого на мікросхемах DD2, DD3, DD4 та генератора (DD1.4-DD1.6), формуються послідовність імпульсів (N=15), які необхідні для надійного відкриття тиристорів силового модуля.

Частота генератора – 25,6кГц, крім того, що з її допомогою відбувається формування послідовності імпульсів, використовується для синхронізації лічильників модуля керування калорифером (контакт 15 роз'єму XS3).

2.16.5 Блок опитування давачів і формування керуючих сигналів.

На входи роз'єму XS1.2 поступають сигнали від давачів тяги (ВР1-ВР9), давачів критичної температури калориферів(ВК1-ВК8), і контакти (К1-К6) стану внутрішньої атмосфери камери, К1, К2 – давачів вибухонебезпечних концентрацій, К3,К4 – сигнали дистанційного керування всією лінією загального пульта, К5 – ввімкнення камери (якщо робота силових кіл дозволена), К7 – видача сигналу про готовність камери до роботи.

Блок 1#1 – оди з тринадцяти блоків – сигналізує про замикання контактів ВР1, ВР2 давачів тяги. Контакт 1 роз'єму XS1.2 – загальний контакт живлення. Якщо замикається один з контактів давачів, то струм через світлодіоди VD16, VD17, резистори R20, R21, оптопару V1, замикається на землю. Контакт ВР2 – використовує другу частину оптопари V1(яка виконує роль перетворювача логічних рівнів від давача: 24В, на виході оптопари 5В).

Сигнали з оптопари зчитуються з ОЕОМ через шинні формувачі DD15, DD17, DD19, DD21. Сигнал активізації для формувачів з'являється на виходах дешифратора DD30. Дешифратор в свою чергу, активізується сигналами роз'єму XS3.1.

Формується 5 каналів зчитування даних:

1. давачі ВР1-ВР8 – тяги в камері (один стан виходів дешифратора).
2. давачі ВК1-ВК8 – температури в камері (другий стан виходів дешифратора).
3. давач ВР9 – тяги системи витяжки (третій стан виходів дешифратора).
4. сигнал 'STOP' – зупинка всієї лінії (поступає від реле К5).
5. контакти реле К1-К5 (п'ятий стан).

Дешифратор DD29 формує сигнали дозволу на зчитування з регістрів.

Якщо з ОЕОМ поступив сигнал запису (лінія 13 роз'єму XS2.1), дані через шинні формувачі записуються в один з регістрів (DD16, DD18, DD20, DD22).

В регістрі DD16 – дані про керовану групу ТЕНів, DD18 – некеровану групу ТЕНів, DD20 – дані двигунів калориферів, DD22 – двигунів витяжки і повітряної завіси.

Паралельно з роботою однокристальної ЕОМ, проводиться аналіз роботи двигунів, стану температури в камерах калорифера при допомозі схеми логіки.

Блок перевірки роботи двигунів витяжки і повітряної завіси побудований на мікросхемах DD14.1, DD3.6, DD14.2. Блок перевірки тяги і критичної концентрації – DD3.4, DD3.5.

Ці два блоки формують сигнал “1”, якщо тяга є і критична температура не досягнута. Вихідні сигнали цих блоків використовуються логікою DD23-DD25, DD6- DD11, DD13. При допомозі цих мікросхем логіки формуються дозволи на включення силової частини системи, незалежно від сигналів ОЕОМ, і мають вищий пріоритет.

Контакти роз’єму XS2.2 до трьох блоків керування витяжки та повітряної завіси, восьми блоків керування калориферами.

Номери контактів роз’єму XS2.2:

- 15-48 – виходи сигналів логіки;
- 49-60 – входи від схеми керування двигунами;

Контакти 22-29 – сигнали дозволу роботи керованої групи ТЕНів, 30-37 – сигнали дозволу роботи некерованої групи ТЕНів, 38-45 – сигнали дозволу роботи двигунів калориферів.

На шину даних поступають сигнали:

- контакти 48-50 – стан фаз двигуна вхідної завіси;
- контакти 52-54 – стан фаз двигуна другої завіси;
- контакти 57-59 – стан фаз двигуна витяжки;

контакти 51, 56, 60 – сигнали індикації роботи двигунів.

2.16.6 Блок комутації.

При допомозі блоку комутації здійснюється вмикання силових кіл. Процесор в регістри DD1, DD2 записує інформацію про включення напруги в один із 16 каналів (робота відбувається по рівню логічного “0”). На контактах роз’єму XS2.1:

- 2-9 – сигнали керування силовим колом двигунів калориферів;

- 10-12 – сигнали керування силовим колом двигунів витяжки і повітряної завіси;
- 13-15 – сигнали керування реле К6, К7;
- 16,17 – сигнали керування на вмикання живлення.

Ввімкнення двигуна відбувається, якщо один з контактів магнітного пускача замикається.

Якщо клеми фаз розімкненні (роз'єм XS2), напруга на фазах двигуна дорівнює нулю.

На катоді тиристора VS1 силового модуля (ДП 754.01.012.000 Э3) – рівень нуля, який зчитується по лінії зворотнього зв'язку фазної напруги і поступає до модуля керування калориферами і двигунами.

2.16.7 Модуль керування калориферами

На входах U1, U2, U3, роз'єму XS2 – напруга з вторинних обмоток імпульсних трансформаторів.

Через діодний випрямляч, транзисторний ключ, побудований на VT8, сигнал поступає на вхід мікросхеми DD17.1. Якщо хоча б на одному з входів цієї мікросхеми "1" (тобто одна з фаз є відключена), на виході – сигнал заборони подачі сигналів на симистор. Цей сигнал через перетворювач рівнів (DD21) подається на контакти К1-К3 до роз'єму XS1 модуля керування двигунами, на симисторах напруги немає.

Крім цього стан фаз через шинний формувач DD10 надходить до модуля керування. З модуля керування приходять модульовані сигнали синхронізації ASM, BSM, CSM і подаються на логіку DD18-DD20, яка працює в ключовому режимі.

Вмикання напруги на контакт К1 першого імпульсного трансформатора модуля керування двигуном здійснюється через транзистори VT2, VT3, які з'єднані по схемі Дарлінгтона.

В силовому колі живлення двигуна є трансформатор струму TV7. З ростом струму в первинному колі зростає напруга у вторинному колі. З вторинного

кола сигнал подається на контакти 1,2 роз'ємом XS2, далі на трифазний випрямляч, обмежується по струму резисторами R50, по амплітуді через резистор R48, R51 та стабілітрон VD27 фільтрується конденсатором C12. Відфільтрований сигнал поступає на вхід повторювача на мікросхемі К140УД7. На виході повторювача – підсилений сигнал поступає на контакт роз'єму XS1 модуля керування двигуна, далі до АЦП навантаження. Крім того сигнал порівнюється при допомозі компаратора DA4, рівень спрацювання якого встановлюється за допомогою резистора R39, через логіку поступає на тригер DD9.2 дозволу заборони роботи. Якщо на прямому вході тригера "0", на виході мікросхем DD18 рівень логічної "1", забороняється ввімкнення тиристора, світлодіод VD1 – гасне.

Є три канали керування потужністю керованої групи ТЕНів.

В регістр DD1 записується числовий еквівалент потужності, яку необхідно видати на ТЕНи.

Розглянемо керування потужністю для фази А. При кожному синхроімпульсі (AS) в лічильники DD2, DD3 завантажується вміст регістра DD1. Завантаження відбувається паралельно із скиданням тригера DD8.1. З кожним приходом сигналу С від генератора, вміст лічильника збільшується на 1. При переповненні лічильника відбувається встановлення прямого виходу тригера в 1. Чим більше число записане в лічильник тим більша витримка часу, і тим пізніше відкриється симистор, тобто зменшиться потужність, яка подаватиметься на ТЕНи. Сигнал з тригера поступає на одновібратор і модулятор (DD15, DD16, C1-C3, R26-R28), для формування послідовності імпульсів, для моменту часу, коли синусоїда не переходить через 0, далі на логіку подачі сигналів та на імпульсний трансформатор.

Для фази В і С робота схем аналогічна.

На входах мікросхем DD18,DD19 DD20 (шина 25,26,27) – модульовані сигнали, вироблені модулем керування, для ввімкнення симистора в момент переходу синусоїди через 0(DD18 – некерована група ТЕНів, DD19 – керована, DD20 – двигуни калориферів).

При сигналі логічного “0” на базі транзистора VT2 – на шині 14 (вихід колектора VT3) рівень логічнгої “1”, який поступає на імпульсний трансформатор, відбувається відкриття симисторів. І навпаки.

Відслідковування навантаження на кожній фазі.

На двигуні одночасно відслідковується одночасно 3 фази, оскільки одна фаза не працює, то проводиться вимкнення двигуна.

Сигнали про стан фаз двигунів поступають на аналоги мультиплексора (DA1), підсилюються (повторювач DA2) і далі до АЦП навантаження. Сигнал який є на виході DA3 (шина 4) – являє собою максимальну з амплітуд однієї з трьох фаз, обмежується стабілітроном VD10. Якщо рівень амплітуди на фазах ТЕНів вище допустимого – на виході компаратора – високий логічний рівень(заборона роботи).

Аналогічно відбувається відслідковування фазних напруг керованої та некерованої груп ТЕНів.

2.16.8 Блок АЦП навантаження

Роз’єм XS1 шина даних, сигнали керування, шина адреси. Дешифратори DD1- DD3 формують сигнали читання-запису для калориферів (CD – запис даних в роегістрі про кут відкривання симисторів, ED1, ED2 – зчитування станів силової схеми).Сигнали виходів формувача DD4, в сукупності з сигналами CS, RD, WR формують 8 сигналів виборів пристроїв інших дешифраторів.

В регістр DD5 записується номер каналу аналогового сигналу. Який саме канал вибиратиметься, визначається виходами 9,10 дешифратора DD6, сигнали з яких поступають на шинні формувачі DD6, DD7. В цих формувачах протікає інформація від АЦП DA1.

При записуванні в регістри DD5, перекидається тригер DD9, який здійснює витримку часу для завершення перехідних процесів в аналогових каналах, після чого запускає АЦП (на виході READ – сигнал готовності даних).

Вихідні сигнали формувача DD4 – сигнали вибору давача мультиплексора.

2.16.9 Модуль інтерфейсу.

Обмін інформацією між мікропрцесоним блоком системи керування та ПЕОМ поводиться при дпомозі проміжного блоку комутацій. Зв"язок: мікропоцесорний блок ⇔ блок комутації - по інтерфейсу ІРПС, блок комутації ⇔ ПЕОМ інтерфейс RS-232.

Максимальна довжина проводів між блоком комутації та мікропроцесорним блоком стновить 1500м. Заавдостійкість та достовірність передачі інформації на таку відстань забезпечується використанням стабілізованого блоку струму. Блок інтерфейсу - креслення (ДП 754.01.012).

2.16.9.1 Передача ОЕОМ→ЕОМ

Роз'єм SX1.1 (ДП 754.01.012) вихід з ОЕОМ сигналу послідовного зв"язку – TxD. Сигнал поступає на мікросхеми DD1.1, DD1.2, а далі на оптопари YU1.1 та YU1.2. При появі "1" – працює оптопара YU1.1, при появі "0" - YU1.2.

Використання двох оптопар дозволяє більш надійно закрити транзистор VT1 . На емітері цього транзистора – інформаційні сигнали з ОЕОМ. Далі сигнали поступають на стабілізатор струму (40мА – відповідає рівню логічної одиниці, 0мА- логічного нуля, при будь-якій напрузі (рівень якої залежатиме від довжини проводів). Струмові сигнали поступають на роз"єми SX1.2 – вивід TxD і далі до роз"єму SX2.2 (-RxD -3).

Частина струму через резистивний подільник (резистори R21,R22) стікає на "землю" через контакт 4 SX2.2 → контакт 4 SX1.2. Утворюється так звана "струмова петля" – мта використання якої підвищити надійність передачі інформації (чим більший струм, тим більша ймовірність точної передачі лог. "1"). При появі на оптопарі YU2.1 напруги логічної одиницітранзистор (2КТ315) – відкритий і напруга +12В стікає через оптопару на "землю". Іншими словами, на контакті 3 роз"єму SX2.1 – буде –12В, що відповідає рівню логічної одиниці інтерфейсу ИРПС. При появі на вході оптопари YU2 напруги

нульового рівня оптопара закрита, транзистори VT6,VT7 – відкриваються і на контакті 3 роз”єму SX2.1 - +12В – рівень логічного нуля інтерфейсу ИРПС.

Звоортній обмін інформацією (від ЕОМ до ОЕОМ) відбувається через ключ Кл, стабілізатор струму(біля ОЕОМ) та приймач ОЕОМ .

При появі на вході ключа Кл рівня логічного нуля (“+12В”) – транзисторVT 1 відкривається, спрацьовує YU1.1 – спрацьову, транзитор VT5 – відкривається, в колі колектор – емітер цього транзистора починає протікати струм від стабілізованого блоку струму через контакт 1 SX2.2, транзистор VT5, контакт 2 SX2.2 і на контакт 2 SX1.2 , резистивний подільник вхід оптопари YU3.2 - оптопара відкривається і сигнал +5В стікає на “землю”. На вході МС DD1.4 логічний “0” і на контакт 2 роз”єму SX1.1 теж логічний “0”.

2.16.9.2 Передача ЕОМ → ОЕОМ

При появі на вході подільника ключа Кл рівня логічного нуля (-12В) транзистор VT7 відкритий, сигнал “gnd” через транзистора, резистор R17 вмикає оптопару YU1.2. Транзистор VT8 закритий. Коло: контакт 1 роз”єму SX2.2 – контакт 2 роз”єму SX2.2, розіване. Оптопара YU3.1 не ввімкнена. На виході МС DD1.4 +5В, тобто рівень логічної одиниці, який надходить до ОЕОМ (контакт 2 роз”єму SX1.1).

