

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ О.К. Дідик

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти**  
на тему:  
**«Автоматизація позиціонування маніпулятора**  
**фарбувального агрегату»**  
**«Automation of positioning of the manipulator of the**  
**painting unit»**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи АК-21  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

\_\_\_\_\_ Попов Д.В.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Керівник роботи  
доц, канд.техн.наук

\_\_\_\_\_ Сербул О.М.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

Рецензент \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Призначення системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату.....	6
1.1 Загальна характеристика процесу фарбування.....	6
1.1.1 Види покриттів та їх призначення .....	6
1.1.2 Види захисних та декоративних покриттів.....	6
1.1.3 Попередня підготовка поверхні до фарбування.....	7
1.1.4 Способи затвердіння покриттів.....	8
1.2 Загальний опис процесу фарбування на АТ «Ельворті».....	10
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування прийнятого принципу побудови виробу.....	15
2.1 Огляд методів нанесення лакофарбових покриттів.....	15
2.1.1 Нанесення способом пневматичного розпилення.....	15
2.1.2 Нанесення способом електростатичного розпилення.....	17
2.1.3 Нанесення матеріалів вальцями.....	18
2.1.4 Нанесення матеріалів способом плоского наливу.....	19
2.1.5 Нанесення матеріалів способом занурення.....	20
2.1.6 Нанесення матеріалів методом протягання.....	21
2.1.7 Нанесення лакофарбових покриттів способом струминного обливу з витримуванням в парах розчинника.....	22
2.2 Існуючі пристрої виявлення руху об'єктів у просторі.....	23
2.2.1 Потенціометри.....	25
2.2.2 Огляд індуктивних датчиків.....	25
2.2.3 Огляд ємнісних датчиків.....	27
2.2.4 Огляд цифрових датчиків.....	28
2.2.5 Датчики на принципі поширення пружних хвиль.....	28
2.2.6 Огляд датчиків близькості.....	29
2.2.7 Огляд оптичних датчиків.....	29

2.3 Вимоги до проєктованих засобів автоматичного регулювання.....	34
2.4. Аналіз засобів виявлення руху об'єктів у просторі.....	34
2.5 Принцип побудови системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату.....	37
3 Обґрунтування проєктних рішень системи позиціонування маніпулятора .....	39
3.1 Розробка структури системи позиціонування маніпулятора .....	39
3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи позиціонування маніпулятора .....	41
3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи позиціонування маніпулятора .....	41
4 Розрахунки та матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	45
4.1. Розрахунок трансформатора блока живлення.....	45
4.2 Розрахунок випрямляча блока живлення.....	48
4.3 Розрахунок надійності системи.....	50
4.4 Визначення точки встановлення фотобар'єра.....	54
5 Організація робіт, пов'язаних із використанням системи позиціонування маніпулятора.....	56
5.1 Монтаж системи позиціонування маніпулятора.....	56
5.2 Налагоджування системи позиціонування маніпулятора.....	58
5.3 Експлуатація системи позиціонування маніпулятора .....	58
Висновки.....	59
Список літератури.....	61

## ВСТУП

Серед різноманітних методів нанесення лакофарбових матеріалів у промисловості найбільш поширеними та доступними для механізації й автоматизації залишаються пневматичне розпилення та електростатичне фарбування. Ці способи ефективно використовуються як під час проєктування нових фарбувальних дільниць і цехів, так і при модернізації та реконструкції вже існуючих виробничих об'єктів.

При нанесенні захисно-декоративних покриттів важливими чинниками, що впливають на кінцевий результат, є температура поверхні виробу, температура лакофарбового матеріалу, а також метеорологічні умови навколишнього середовища, зокрема вологість та рівень запиленості повітря. Процес фарбування має виконуватись виключно за нормальних атмосферних умов, що забезпечують належну адгезію фарби до поверхні, рівномірність нанесення шару та відповідність заданим технічним вимогам.

Основна мета впровадження автоматизованого процесу фарбування полягає не лише у зменшенні впливу людського фактора, а й у досягненні низки важливих переваг, зокрема:

- значне покращення умов праці шляхом зниження шкідливого впливу лакофарбових випарів на персонал;
- підвищення продуктивності фарбувальних робіт за рахунок зменшення часу на обробку однієї одиниці продукції;
- ощадливе використання лакофарбових матеріалів завдяки точному дотриманню оптимальних режимів нанесення, що знижує перевитрати;
- забезпечення високої якості покриттів шляхом рівномірного нанесення матеріалу, що відповідає вимогам до зовнішнього вигляду та експлуатаційних характеристик;
- поліпшення загальної організації фарбувального процесу, уніфікація й стандартизація операцій, що спрощує контроль і технічне обслуговування системи.

Таким чином, автоматизація фарбування не лише підвищує ефективність виробництва, а й сприяє поліпшенню екологічних, економічних та технологічних

показників процесу. Автоматизація процесу фарбування забезпечується використанням різноманітних технічних засобів, зокрема автоматизованих систем руху розпилювачів (пневматичних, електромеханічних) та пристроїв подачі або переміщення виробів, що підлягають фарбуванню. Основою такого підходу є узгоджена робота розпилювальних пристроїв, виконавчих механізмів і вимірювально-керувальних приладів у повністю або частково автоматичному режимі.