При появі на вході подільника ключа Кл рівня логічної одиниці (+12В) – на виході МС DD1.4 - 0В.

2.17 Модуль АЦП термопар. Принцип роботи блоку вимірювання та регулювання температури.

Блок призначений для вимірювання, регулювання і сигналізації відхилення температури. Прилад виготовляється восьмиканальним показуючим, регулюючим і сигналізуючим. Також забезпечує:

- вивід на екран в цифровому вигляді результата вимірювання неперервно по буль-якому з восьми каналів, вибраному оператором, або циклічно по

кожному з восьми почергово підключених до входу каналів в циклічному режимі;

- формування двох незалежних вихідних позиційних сигналів відхилення температури від заданого значення за допомогою двох незалежних дискретних задатчиків “ГРУБО” і “ТОЧНО” по по кожному каналу;
- вивід номера каналу, результат вимірювання по якому в даний момент відображається;
- аналіз стану вхідного ланцюга по кожному каналу, тобто індикацію обриву перетворювачів електричних.

Блок працює за рахунок вимірювання напруги постійного струму.

Напруга, що виникає на під’єднаних до приладу (блоку) термопарах і є вхідною величиною. Термопари приєднані до прибору екранованими термокомпенсаційними проводами відповідного градуювання. Приєднання термопар до приладу здійснюється через клемову колодку Х1 блока вимірювання.

Вхідний сигнал Uвх поступає на входи комутатора, де здійснюється паралельна вибірка каналів. В даному випадку використовується мікросхема К590КН2, виконана по КМОН- технології, призначена для комутування аналогових і цифрових сигналів. Це чотирьох-канальні МОН- ключі зі схемою управління. За вмикання відповідних аналогових входів мультиплексора відповідають логічні входи, які під’єднуються до виходів дешифратора.

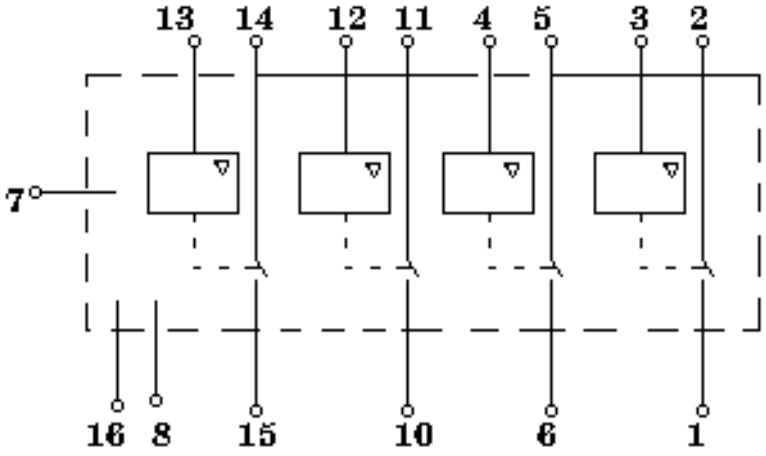


Рисунок 2.4 – Схема функціональна мікросхеми К590КН2

Термопари під’єднуються до аналогових входів мікросхеми, а саме 2, 5, 11, 14 виводи. На логічні входи 3, 4, 12,13 з шини даних через дешифратор подається інформація для спрацювання конкретного каналу. В результаті відбувається замикання одного з ключів на аналогових виходах.

На входи дешифратора К555ИД А0-А7 з шини даних через регістр і гальванічну розв’язку подається код в напрузі низького логічного рівня, що появляється на одному з восьми виходів 0-7. Дешифрація відбувається, коли на входах Е2, Е3 напруга низького рівня (логічний “0”), а на вході Е1 високого (логічна “1”). При інших комбінаціях рівнів на входах на всіх виходах наявна напруга високого рівня (логічна “1”).

Аналоговий сигнал, що поступає з комутатора, піддається підсилено в ряді операційних підсилювачів, виконаних на біполярних і польових транзисторах з ізоляцією елементів діелектриком. Для додаткової корекції і регулювання частоти використовуються RC- ланки.

Перетворення вхідного сигналу в цифровий здійснюється за допомогою мікросхеми К1108ПВ2, що являє собою функціонально завершений, спряжений з мікропроцесором 12- розрядний АЦП призначений для перетворення вхідної напруги в діапазоні від 0 до 5В в прямий двійковий код.

Структурна схема АЦП показана на рис.2.4.

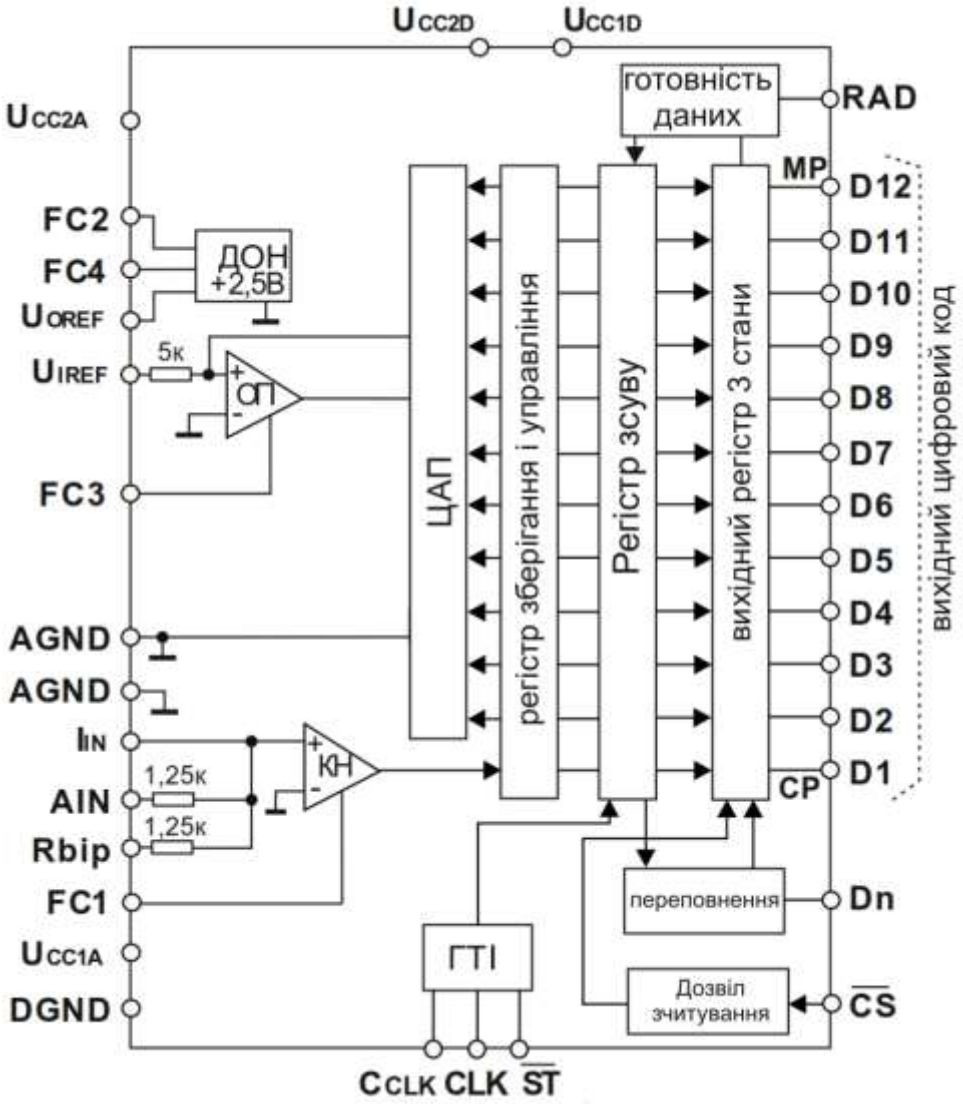


Рисунок 2.4 – Структурна схема АЦП К1108ПВ2.

Мікросхема розміщена в металокерамічному корпусі з вертикальним розташуванням виводів.

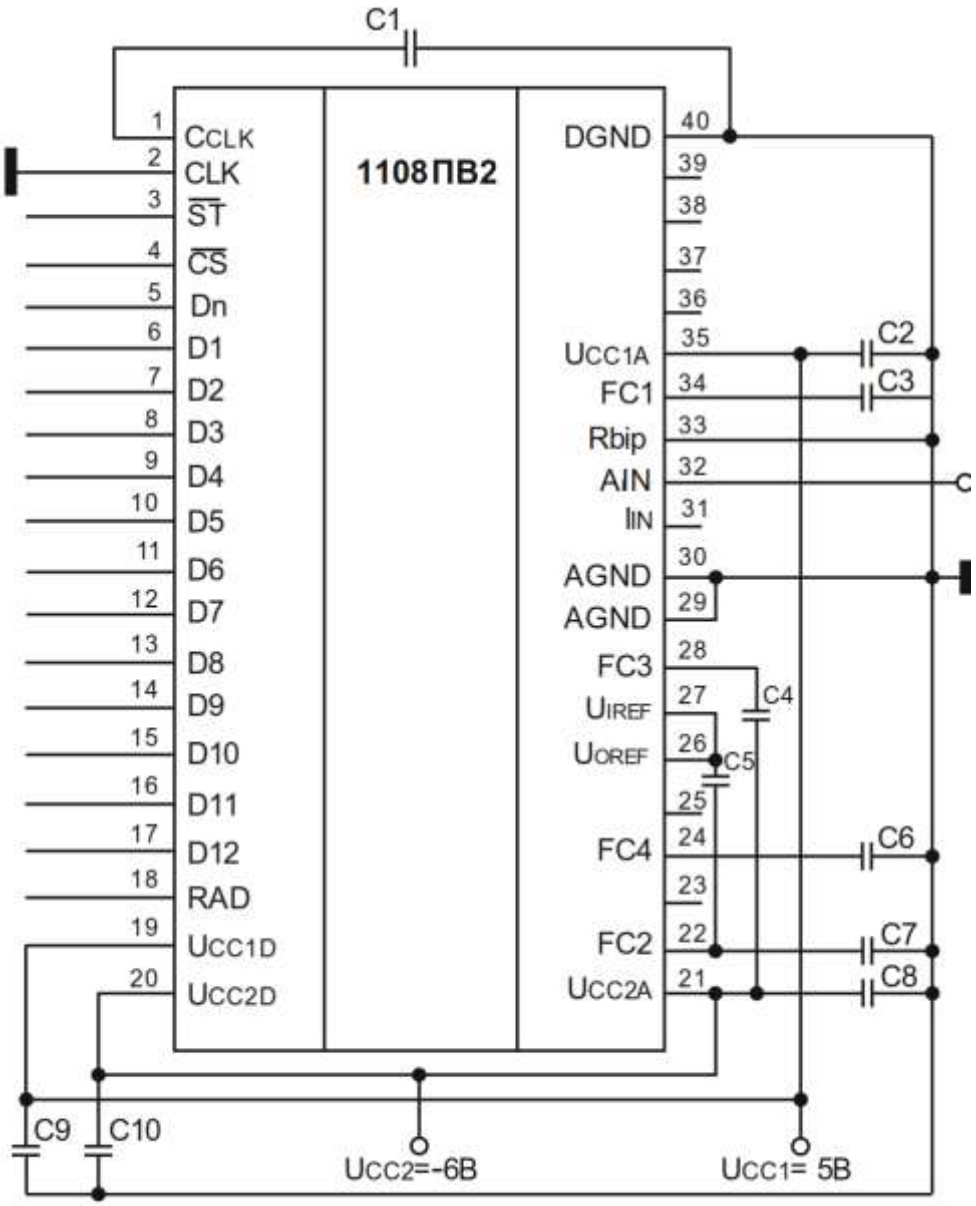


Рисунок 2.5 – Нумерація і призначення виводів мікросхеми АЦП К1108ПВ2.

Нумерація і призначення виводів мікросхеми, рис. 2.5:

1, 2 – внутрішній і зовнішній тактові входи С;

3 – вхід запуска $\overline{ST}$.

4 – дозвіл зчитування $\overline{RD}$;

5 – вихід розряда переповнення FS;

6 – цифровий вихід1 (СР);

7–16 – цифрові виходи 2–11;

17 – цифровий вихід 12 (МР);

18 – вихід готовності даних $\overline{RAD}$;

19 – напруга джерела живлення Ucc1 (цифрова частина);

20 – напруга джерела живлення Ucc2 (цифрова частина);

21 – напруга джерела живлення Ucc2 (аналогова частина);

22,24 – корекція джерела опорної напруги FC2;

26 – вихід внутрішнього джерела опорної напруги;

27 – опорна напруга UREF;

28 – корекція операційних підсилювачів FC1;

29, 30 – загальний (аналогова земля), інверсний вихід ЦАП;

31 – аналоговий вхід (струму); 32– аналоговий вхід (напруги) UIRN;

33 – резистор біполярного зміщення;

34 – корекція КН FC3;

35 – напруга джерела живлення Ucc1 (аналогова частина);

40 – загальний (цифрова земля); 2

3,25, 36–39 – незадіяні виходи.

Діапазон вхідної напруги UIRN,В- – 3,5-5,5; опорна напруга на виводах 23 і 33 UREF- 2,0-4,0В.

В мікросхемі використаний класичний спосіб однокомпараторної побудови аналогово-цифрового перетворення. Компаратор напруги здійснює порівняння вхідного сигналу (вхідної напруги Uвх), опорна напруга (Uоп). Опорна напруга є незмінна по величині напруга додатної чи від'ємної полярності, вхідна напруга змінюється в часі. При досягненні вхідною напругою рівня опорної здійснюється зміна її полярності на виході КН, наприклад з $U^{+}_{вих max}$ на $U^{-}_{вих max}$. Компаратор являє собою нуль- орган, оскільки його переключення здійснюється при Uвх-Uоп ≈ 0.

В даному випадку за допомогою КН виконується порівняння еталонних струмів з виходу ЦАП і струму, що протікає через вхідний резистор перетворювача. Особливість КН полягає в низькому вхідному опорі і побудові підсилювального каскаду по схемі з загальною базою для досягнення

максимальної швидкодії. Стабілізація робочих потенціалів схеми забезпечується допоміжним операційним підсилювачем, в ланцюг частотної корекції якого (вивід 34) включається зовнішній конденсатор.

Струмові перемакачі в сукупності з матрицею двійково врівноважених резисторів (еквівалентний опір 600Ом) створює вісім молодших розрядів ЦАП. Виходи чотирьох старших розрядів ЦАП, виконаних по принципудекомпозиції, комутуються 15 ідентичними струмовими перемикачами, що керуються від РПН через дешифратор двійкового коду в одиничний. Така структурна будова ЦАП визначає зовнішній вид статичної передаточної характеристики перетворювача вцілому.

Номінальний робочий струм ЦАП (при умові, що всі струмові перемикачі відкриті) складає 5мА.

Вбудований ДОН об’єднує елементи стабілізації, частотної компенсації, фільтрації. Це дозволяє знизити рівень шумів АЦП, що вносять по ланцюгу UREF. До виходу ДОН (вивід 26) допускається підключення зовнішнього конденсатора фільтрації ємністю до 0,47 мкФ. Струм в ланцюгу виходу ДОН в уніполярному режимі не більше 2,5мА.

Даний АЦП відноситься до перетворювачів порозрядного врівноваження. Процес врівноваження здійснюється в напрямку від старших розрядів до молодших.

Компенсуюча напруга змінюється за законом:

$$U_К=U_{ОП}\sum_{i=1}^{n}2^{-i}a_i$$

де n- число розрядів АЦП;

a_i – стан ключа i- го розряду (a_i=0 чи 1).

Тривалість циклу перетворення в аналогово- цифровому перетворювачі порозрядного врівноваження постійна, не залежить від змінюваної величини і пропорційна числу розрядів n..

$$T_n=n/f_T,$$

де f_m – частота тактових імпульсів.

Внутрішні ГТІ здатний працювати як в автоколивальному режимі, так і під дією зовнішніх тактових сигналів.

Часова діаграма роботи АЦП характерна тим, що перетворення в ньому відбувається за 14 тактів, при чому перший такт від моменту запуску службовий. Напротязі цього такта зміна амплітуди сигналу допускається на вході АЦП.

Керування мікросхемою по тактовому входу (вивід2), входу запуску (вивід3) і входу дозволу зчитування (вивід4) здійснюється сигналом логічний "0". В АЦП виробляються сигнали кінця перетворення $\overline{RAD}$ (вивід18) і переповнення FS (вивід5). Сигнал FS з рівнем логічна "1" появляється при зчитуванні результата перетворення.

Типові залежності абсолютної похибки перетворення в кінцевій точці шкали АЦП К1108ПВ2 від напруги джерела живлення і температури оточуючого середовища показані на рис.

В більшості випадків АЦП даного типу експлуатуються сумісно з джерелами живлення Ucc1 =5В і Ucc2=-6В з допустимими відхиленнями ±5%. Потужність, що використовує мікросхема не перевищує 1,3 Вт.

Через гальванічну розв'язку, що являє собою систему паралельноз'єднаних оптопар, шинні підсилювачі, отриманий цифровий сигнал подається на двонаправлену шину даних.

Блок формування сигналу переривання (ФСП) містить мікросхему К555ТМ2, що побудована на двох незалежних D-тригерах. Вони мають властивість зберігати стан логічної "1" після зняття вхідного сигналу до приходу тактового імпульсу. Активний рівень для вх. $\overline{S}$, $\overline{R}$ - логічний "0". Сигнал від входу D передається на вихід $\overline{Q}$ по позитивному перепаду імпульсу на тактовому вході С (від "0" до "1"). Такий перепад здійснюється при закінченні формування коду на АЦП. При наявності на виході $\overline{Q}$ логічного "0" активізується режим переривання INT.

При появі даних на ШД вони надходять у регістр К555ИР23, який приймає і відтворює інформацію синхронно з додатнім перепадом на тактовому вході С, вихідні буферні підсилювачі регістра мають третій Z-стан.

Передача інформації на дешифратор здійснюється з певним інтервалом у часі. Ці затримки формуються в формувачі часових інтервалів (ФЧІ). Формувач побудований на мікросхемі К555ТМ2 і ряду резисторів. За рахунок різниці їх номінальних опорів (1кОм і 510Ом) дані з регістру передаються в певному часовому інтервалі і через гальванічну розв'язку передаються на дешифратор.

В даному приладі для живлення інтегральних схем використовується широтно імпульсний блок живлення. Граничне регулювання напруги ±0,05 відсотки. Джерело живиться від мережі 220В частотою 50 Гц, складається з мостової схеми випрямляча та інтегрального стабілізатора, для збудження коливань використаний трансформатор.

Двонаправлений стабілізатор напруги 142ЕН6 має фіксовану вихідну напругу і можливість її регулювання. За допомогою зовнішнього перемінного резистора, що включається між виводами CNTR і GND можна регулювати вихідні напруги в діапазоні ±5...±15В. Також використовується стабілізатор позитивної напруги 142ЕН5.

Переваги застосування даного блоку живлення- висока завадостійкість джерел споживання відносно мережі. З технологічного плану менше застосування мідних провідників, малі габарити і мала масса.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз технологічного об”єкту з точки зору управління

3.1.1 Розробка управляючої моделі

Для управління технологічного процесу оплавлення порошкової фарби необхідно забезпечити виконання управляючої моделі. Модель управління включає в себе 3 основні блоки, які дозволяють створити відповідне середовище в об”єкті для оплавлення деталей:

- блок вимірювання температури. Його основною функціональною частиною являється 8 термопар;
- блок управління процесами – система керування;
- блок нагріву, його функцію забезпечує робота калориферів, які містять пари керованих і некерованих ТЕНів і вентилятор для циркуляції нагрітого повітря.

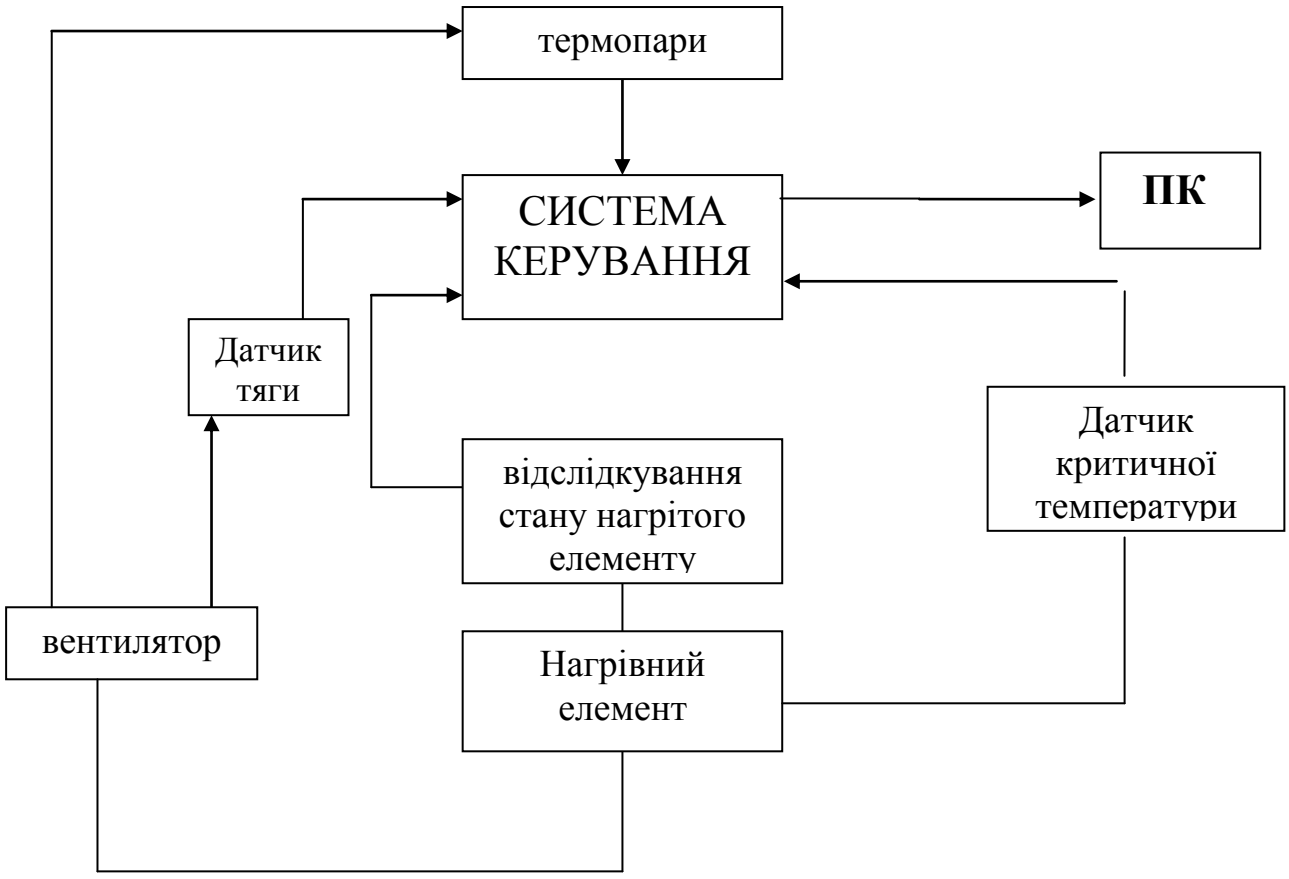


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматичного управління камерою оплавлення покриттів

3.1.2 Формалізований опис функції управління

Використовуючи сітки Петрі проводимо аналіз роботи системи керування камерою оплавлення по ймовірностях спрацювання технологічного обладнання та ймовірностях власного спрацювання.

Мережа Петрі складена по системі автоматичного управління, модель якої розробляється в кваліфікаційній роботі, містить 9 переходів та 10 позицій:

Перехід t1 на позицію p1 – ввімкнення системи.

t2 – перехід на позицію тестування p2.

t3 – перехід перемикач, здійснення перемикання в залежності від ймовірності правильного вмикання.

Позиція p3 – здійснення перевірки температури.

p4 – вимикання системи, якщо наявні несправності.

p10 – позиція проведення наладки.

Позиція p6 – в ній здійснюється перевірка чи знаходиться температура ТЕНа в діапазоні, який відповідає 255 тактам.

p9 – вибір наступного ТЕНа.

p8 – вмикання на меншу потужність.

p7 – кінцева позиція.

Переходи перемикачі:

t4 - перехід в позицію перемикання ТЕНів.

t5 – перехід на опитування наступного ТЕНа.

t6 – перехід в режим пониженої потужності.

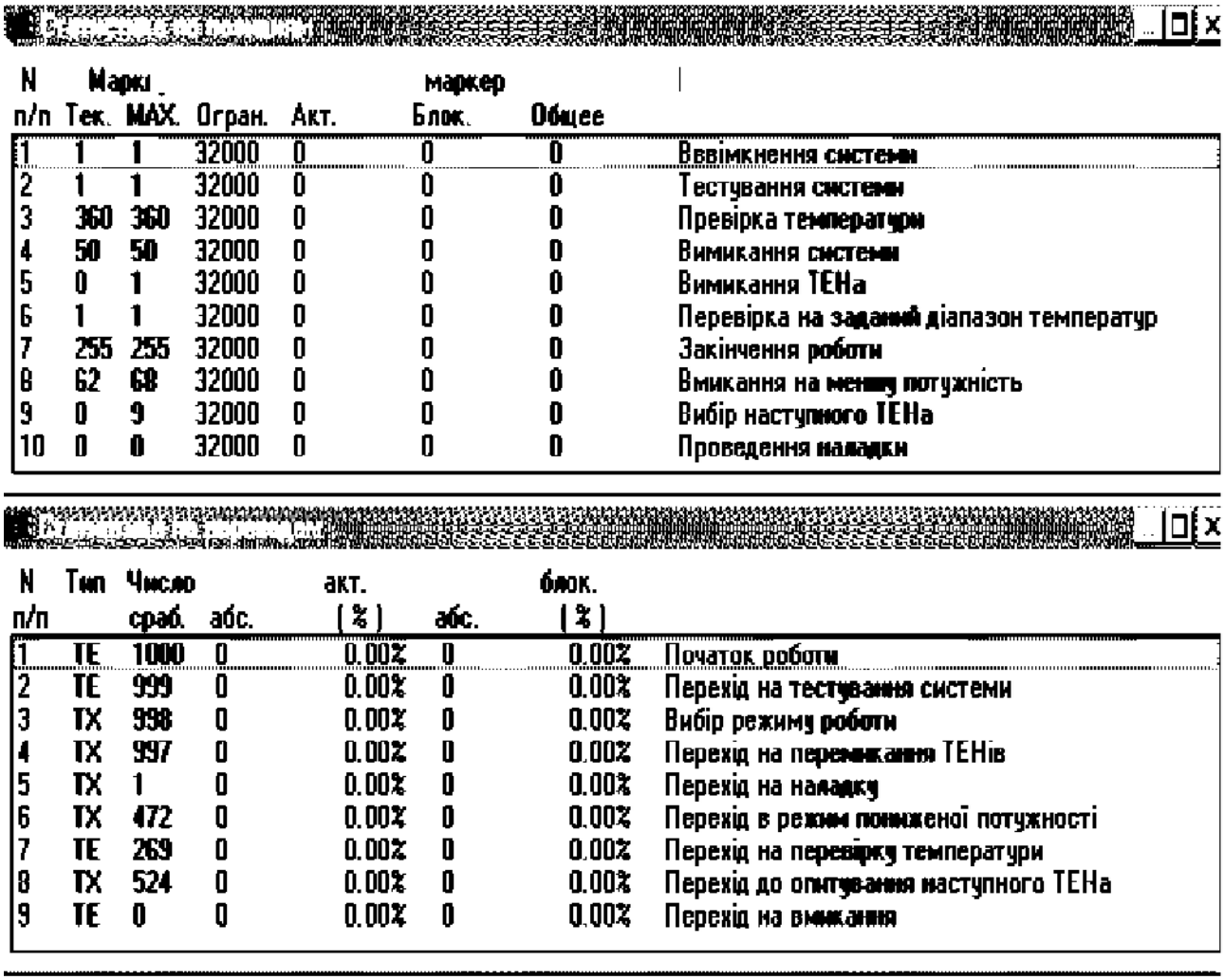
t5 – перехід в режим наладки.

Ймовірності здійснення переходів проставлені у відповідності із статистичними даними, які отримані в результаті тестування аналогів системи.

Перехідні інваріанти – визначають циклічну послідовність спрацювання переходів в мережі – переходи по опитуванню числа N ТЕНів.

Позиційні інваріанти – здійснюють зважування позицій в залежності від проставлених ймовірностей.

В зведених таблицях статистики по переходах і позиціях відображено число спрацювань перемикачів та число дій виконаних в позиціях.



N п/п	Марки Тек.	MAX.	Огран.	Акт.	маркер Блок.	Общее	
1	1	1	32000	0	0	0	Ввімкнення системи
2	1	1	32000	0	0	0	Тестування системи
3	360	360	32000	0	0	0	Превірка температури
4	50	50	32000	0	0	0	Вимикання системи
5	0	1	32000	0	0	0	Вимикання ТЕНа
6	1	1	32000	0	0	0	Перевірка на заданий діапазон температур
7	255	255	32000	0	0	0	Закінчення роботи
8	62	68	32000	0	0	0	Вмикання на меншу потужність
9	0	9	32000	0	0	0	Вибір наступного ТЕНа
10	0	0	32000	0	0	0	Проведення наладки

N п/п	Тип	Число сраб.	акт. абс.	(%)	блок. абс.	(%)	
1	TE	1000	0	0.00%	0	0.00%	Початок роботи
2	TE	999	0	0.00%	0	0.00%	Перехід на тестування системи
3	TX	998	0	0.00%	0	0.00%	Вибір режиму роботи
4	TX	997	0	0.00%	0	0.00%	Перехід на перемикання ТЕНів
5	TX	1	0	0.00%	0	0.00%	Перехід на наладку
6	TX	472	0	0.00%	0	0.00%	Перехід в режим пониженої потужності
7	TE	269	0	0.00%	0	0.00%	Перехід на перевірку температури
8	TX	524	0	0.00%	0	0.00%	Перехід до опитування наступного ТЕНа
9	TE	0	0	0.00%	0	0.00%	Перехід на вимикання

Рисунок 3.2 – Статистика по позиціях і переходах.

Позиційні інваріанти мережі	Перехідні інваріанти мережі
0 0 1 -1 1 0 -1 -1 2 0 0 0 -1 1 1 -2 1 -1 0 0	-1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 1 -1 1 -1 -1 -1 1

Рисунок 3.3 – Позиційні інваріанти мережі, Перехідні інваріанти мережі

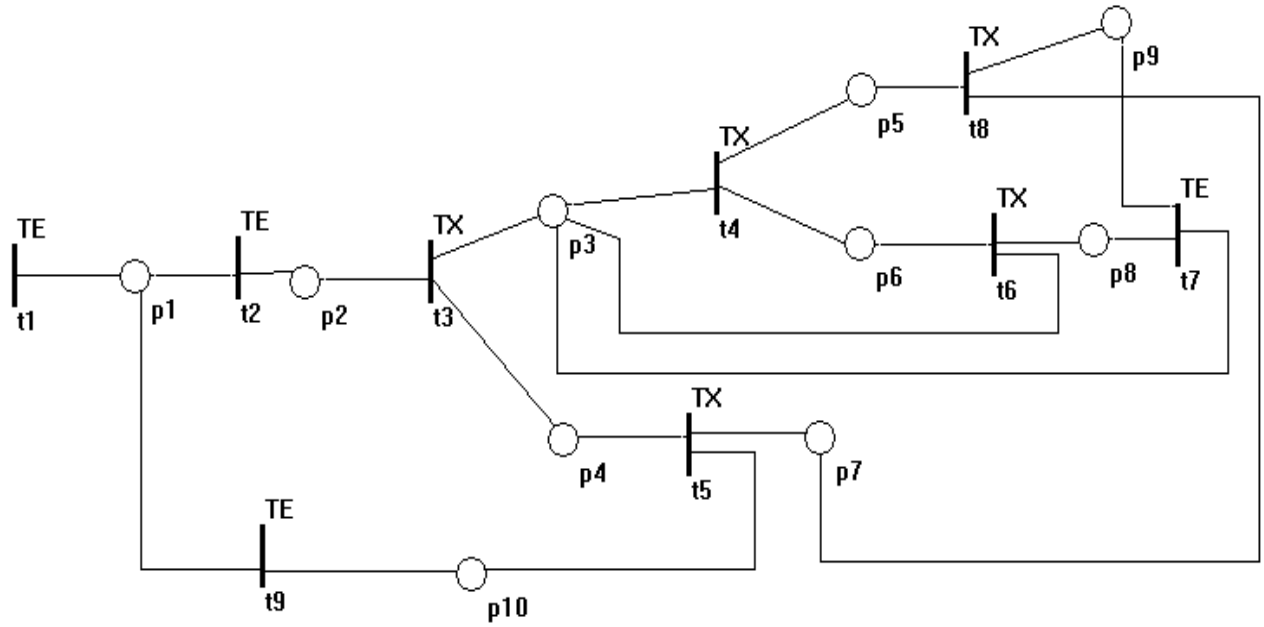


Рисунок 3.4 – Узагальнена модель системи управління камерою оплавлення.

3.2 Програмування мікроконтролерів сімейства Intel 8051 за допомогою програмного пакета IDE SILABS

Інтегроване середовище розробки Silicon Laboratories IDE (Silabs IDE) є спеціалізованим програмним комплексом, призначеним для проектування програмного забезпечення однокристальних мікроконтролерів архітектури Intel 8051 та їхніх модифікацій. Дане середовище об'єднує повний спектр інструментальних засобів, необхідних для створення, редагування, компіляції, асемблювання, компонування, завантаження та налагодження прикладного програмного коду.

Функціональна структура Silabs IDE містить такі базові елементи:

- стандартний графічний інтерфейс користувача ОС Windows;
- повнофункціональний текстовий редактор вихідного коду з підтримкою підсвічування синтаксису;
- менеджер (організатор) проектів;
- компілятор мови програмування С;
- макроасемблер;
- модуль налагодження (налагоджувач);
- інтегровану довідкову систему.

Початкова стадія проектування передбачає формування вихідного тексту програми заданою мовою програмування високого або низького рівня. Наступним кроком є його трансляція або компіляція в машинні коди відповідно до системи команд цільового мікроконтролера за допомогою асемблера чи компілятора. Ці інструментальні засоби є прикладним програмним забезпеченням, що здійснює синтаксичний аналіз текстового файлу вихідного коду та генерує відповідні об'єктні файли, які містять еквівалентний об'єктний код.

Після завершення етапу компонування (лінкування) окремих об'єктних модулів виконується налагодження, верифікація, оптимізація та тестування розробленого програмного забезпечення.

Silabs IDE інтегрує всі стадії проектування прикладного програмного забезпечення в єдиний ітераційний процес, забезпечуючи можливість оперативного повернення на будь-який із попередніх етапів розробки для внесення коректив.

До складу базового інструментарію Silabs IDE входять такі компоненти:
крос-компілятор мови С (C51);
макроасемблер (A51);
компонувальник (L51);
модуль налагодження та програмного симулятора.

3.2.1 Оптимізуючий крос-компілятор C51 (Keil C51)

Мова програмування С є універсальною інструментальною мовою, що забезпечує високу ефективність генерації об'єктного коду, підтримку концепцій структурного програмування та володіє розвиненим апаратом операторів. Кросплатформеність та відсутність жорстких обмежень щодо апаратної реалізації визначають мову С як гнучкий та ефективний засіб вирішення широкого спектра інженерних і наукових задач. Значна кількість прикладного програмного забезпечення може бути реалізована за допомогою мови С з меншими часовими витратами та вищою обчислювальною ефективністю, ніж у разі використання вузькоспеціалізованих мов.

Крос-компілятор C51 є повнофункціональною реалізацією стандарту ANSI (American National Standards Institute), адаптованою до специфіки архітектури мікроконтролерів сімейства Intel 8051. Цей інструментарій забезпечує генерацію оптимізованого коду для всього модельного ряду зазначеного сімейства, поєднуючи гнучкість розробки мовою високого рівня з ефективністю та швидкодією програмного коду, написаного мовою асемблера.

Використання мови високого рівня С має такі переваги порівняно з низькорівневим асемблерним програмуванням:

- відсутність потреби в детальному вивченні системи команд цільового процесора (базові знання архітектури Intel 8051 є бажаними, проте не критичними для розробника);
- автоматизація розподілу регістрової пам'яті та вибору режимів адресації безпосередньо засобами компілятора;
- підвищення рівня читаності та верифікації коду завдяки використанню абстрактних ключових слів і функцій, наближених до природної логіки декомпозиції задач;
- суттєве скорочення термінів розробки, тестування та налагодження прикладного програмного забезпечення;
- наявність розвинених бібліотек стандартних підпрограм і функцій, які інтегруються у прикладне програмне забезпечення;
- підтримка методології модульного проектування, що дозволяє повторно використовувати раніше розроблені програмні модулі у нових проектах.

Версія Keil C51, котра постачається разом із модулем налагодження, інтегрується в середовище проектування автоматично під час встановлення IDE. Ця модифікація має функціональне обмеження (Code Limit), що дозволяє компілювати об'єктні модулі розміром, який не перевищує 2 Кбайт. Детальна довідкова інформація та керівництво користувача компілятора містяться у файлі c51.pdf (директорія \Silabs\MCU\hlp), доступ до якого можна отримати безпосередньо через головне меню середовища: Help > Keil Compiler Manual.

3.2.2 Макроассемблер A51 (Keil Software A51)

Макроасемблер A51 є повністю сумісним із галузевим стандартом ASM51 і призначений для всього сімейства мікроконтролерів архітектури Intel 8051. Цей інструментарій забезпечує трансляцію символічної мнемоніки вихідного коду в оптимізований об'єктний код, що характеризується мінімальним обсягом займаної пам'яті та максимальною швидкодією.

За умови активації опції генерації налагоджувальних даних («Include debugging information»), сформований об'єктний файл містить вичерпну

символічну інформацію. Це дозволяє здійснювати повноцінне проектування та верифікацію програми за допомогою програмних симуляторів, апаратно-програмних налагоджувачів або внутрішньосхемних емуляторів (ICE).

Вбудований макропроцесор суттєво інтенсифікує процес розробки та мінімізує часові витрати завдяки можливості одноразового опису та багаторазового виклику уніфікованих кодових послідовностей (макросів). Крім того, макроасемблер A51 підтримує повнофункціональний символічний доступ до всіх апаратних компонентів мікроконтролера і гнучко адаптує конфігурацію під специфіку архітектури конкретної модифікації чи клону Intel 8051.

Технічний опис та керівництво користувача макроасемблера англійською мовою представлені у файлі a51.pdf (директорія \Silabs\MCU\hlp).

3.2.3 Компонувальник L51 (BL51)

Компонувальник (лінкер) призначений для об'єднання одного або кількох об'єктних модулів у єдиний виконуваний файл програми. У процесі функціонування компонувальник здійснює розв'язання зовнішніх і загальних (глобальних) посилань, а також призначає абсолютні адреси переміщуваним сегментам програмного коду та даних. Даний інструментарій має високу сумісність і здатний обробляти об'єктні модулі, згенеровані крос-компілятором C51, макроасемблером A51, а також транслятором мови PL/M-51 та асемблером ASM51.

Компонувальник в автоматичному режимі визначає й підключає відповідні системні бібліотеки підтримки, забезпечуючи лінкування виключно тих бібліотечних модулів, які безпосередньо викликаються у програмі. Базові конфігураційні параметри компонувальника L51 оптимізовані для задоволення вимог більшості прикладних задач, проте розробнику надається можливість гнучкого індивідуального налаштування параметрів розміщення сегментів пам'яті та архітектурних обмежень.

3.2.4 Відладчик/симулятор

Модуль налагодження вихідного коду (налагоджувач/симулятор) інтегрований із крос-компілятором C51, макроасемблером A51, транслятором мови PL/M-51 та асемблером ASM51. Даний інструментарій дозволяє здійснювати програмне моделювання більшості архітектурних особливостей мікроконтролерів Intel 8051 без залучення фізичних апаратних засобів. Його застосування забезпечує можливість повноцінної верифікації та налагодження прикладного програмного забезпечення на етапах розробки, що передують етапу проектування та виготовлення безпосередньо апаратної платформи (прототипу пристрою).

При цьому середовище симуляції підтримує високоточне моделювання широкого спектру вбудованих периферійних пристроїв, зокрема послідовного інтерфейсу передачі даних (UART), паралельних портів введення-виведення загального призначення, а також системних таймерів/лічильників.

3.2.5 Програмування 8051 F064EK

Запуск IDE Silabs та відкриття файлу проекту. IDE Silabs запускається зі стартового меню Windows подібно до інших додатків (рис. 3.6).

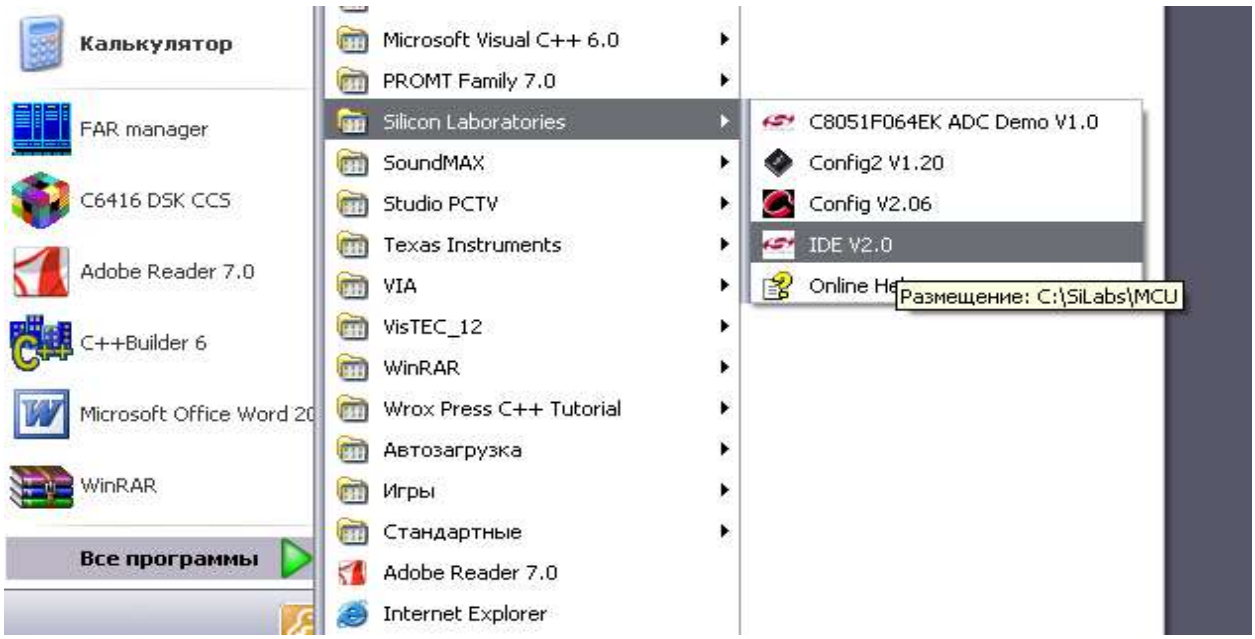


Рисунок 3.6 – Запуск програми

Для того, щоб відкрити файл проекту:

- Виберіть Open Project > Project.
- У діалоговому вікні Open File знаходимо свій каталог і обераємо у ньому файл blink.wsp. Файл із розширенням .wsp містить конфігурацію проекту. Вікно відладчика IDE представлене на рис. 3.7.

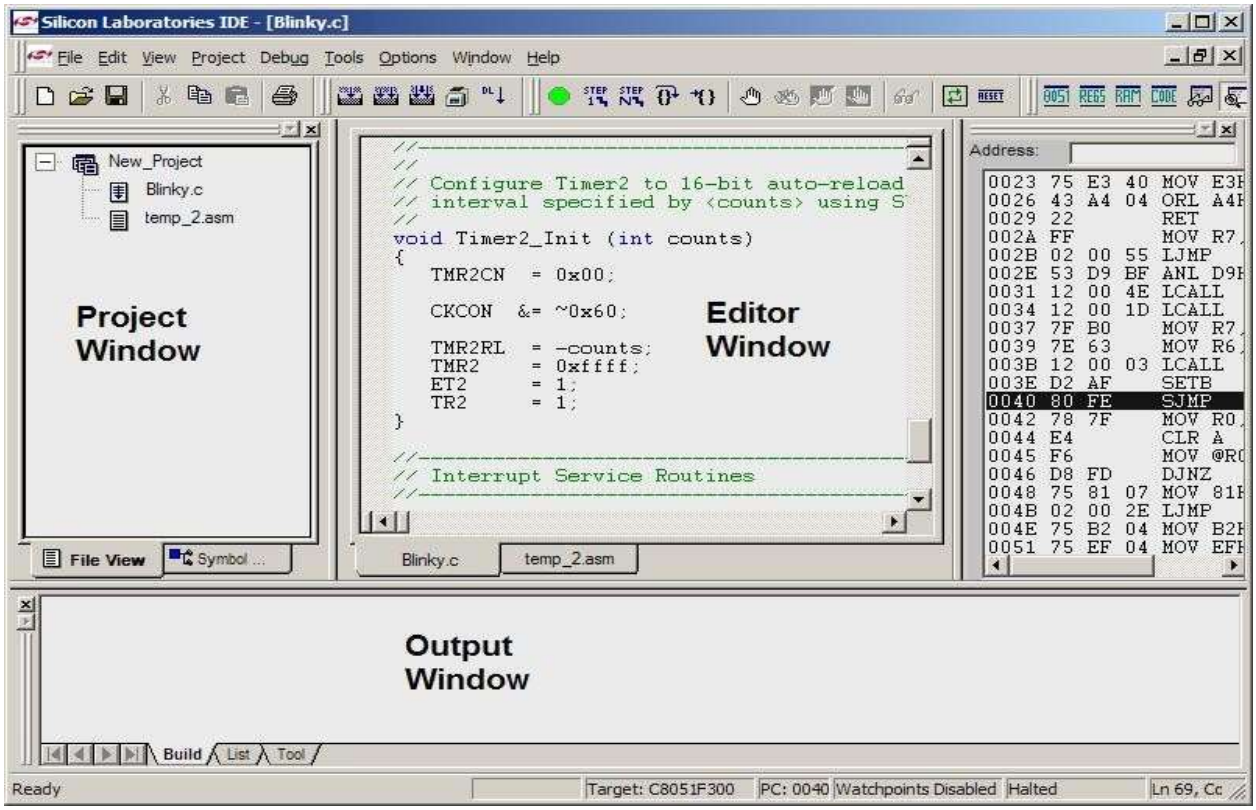


Рисунок 3.7 – Вікно відладчика IDE Silabs

У лівому вікні IDE Silabs знаходиться деревоподібна структура Project Window, що відображає структуру проекту (рис.3.8).

Рисунок 3.8 – Діалогове вікно Project Window

Клацнувши по іконці будь-якого файлу зі складу проекту, можна отримати листинг у стандартному вікні редагування (рис.3.9). IDE Silabs завантажує та показує вміст prog.asm у вікні, де можна редагувати файл. Вікно редагування – повнофункціональний редактор вихідного тексту, що пропонує такі можливості, як висвічування синтаксичних елементів.

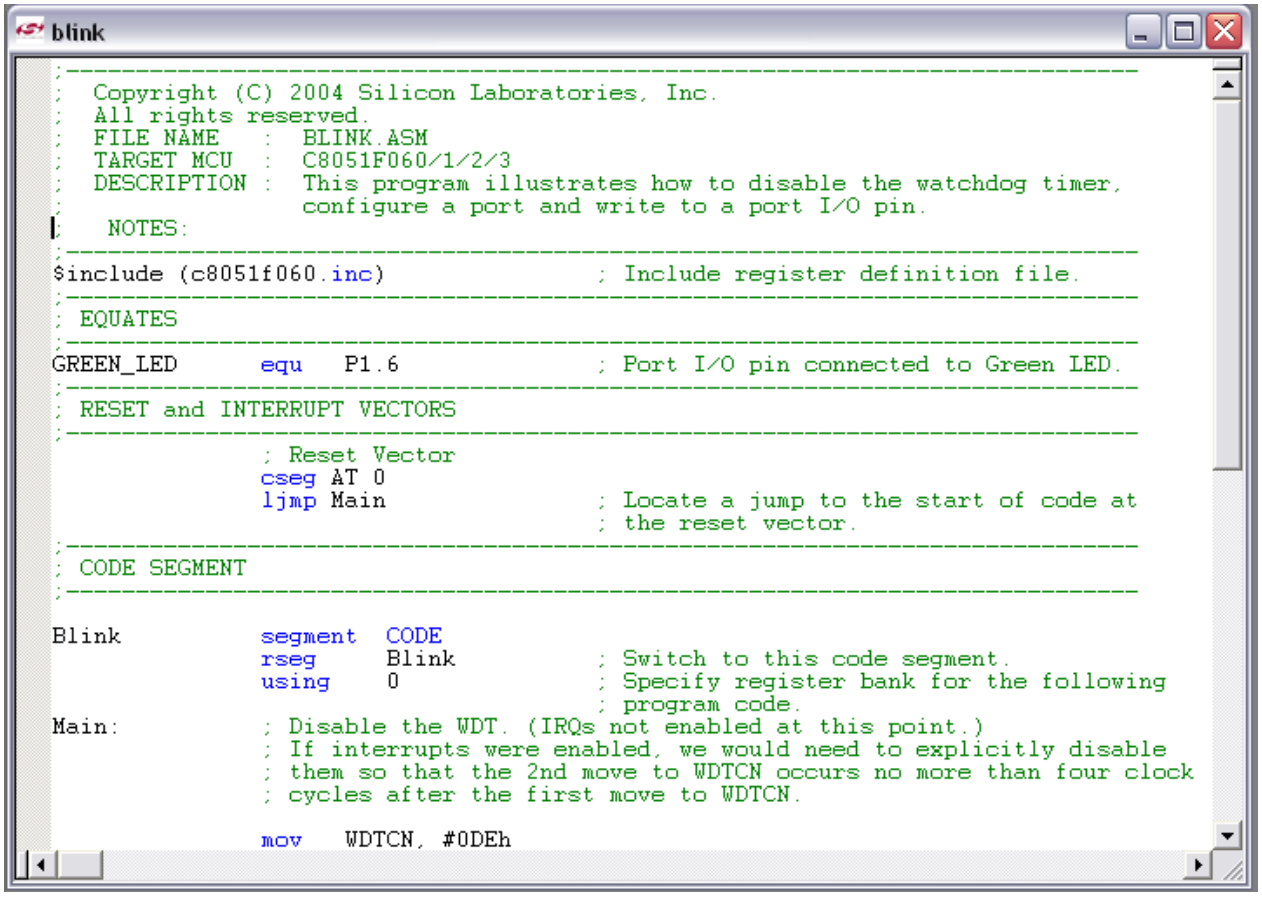


Рисунок 3.9 –Вікно редагування

Вибравши пункт Build/Make Project або Rebuild Project з меню Project, – проведемо компіляцію та складання проекту. Результат буде відображатися у вікні повідомлень із попередженнями (WARNINGS) та помилками (ERRORS) (мал. 3.10).

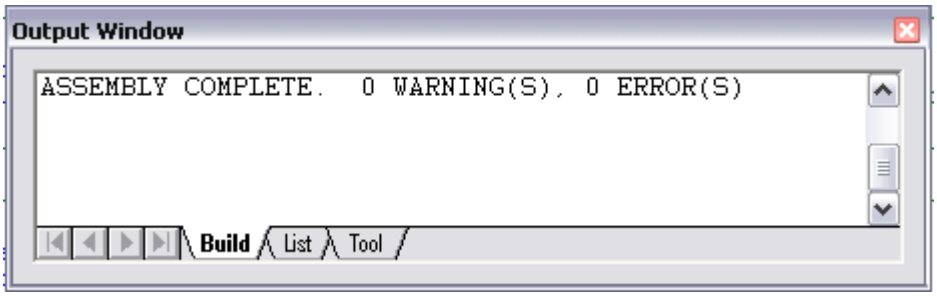


Рисунок 3.10 – *Вікно повідомлень*

У разі потреби налаштовуємо опції зв'язку через меню Options>Connection Options. У вікні «Connection Options» (мал. 3.11) встановлюємо параметри для даної налагоджувальної плати параметри USB serial adapter і JTAG налагоджувач.

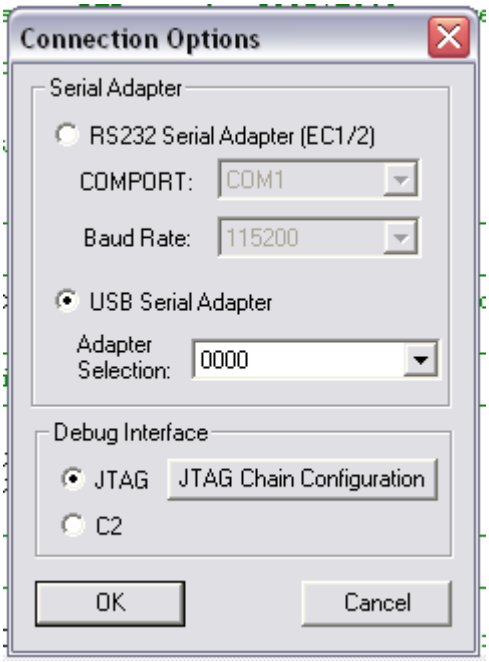


Рисунок 3.11 – Вікно налаштування параметрів зв'язку

Вибравши пункт меню Debug>Connect, проводимо зв'язок з модулем налагодження. Вибравши пункт меню Debug> DownLoad Object File, завантажуємо об'єктний файл проекту в область Flash пам'яті програм МК.

Далі, скориставшись налагоджувальними можливостями, відпрацьовуємо сеанс покрокового налагодження проекту всередині системи (In-system). На рис. 3.12 показано, як виглядає екран відладчика IDE Silabs під час виконання програми. Існує можливість користуватися відладчиком, щоб переміщатися за

програмою. Вибираємо Reset з меню Debug (ця команда скидає процесор, що моделюється) та запускаємо команду Step Into і Step Over з меню Debug. Виберіть Start у меню Debug. Обираємо команду Run із меню Debug або натискаємо кнопку на відлагоджувальній платі. Команди Step дозволяють крокувати по кожному рядку вихідного тексту. Поточна команда висвітлюється на кожному кроці. Step Into – входження у функцію, що викликається, Step Over – переступання через неї, не входячи всередину.

Для завершення роботи з відладчиком у будь-який момент часу можна вибрати Disconnect з меню Debug і повернутися в режим редагування

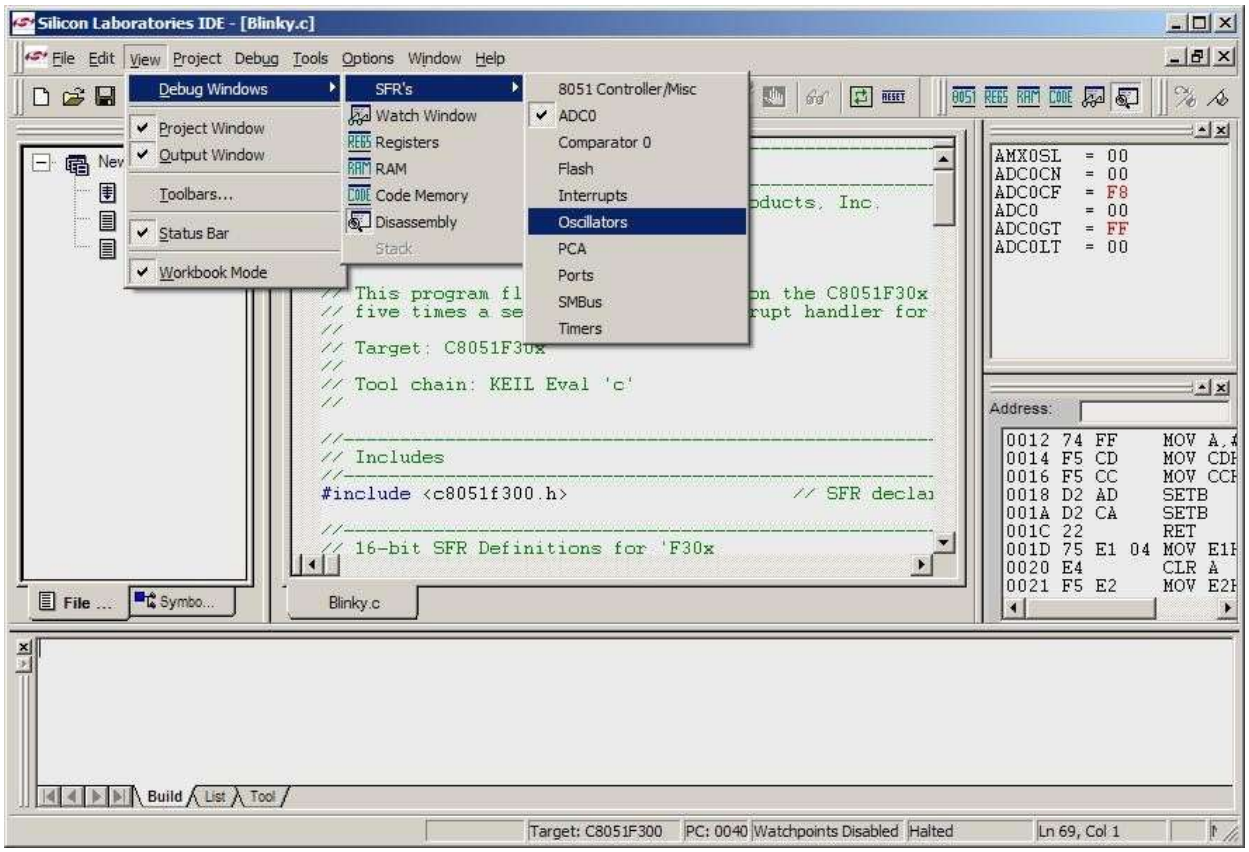


Рисунок 3.12 – Екран відладчика під час виконання програми

3.2.6 Запуск IDE Silabs та створення файлу проекту з використанням компілятора мови Сі

Будь-яка робота в IDE Silabs починається зі створення нового файлу проекту. Файл проекту містить імена всіх вихідних файлів, пов'язаних з

проектом, а також установки компіляції, трансляції і зв'язування файлів, щоб генерувати програму, що виконується.

Для того, щоб створити новий файл проекту:

- Виберіть Project > New Project. Коли менеджер проекту відкриває файл проекту, вікно проекту показує увімкнені вихідні файли. У цьому випадку поки немає вихідних файлів. Тепер можна додати файл Prog.c до проекту.
- Виберіть Project > Add file. Відкриється діалогове вікно Add File. Виберіть файл Prog.c зі списку. Цей проект має лише один результативний файл.

Надалі проекти, можливо, складатимуться з багатьох вихідних файлів. Діалог Add File дозволить вибрати та додати кілька файлів відразу. Для цього використовують комбінацію клавіші Ctrl та покажчика миші. Коли натиснути [Open], вихідні файли будуть додані до проекту у вибраному порядку.

Відповідно є можливим редагувати текст із файлу Prog.c. Вибераємо Prog.c із вікна Project. Натискаємо на ньому правою кнопкою миші та обираємо View source file, або просто двічі клацаємо мишею, щоб переглянути файл у вікні редагування.

3.2.8 Робота з відладчиком C51

Зверніть увагу, що в режимі налагодження на екрані видно ще два вікна. Перше – вікно коду (рис. 3.13), де у покроковому режимі паралельно з вихідним текстом мовою С йде трасування тексту на асемблері.

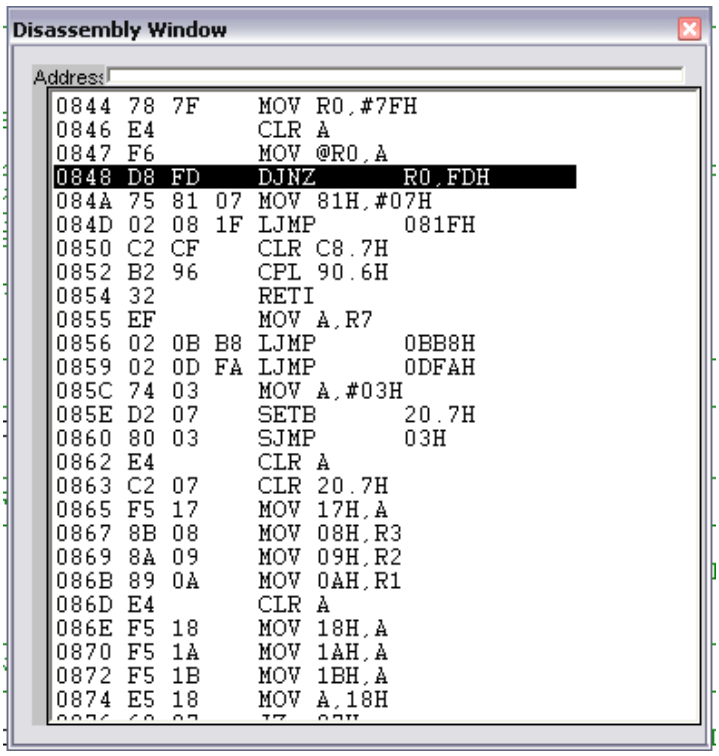


Рисунок 3.13 – Вікно коду дисасемблера

Прокручуємо вікно коду та переглядаємо асемблерний аналог вихідного тексту. Асемблерний аналог тексту зберігається у файлі Prog.lst.

Ще одне важливе вікно, яке має бути на екрані під час налагодження, – View>Debug Window>SFR> 8051 Controller/Misc (рис. 3.14).

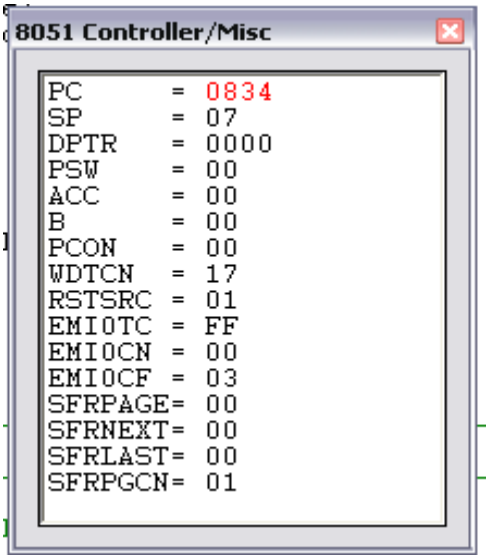


Рисунок 3.14 – Вікно основних регістрів

У цьому вікні відображається поточний стан програмно-доступних регістрів мікроконтролера. Більше того, вміст регістрів можна змінювати під час налагодження. Розширений набір регістрів можна викликати додатковими пунктами меню View>Debug Window>SFR.

Розроблені програми для системи автоматизованого управління приведені в додатках кваліфікаційної роботи.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Основними вимогами безпеки, що ставляться до конструкцій машин механізмів, є безпека для здоров'я та життя людей, надійність та зручність експлуатації.

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

- вибором безпечних принципів дії, конструктивних схем, елементів конструкції;
- використанням засобів механізації, автоматизації дистанційного керування;
- застосуванням в конструкції засобів захисту;
- дотриманням ергономічних вимог;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію з монтажу, експлуатації, ремонту та транспортування і зберігання обладнання;
- застосуванням в конструкції відповідних матеріалів.

Дотримання цих вимог в повному обсязі можливе лише на стадії проектування. Тому у всіх видах проектної документації передбачаються вимоги безпеки. Вони містяться в спеціальному розділі технічних умов та стандартів на обладнання, що випускається. При виборі принципу дії машини необхідно враховувати всі потенційно можливі небезпечні та шкідливі виробничі чинники, наприклад, при високих рівнях шуму редукторів слід використовувати спеціальні зубчасті зачеплення зі зниженим шумоутворенням, при високих рівнях вібрацій – з елементами, котрі обертаються рівномірно (замість кривошипно-шатунних та кулачкових). Вибираючи конструктивну схему обладнання, необхідно всі рухомі частини обладнання розташовувати в корпусах, станинах, котрі повинні бути компактними, мати якомога менше гострих країв, граней, частин, котрі виступають. Необхідно досягати того, щоб захисні пристрої конструктивно суміщались з машиною і були її складовою частиною.

Дистанційне керування дозволяє здійснювати контроль та регулювання його роботи з ділянок, досить віддалених від небезпечної зони. Завдяки цьому

забезпечується безпека праці. Дотримання ергономічних вимог сприяє забезпеченню зручності експлуатації, зниженню втомлюваності та травматизму. Основними ергономічними вимогами до виробничого обладнання є врахування фізичних можливостей людини та її антропометричних характеристик, забезпечення максимальної зручності при роботі з органами керування. Вимоги безпеки містяться в технічній документації з монтажу експлуатації, ремонту, транспортування та зберігання виробничого обладнання.

4.1 Вимоги пожежної безпеки при експлуатації системи керування камерою оплавлення.

Головним заходом запобігання пожеж і вибухів від електрообладнання є правильний вибір і експлуатація обладнання у вибухо- і пожежонебезпечних приміщеннях. Згідно з ПУЕ, приміщення поділяються на вибухонебезпечні (В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa) і пожежонебезпечні (П-I, П-П, П-IIa, П-III) зони.

Вибухонебезпечна зона – це простір, в якому є або можуть з'явитися вибухонебезпечні суміші.

Пожежонебезпечна зона – це простір, де можуть знаходитися горючі речовини, як при нормальному технологічному процесі, так і при можливих його порушеннях.

Клас вибухонебезпечності обладнання, яке розробляється, повинен відповідати класу вибухонебезпечності в камері В-IIа згідно ПУЕ.

При монтажі, налагоджуванні і роботі обладнання необхідно дотримуватись вимог техніки безпеки у відповідності з ДСТУ 12.2.003-91.

Місцева вентиляція повинна забезпечити витяжку з робочої зони не менше 500м^3, при умові виконання службами підприємства комплексу робіт по підключенню.

Робота камери без підключення вентилятора на відсмоктування повітря заборонена.

Необхідно здійснювати систематичний контроль за станом теплоізоляції камери.

Забороняється працювати зі знятими кожухами, які передбачені конструкцією камери.

Перед пуском обладнання необхідно візуально переконатись у відсутності будь-яких механічних пошкоджень і сторонніх предметів в робочій зоні.

Огляд, ремонт, регулювання, чистку, змащування обладнання проводять при повному вимкненні від джерел живлення.

Контроль повітря робочої зони здійснюється у відповідності з ДСТУ 12.1-005-88 на основі діючої документації.

Виробничі приміщення повинні мати ефективну приточно-витяжну вентиляцію.

Перед експлуатацією всі одиниці технологічного обладнання лінії, які мають пристрої для заземлення повинні підключені до цехового контуру заземлення мідним багатожильним проводом.

При очищенні камери, порошковий матеріал, який осів на поверхні обладнання, виводять з допомогою пилососа у вибухобезпечному виконанні при включеній вентиляції. Дозволяється вологе прибирання.

Забороняється торкатись до електрообладнання і струмоведучих частин при працюючому обладнанні.

Забороняється працювати без потрібних захисних і ізолюючих засобів

Апаратуру управління і захисту, світильники необхідно застосовувати в пилонепроникному виконанні. Вся електропроводка повинна мати надійну ізоляцію. Монтаж електричних мереж слід проводити у відповідності з Інструкцією по монтажу електрообладнання силових і освітлювальних мереж вибухонебезпечних зон. У вибухонебезпечних зонах та в зовнішніх установках слід використовувати вибухозахищене обладнання, виготовлене згідно з ДСТУ 12.2.020-76.

Пускову апаратуру, магнітні пускачі для класів необхідно виносити за межі вибухонебезпечних приміщень з дистанційним керуванням. Проводи у вибухонебезпечних приміщеннях мають прокладатися у металевих трубах. Може використовуватися броньований кабель. Світильники також повинні мати вибухозахищене виконання.

Частини машин, між якими може виникнути іскріння повинні закриватись ковпаками пилонепроникного виконання.

Наладку електрообладнання дозволяється проводити бригаді чисельністю не менше двох чоловік один з яких має кваліфікаційну групу по техніці безпеки не нижче четвертої.

4.2 Характеристика дільниці оплавлення з точки зору охорони праці.

При випробування, монтажі, експлуатації і всіх видах технічного обслуговування камери можуть виникнути наступні види небепеки:

- електронебезпека:
- вибухонебезпека;
- пожежонебезпека;
- небезпека термічних опіків;
- токсичність;
- небезпека травм від рухомих частин обладнання.

Джерелом електронебезпеки є коло мережевої напруги. По ступеню безпеки враження людини електричним струмом, приміщення, в якому розміщена дільниця оплавлення, відноситься до приміщення з підвищеною небезпекою.

Джерелом вибухонебезпеки є порошкова фарба.

Джерелом пожежонебезпеки є порошкова фарба.

Основними факторами, які визначають пожежо- і вибухонебезпечність операції напилення і оплавлення:

- перегрів фарби, що може привести до самозагорання;
- загорання суміші напилюваних частинок фарб та повіря;

- порушення технологічного регламенту процесу оплавлення;
- використання несправного обладнання;
- нестаціонарні процеси, які виникають в період запуску і зупинки камери оплавлення.

Джерелом небезпеки термічних опіків є ТЕНи та гаряче повітря в камері.

Джерелом токсичності є шкідливі речовини, які виділяються при оплавленні порошкової фарби.

Джерелом небезпеки травм від рухомих частин є конвеєр з підвісками, пасова передача у вентиляторі.

Для забазпечення нормальних умов роботи обслуговуючого персоналу, стіни приміщення, в якому розміщена камера оплавлення, покриваються звукоізолюючими матеріалами.

З метою усунення небезпечних впливів струму в установці застосовують аварійне блокування та захисні автомати з метою заборони роботи при знятому захисному огородженні конвеєра..

4.3 Захист обладнання від статичної електрики.

Статична електрика – сукупність явищ, пов'язаних з виникненням і збереженням вільного електричного заряду на поверхні й в обсязі діелектричних і напівпровідникових речовин, виробів або ізольованих провідників. Причиною їхнього виникнення є процеси електризації. Ці процеси виникають при дробленні, обробці тиском і різанням, розбризкуванні (розпиленні), просіванні і фільтруванні матеріалів-діелектриків і напівпровідників і при інших технологічних процесах, що супроводжуються тертям (перекачування, транспортування, злив рідин-діелектриків, зокрема бензину, транспортування сипучих матеріалів-діелектриків). При контакті тіл (або тіл і потоків), що відрізняються концентрацією заряджених часток, температурою, шорсткістю поверхні і т.п., відбувається розподіл між ними електричних зарядів: на одному з них накопичуються позитивні заряди, на

іншому – негативні. У рідинах носіями заряду є тверді включення, що знаходяться в них. Утворюється система, подібна до конденсатора.

Заряди статичної електрики можуть накопичуватись безпосередньо на тілі людини, якщо вона ізольована від землі і контактує при цьому з тілами з діелектричного матеріалу або одягнена в одяг із синтетичних матеріалів.

Вплив статичної електрики на людину зв'язано з протіканням через нього досить слабкого струму (кілька мікроампер). Тому в цьому випадку ніколи не спостерігається електротравм. Однак внаслідок рефлекторної реакції на цей струм може бути отримана механічна травма від удару до поруч розташованих елементів конструкції, падіння з висоти і т.п. Особливо важкі наслідки мають місце при виникненні загорянь і вибухів.

Несприятливий вплив на людину має також електричне поле, викликаючи зміни в центральній нервовій і серцево-судинній системах. Для його обмеження введені гігієнічні норми. Вони встановлені ДСТУ 12.1.045–84, що задає допустимий час роботи в умовах заданої напруженості [14, стор.53]

$$t = \left(E_{доп} / E_{факт} \right)^2 , \qquad (4.1)$$

де $E_{доп} = 60\ кВ/м$ – припустима напруженість електричного поля для 8-годинного впливу; $E_{факт}$ – фактична напруженість електричного поля.

Основні заходи для захисту від статичної електрики включають методи, що виключають або зменшують інтенсивність генерації зарядів, і методи, що усувають заряди, що утворюються.

Усунення зарядів статичної електрики, що утворюються, найчастіше поводяться за рахунок заземлення частин виробничого устаткування, які можуть проводити струм. Опір такого заземлення повинний бути не більший 10 Ом [14,стор.54]. Природно, що його функції може виконувати звичайне заземлення (але не навпаки!). Технологічний ланцюг в межах цеху повинний приєднуватися до заземлювача не менш ніж у двох місцях, а машини, що входять до нього, повинні мати між собою електричний зв'язок.

При заземленні неметалічних елементів конструкції на них попередньо наносять електропровідні покриття, а тканинні матеріали (наприклад, фільтри) піддають спеціальній обробці.

При неможливості встановлення пристрою заземлення практикується підвищення в приміщенні відносної вологості повітря (у межах обмежень, передбачених ГОСТ 12.1.005–88).

Зволоження діелектричних і напівпровідникових елементів приводить до появи на них поверхневої рідинної струмопровідної плівки, і, як наслідок, стікання струму на землю. Збільшення поверхневої електропровідності можна досягти шляхом нанесення покриттів на основі вуглецю, металів або сплавів, солей деяких кислот.

Можливе збільшення об'ємної електропровідності, для чого в матеріал діелектрика вносять графіт, ацетиленову сажу, алюмінієву пудру, а в рідини-діелектрики – спеціальні добавки: «Аккор», «Сигбол» (у кількості 0,02–0,03 % обсягу) [15,стор.182]. Все ширше впроваджуються нейтралізатори статичної електрики коронного заряду, радіоізотопні, аеродинамічні і комбіновані. В усіх випадках за рахунок іонізації повітря поблизу елемента конструкції, що накопичує заряд статичної електрики, утворюються іони, в тому числі зі знаком, протилежним знаку заряду, що і викликає його нейтралізацію.

У нейтралізаторах коронного розряду потенціал утвориться при пробої повітря спеціально створюваним електричним розрядом у високовольтних або індукційних пристроях. У радіоізотопних пристроях іонізація повітря є наслідком впливу радіоактивного випромінювання малої потужності. Утворені за рахунок застосування зазначених пристроїв іони можуть бути спрямовані до відповідних елементів конструкції за допомогою повітряного потоку. Такого роду нейтралізатори вважаються аеродинамічними.

До засобів індивідуального захисту від статичної електрики відносяться електростатичні халати і спецвзуття, підошва якого виконана зі шкіри або електропровідної гуми, а також антистатичні браслети.

У результаті складних атмосферних процесів на поверхні хмар накопичуються заряди статичної електрики, що утворюють потенціал відносно землі в кілька мільйонів вольт. Тому незважаючи на високий опір повітря на електричний пробій, розряд зазначених зарядів все-таки відбувається. Він добре відомий кожному як блискавка. Сила струму в такому розряді досягає 10000А и становить велику небезпеку як для людей, так і для будівельних споруд, особливо при наявності великого опору стікання струму на землю.

Тому всюди на будинках, які стоять окремо або спорудах, що вищі за інші будівлі, влаштовується блискавкозахист. Як правило, він виконується у виді одиночних або групових заземлених блискавковідводів, встановлюваних на даху. Висота розташування блискавкозахисту визначає зону її дії. При одиночному стрижневому блискавковідводі з надійністю дії 99,5 % і більш ця зона являє собою конус з висотою r_c=0,85h [14,стор.56] (де h – висота розташування верхньої крапки блискавковідводу над поверхнею землі) і радіусом підстави $r_0 \approx h$. Це справедливо для випадку, коли h<150м, що найчастіше і має місце. При груповому блискавковідводі зона дії кожного з блискавковідводів визначається аналогічним образом, з урахуванням співвідношення відстані l між блискавковідводами і їхньою висотою.

Мінімальна відстань h_c землі в цій зоні, на якому діє блискавкозахист, визначається з умови [2.стор.56]

$h_c=h_0$ при $l \le h$ (4.2)

$h_c=h_o-(0.17+3.10^{-1}h)\,(l-h)$ при $2h \ge l > h$ (4.3)

4.4 Шляхи збереження працездатності і підвищення продуктивності праці на виробництві.

Адміністрація підприємств, установ, організацій зобов'язана забезпечувати належне технічне устаткування всіх робочих місць і створювати на них умови роботи, що відповідають правилам по охороні праці.

Відповідальність за організацію праці в цілому по підприємству несуть його директор і головний інженер.

По окремих підрозділах така відповідальність покладена на відповідних керівників цих підрозділів (начальників цехів, ділянок, майстрів).

Проведення поточних заходів щодо охорони праці відображається в угодах по охороні праці, що є офіційним додатком, складовою частиною колективних договорів, а також в єдиних комплексних планах оздоровчих заходів. Щорічні угоди по охороні праці – це важлива правова форма планування заходів щодо охорони праці. В угодах по охороні праці уточнюються і доповнюються заходи щодо охорони праці по цехах, ділянках, агрегатах, установлюються терміни проведення кожного заходу, вказуються особи, відповідальні за їхнє проведення.

Правила і норми по техніці безпеки спрямовані на захист організму людини від фізичних травм, впливу технічних засобів, використовуваних у процесі праці. Вони регулюють поводження людей, що забезпечує безпека праці з погляду пристрою і розміщення машин і устаткування.

Правила і норми по виробничій санітарії і гігієні мають на меті захист організму від перевтоми, хімічного, атмосферного впливу і т.п. Ці правила і норми установлюють вимоги по благоустрою і правильному використанні території, виробничих і побутових приміщень підприємств, устаткуванню робочих місць і т.п.

Правила і норми по техніці безпеки і виробничої санітарії необхідно дотримувати як при проектуванні, так і при експлуатації промислових об'єктів, устаткування.

Вимоги в області забезпечення безпечних і здорових умов праці, що утримуються в правилах і нормах по техніці безпеки і виробничої санітарії, є юридично обов'язковими як для адміністрації, так і для робітників та службовців. При недотриманні цих правил і норм винні особи несуть юридичну відповідальність.

До числа норм по техніці безпеки і виробничої санітарії відносяться норми, що встановлюють міри індивідуального захисту працюючих від професійних захворювань і виробничих травм.

На роботах зі шкідливими умовами праці, а також на роботах, в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням, робітникам та службовцям видаються безкоштовно по встановлених нормах цей одяг, спеціальне взуття й інші засоби індивідуального захисту. Робітники та службовці зобов'язані користуватися в робочий час виданим спецодягом, спецвзуттям і запобіжними пристосуваннями.

На роботах, пов'язаних із забрудненням, робітникам та службовцям видаються безкоштовно по встановлених нормах мило та інші знешкоджуючі засоби.

На роботах зі шкідливими умовами праці робітникам та службовцям видаються безкоштовно по встановлених нормах молоко або інші рівноцінні по калорійності харчові продукти. На роботах з особливо шкідливими умовами праці представляється безкоштовно по встановлених нормах лікувально-профілактичне харчування.

Для робітників та службовців, зайнятих на роботах зі шкідливими умовами праці, встановлюється скорочена тривалість робочого часу не більш 36 год в тиждень і надаються додаткові відпустки.

Адміністрація підприємства (організації) зобов'язана безкоштовно постачати робітиків гарячих цехів газованою підсоленою водою.

Робітники та службовці, зайняті на важких роботах і на роботах зі шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на роботах, пов'язаних з рухом транспорту, проходять обов'язкові попередні (при прийнятті на роботу) і періодичні медичні огляди для визначення придатності їх до роботи, що доручається, і попередження професійних захворювань.

Робітникам та службовцям, що працюють у холодний час року на відкритому повітрі або в закритих приміщеннях, що необігріваються, вантажникам, зайнятим на вантажно-розвантажувальних роботах, а також

деяким іншим категоріям працівників у випадках, передбачених законодавством, надаються спеціальні перерви для обігрівання і відпочинку, що включають у робочий час.

4.5 Розрахунок захисного заземлюючого пристрою для камери оплавлення порошкових фарб.

Для електроустановок напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю (ПУЕ,п. 1.7.65) – опір заземлюючого пристрою, який використовується для заземлення електрообладнання, повинен бути не більше 4 Ом.

Розрахувати захисне заземлення цеху, в якому розміщена лінія нанесення порошкових фарб. Живлення двигунів калориферів камери оплавлення лінії нанесення порошкових, здійснюється від мережі напругою 380В з ізольованою нейтраллю. В якості електродів заземлювачів прийнято стальні труби довжиною l=2.5м і діаметром d=0.05м [15,стор.84], які з'єднані між собою сталевою смугою шириною b=0.04м [15,стор.130]. Коефіцієнти використання заземлювачів η_3=0.74, і з'єднувальної смуги η_c=0.75 [2,стор.181]. Відстань між заземлювачами рівна a=2м. Заглиблення верхнього кінця труби і з'єднувальної смуги H=0.7м.

Питомий опір грунту, в який проводиться монтаж захисного заземлення, згідно проведених замірів ρ=150Ом·м

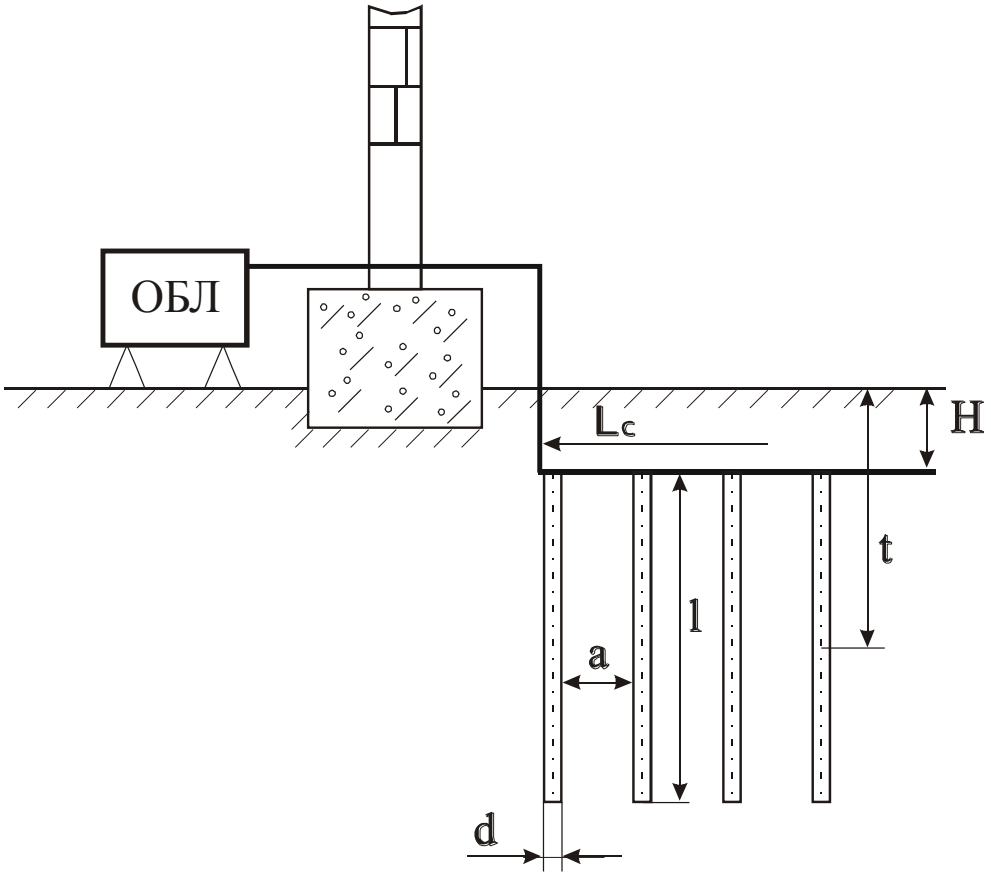


Рисунок 4.1 – Схема розрахунку заземлюючого пристрою.

1) Визначаємо розрахунковий питомий опір фунту ρ, в якому розміщений заземлювач:

$$\rho_p=\rho\psi \qquad (8.4)$$

де ρ питомий опір, кліматичний коефіцієнт ψ вибирається в залежності від вологості грунту (ψ=1.7) [12,с.178].

ρ_p=150*1.7=255 Ом·м

2) Визначаємо опір розтікання струму одиночного вертикального заземлювача /труби, кутника/, заглибленого нижче рівня землі на H=0.7 м [2,стор.179]

$$R_з=\frac{\rho}{2\pi l}(\ln\frac{2l}{d}+\frac{1}{2}\ln\frac{4t+l}{4t-l}), Ом \qquad (4.5)$$

де t=H+0.5· l= 0.7+0.5·2.5=1.95м - відстань від поверхні грунту до середини труби.

$$R_3 = \frac{150}{2 \cdot 3.14 \cdot 2.5}(\ln \frac{2 \cdot 2.5}{0.05} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 1.95 + 2.5}{4 \cdot 1.95 - 2.5}) = 47.11 Ом$$

3) Визначаємо необхідну кількість заземлювачів [2.стор.180]:

$$n = \frac{R_3}{R_H \eta_3},\ Ом \qquad (4.6)$$

де R_H - нормований опір по ПУЕ (R_H=4 Ом).

$$n = \frac{47.11}{4 \cdot 0.74} = 15.9 \approx 16\ \ Ом.$$

4) Визначаємо довжину з'єднувальної смуги (приймаємо, що заземлювачі-електроди розміщені в ряд [2,стор.180] :

$$L_c = 1.05 \cdot a \cdot (n-l) \qquad (4.7)$$

де а- відстань між заземлювачами

L_c=1.05·2·(16-l)=31,5 м

5) Визначаємо опір розтікання струму з'єднувальної смуги заземлюючого пристрою [2, стор.180]:

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi L_c} \ln \frac{2L_c^2}{bH}\ \ Ом \qquad (4.8)$$

$$R_c = \frac{150}{2 \cdot 3.14 \cdot 31.5} \ln \frac{2 \cdot 31.5^2}{0.04 \cdot 0.7} = 8.5\ \ Ом$$

6) Визначаємо загальну величину опору розтікання струму заземлюючого пристрою [2,стор.179]:

$$R_{ЗП} = \frac{R_3 R_c}{R_3 \eta_c + R_c \eta_3 n}\ \ Ом \qquad (4.9)$$

$$R_{ЗП} = \frac{47.11 \cdot 8.5}{47.11 \cdot 0.750 + 8.5 \cdot 0.74 \cdot 16} = 2.93\ Ом$$

7) Величина опору штучних заземлювачів повинна задовільняти вимогу $R_{ЗП} \leq 4$м. Як видно з розрахунку $R_{ЗП}$=2.94<4 *Ом.*

ВИСНОВОК

Дана кваліфікаційна робота стосується розроблення основної технічної документації технологічного обладнання, котре використовується для проведення технологічного процесу нанесення порошкових покриттів згідно ДСТУ ISO 12944 (група стандартів) для захисту сталевих конструкцій від корозії за допомогою лакофарбових систем.

Напилення порошкових полімерних композицій новий високопродуктивний і економічний спосіб нанесення покриттів. Використання порошкових полімерних композицій при отриманні покриттів зменшує, в порівнянні з лакофарбовими матеріалами, забруднення повітря летючими органічними речовинами і поліпшує умови праці працюючих в фарбувальних і ізольованих цехах.

Використання даного методу нанесення покриттів дозволяє зробити висновок про основні статті економії від застосування порошкових композицій в порівнянні з лакофарбовими покриттями:

1. Скорочуються втрати матеріалів; наприклад, при фарбуванні виробів пневматичним розпиленням (70% всіх методів фарбування) втрати матеріалів, що нормуються складають від 50 до 75%, а у разі напилення порошкових полімерних матеріалів можливо уловлювання і повторне використання матеріалів. Це істотно знижує їх втрати в залежності від способу напилення: газополум'яневе напилення до 25%; пневматичне розпилення до 15%; в псевдозрідженому шарі до 3%; електростатичні способи до 0,2 %.
2. Меншає трудомісткість основних і додаткових операцій забарвлення; порошковими композиціями дозволяє отримувати покриття з оптимальною товщиною 90-250 мкм за один прийом, а така ж товщина плівки з лакофарбових матеріалів вимагає нанесення від 4 до 10 шарів фарби з проміжною сушкою кожного шару. При використанні порошкових фарб

відпадає необхідність підтримки певної в'язкості фарби. У результаті вдається підвищити продуктивність труда на фарбувальних роботах в 4-5 раз.

3. Знижуються витрати на транспортування і зберігання матеріалів, оскільки відпадає необхідність в розчинниках (в рідких фарбах міститься 50-70% розчинників).
4. Різко скорочується цикл виробництва, звідси можлива економія в 1,5-2 рази виробничих площ, зниження витрат на обладнання, електроенергію.
5. Збільшується термін служби покриття і всього виробу; так, термін служби покриттів, що гарантується на основі поліакрілових смол становить 10 років, на основі фторопластів 20 років.

У порівнянні з гальванічними покриттями використання порошкових полімерних композицій дозволяє отримати економію за рахунок зменшення витрати і дефіцитних матеріалів, що дорого коштують: хрому, нікеля та інш. Знижуються витрати на обладнання, електроенергію. Виключаються затрати на воду, пару. У 3-6 раз скорочуються затрати праці.

При заміні шаруватої електроізоляції і рідких герметизуючих компаундів на порошкові покриття головними статтями економії стають: значне зниження трудомісткості обмотувально-ізоляційних робіт і герметизації виробів за рахунок їх механізації. Скорочується цикл приточно-сушильних робіт від 30-40 до 1-2 год. Меншає на порядок разів тривалість процесу герметизації.

У кваліфікаційній роботі бакалавра здійснено комплексне теоретичне узагальнення та розв’язано актуальне інженерно-технічне завдання, що полягає в аналізі, розрахунку та автоматизації процесу нанесення порошкових покриттів на базі модернізації камери оплавлення в умовах автоматизованого виробництва.

Проведене дослідження та проектно-конструкторські розробки дозволяють сформувати наступні практичні висновки відповідно до поставлених завдань:

На основі аналізу сучасного стану технологічного процесу напилювання покриттів з порошкових полімерних композицій, чинних стандартів, регламентів та наявного ринкового обладнання обґрунтовано доцільність автоматизації ліній фарбування. Виявлено, що камери порошкового фарбування та камери оплавлення вимагають прецизійного контролю температурно-часових режимів, оскільки недотримання технологічного регламенту безпосередньо погіршує адгезійні та захисні властивості полімерного покриття.

У проєктній частині роботи детально описано автоматизовану лінію, проаналізовано етапи підготовки поверхні виробів до обробки та процеси ґрунтування. На основі розробленої циклограми функціонування автоматизованої виробничої системи було визначено камеру оплавлення як головний об'єкт керування та виконано комплекс її інженерних розрахунків. Зокрема, – розраховано розхід тепла в камері оплавлення, визначено необхідну кількість свіжого повітря та продуктивність вентиляторів і калориферів; здійснено тепловий розрахунок електричних нагрівачів камери оплавлення; виконано аеродинамічний розрахунок вентиляційної системи повітропровода рівномірної роздачі, розраховано втрати напору та здійснено оптимальний вибір вентилятора й електродвигуна.

Розроблено мікропроцесорну систему автоматичного керування. З метою забезпечення високої точності контролю технологічних параметрів розроблено архітектуру та схемотехнічні рішення мікропроцесорної системи управління камерою оплавлення. В межах цього завдання:

- Обґрунтовано вибір сучасного мікропроцесора (сімейства Intel 8051) та розроблено структуру його взаємодії з периферією;
- Спроектовано та описано ключові функціональні блоки системи: стабілізований блок живлення, модуль клавіатури та дисплея, блоки синхронізації, комутації, опитування давачів, керування калориферами;
- Спроектовано модуль АЦП термопар та блок інтерфейсу для обміну даними між ОЕОМ та ЕОМ, а також оцінено похибку вимірювання

температури термопарою, що підтвердило метрологічну відповідність системи вимогам техпроцесу.

У спеціальній частині роботи проведено формалізований опис функцій управління та розроблено управляючу модель технологічного об'єкта. Описано практичний підхід до програмування мікроконтролерів із використанням інтегрованого середовища розробки IDE SILABS та інструментарію Keil (оптимізуючого крос-компілятора C51, макроасемблера A51, компонувальника L51 та відладчика/симулятора). Реалізований програмний код забезпечує стабільний алгоритм зчитування даних, регулювання температури та відпрацювання аварійних ситуацій.

Охорона праці та безпека життєдіяльності. З урахуванням специфіки дільниці оплавлення порошкових фарб проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, розроблено вимоги пожежної безпеки під час експлуатації розробленої системи керування. Запропоновано ефективні рішення щодо захисту обладнання від накопичення статичної електрики та визначено шляхи підвищення продуктивності праці. Виконано інженерний розрахунок захисного заземлюючого пристрою для камери оплавлення, що гарантує безпечні умови роботи обслуговуючого персоналу.

Результати бакалаврської кваліфікаційної роботи мають виражене практичне значення і готові до впровадження на підприємствах машинобудівного чи приладобудівного профілю, що використовують енергоефективні автоматизовані технології порошкового фарбування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3021-95 «Випробування і контроль якості продукції» Терміни та визначення
2. Atmel Flash Microcontrollers. Product Portfolio - Atmel corporation. – 2012. - 28 p.
3. Kristian Saether, Ingar Fredriksen, Introducing a New Breed of Microcontrollers for 8/16-bit Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.atmel.com/images/doc7926.pdf
4. Павельчак А. Г. Програмування мікроконтролерів систем автоматики: конспект лекцій для студентів базового напряму 050201 ―Системна інженерія‖ / Укл.: А.Г. Павельчак, В.В. Самотий, Ю.В. Яцук – Львів: Львівська політехніка. – 2012. – 143 с.
5. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115
6. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189
7. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495
8. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.
9. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по

курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207

10. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206
11. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551
12. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
13. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп’ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057
14. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп’ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с.

https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056

15. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404
16. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397
17. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646
18. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418
19. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635
20. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
21. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
22. Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. :

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп’ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп’ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с

23. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
24. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496
25. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
26. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
27. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
28. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет

імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

29. Буров Є., Митник М. Комп’ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
30. I. Strutynska, H. Kozbur, L. Dmytrotsa, O. Sorokivska, L. Melnyk and R. Grytseliak, "Regarding to the Concept of Small and Medium-Sized Enterprises Digitalization in Ukraine: Problems and Solutions," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2021, pp. 276-279, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548382.
31. Валяшек В.Б. Навчальний посібник з курсу: “ Оптимізаційні методи та моделі “ для спеціальностей “Облік і аудит, Фінанси і кредит, Маркетинг, Економічна кібернетика” / Кривень В.А., Валяшек В.Б., Цимбалюк Л.І., Козбур Г.В. – Тернопіль : видавництво ТНТУ, 2015. – 83 с.
32. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитиший, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625
33. Савків В. Б., Ковтко А. М. Мутаційне тестування як механізм зворотного зв’язку в автоматизованій системі генерації модульних тестів на основі великих мовних моделей. Електротехнічні та інформаційні системи. 2026. № 109. С. 278–287. DOI: https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-33.
34. Ковтко А., Савків В. Архітектура автоматизованої системи генерації тестів. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2026. Т. 365, № 3. С. 346–352. DOI: https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-48.
35. Конспект лекцій з дисципліни «Комп’ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293

36. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995