Застосування автоматизованих рішень дає змогу значно підвищити ефективність виробничого процесу, зменшити втрати лакофарбових матеріалів, скоротити споживання органічних розчинників, а також досягти більш стабільної якості нанесення покриття. Особливо важливим є те, що завдяки автоматизації знижується рівень шкідливих впливів на працівників, що покращує умови їхньої праці та сприяє підвищенню безпеки на робочому місці.

Крім того, модернізація існуючих фарбувальних діляниць та впровадження новітніх матеріалів і технологій дозволяє суттєво оптимізувати виробничі витрати та зменшити екологічне навантаження на довкілля. Усе це підкреслює високу актуальність і практичну цінність тематики, яка розглядається в даній кваліфікаційній роботі. У представленій роботі розглянуто шляхи вдосконалення організації процесу фарбування на прикладі конкретної фарбувальної ділянки виробництва. Зокрема, запропоновано створення автоматизованої системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату, що дозволяє підвищити точність нанесення покриття на поверхню виробу.

Основною метою впровадження такої системи є зниження витрат лакофарбових матеріалів завдяки оптимізації траєкторії руху розпилювача, а також мінімізація людського впливу на процес. Окрім цього, автоматизація сприяє покращенню умов праці обслуговуючого персоналу, зменшуючи вплив шкідливих речовин, які утворюються в процесі фарбування.

Таким чином, реалізація запропонованих технічних рішень забезпечує підвищення ефективності виробничого процесу, покращення якості покриття та досягнення більш стабільних і безпечних умов експлуатації обладнання.

# 1 ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МАНПУЛЯТОРА ФАРБУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ

## 1.1 Загальна характеристика процесу фарбування

### 1.1.1 Види покриттів та їх призначення

Покриття наносяться з метою надання поверхням захисних і декоративних властивостей. Вони можуть бути прозорими, непрозорими, імітаційними або спеціальними [1].

Прозоре покриття — це нанесення лакофарбових матеріалів для захисту поверхні та підкреслення її текстури.

Непрозоре покриття виконується із застосуванням пігментованих ЛФМ (фарб, емалей), які повністю приховують текстуру та колір основи.

Імітаційне покриття — це створення декоративного шару шляхом глибокого фарбування, нанесення текстурного малюнка або впресовування плівок з друкованим зображенням.

### 1.1.2 Види захисних та декоративних покриттів

Експлуатаційні властивості покриттів значною мірою залежать від характеристик використаних матеріалів. Залежно від типу матеріалів і технології нанесення розрізняють лакофарбові, плівкові та комбіновані покриття (що поєднують плівку з ЛФМ).

За декоративними властивостями покриття поділяються на прозорі та непрозорі — останні повністю маскують колір і текстуру оброблюваної поверхні. Покриття утворюються шляхом послідовного нанесення кількох шарів матеріалів.

Захисно-декоративні покриття, які застосовуються на виробках із деревини або деревинних матеріалів для експлуатації в опалюваних приміщеннях без агресивного середовища, класифікуються за рядом ознак [4, 5].

Лакофарбові покриття класифікуються за видом основного плівкоутворювального матеріалу на сім груп: поліефірні (ПЕ), поліуретанові (УР),

меламінні (МЛ), поліакрилові (АК), мочеви́нні (МЧ), нітроцелюло́зні (НЦ) та пентафтале́ві (ПФ).

За зовнішнім виглядом ці покриття поділяються на дві підгрупи:

- А — покриття з відкритими порами,
- Б — покриття з закритими порами, включно з непрозорими.

Покриття на основі просочених паперів класифікуються залежно від типу просочувального матеріалу і лаку на три підгрупи:

- А — меламіноформальдегідні, меламінокарбамідоформальдегідні, карбамідоформальдегідні та їх модифікації, поліефірні;
- Б і В — модифіковані карбамідоформальдегідні з лакофарбовим покриттям.

### 1.1.3 Попередня підготовка поверхні до фарбування

Поверхні, що підлягають обробці, повинні бути рівними та гладкими, тому важливо ретельно підготувати їх перед фарбуванням.

Фарбування здійснюють різними методами: протравленням, барвниками та пігментами, а також вручну (кистю або тампоном), зануренням, пневматичним розпиленням, розпиленням під підвищеним тиском (так зване «сухе» фарбування) або вальцьовим способом.

При виборі кольору та відтінку готують розчини барвників, при потребі їх змішують і проводять пробне фарбування зразків.

Грунтувальні суміші наносять різними способами: вручну (кистю або тампоном), пневматичним розпиленням, вальцьовими верстатами, обливом та зануренням. Вручний спосіб застосовується переважно при ремонті та дрібносерійному або індивідуальному виробництві. Пневморозпилювання ефективне для обробки деталей з ґратчастою конструкцією, виробів у зібраному вигляді та з фасонними поверхнями. Для щитових деталей грунтовку наносять лаконаливними машинами типу ЛМ-3, ЛМ-140 або вальцьовими верстатами типу ВЩ-9, ВЩ-14 з дозуючими пристроями при швидкості подачі до 30 м/хв. Найпродуктивнішим та економічно вигідним вважається вальцьовий метод [6].

Після нанесення ґрунтовки поверхню піддають сушінню та шліфуванню. Для шліфування використовують різні типи обладнання, зокрема стрічково-шліфувальні, вібраційні та щіткові верстати, що забезпечують рівномірну та гладку обробку поверхні.

Сам процес нанесення лакофарбового покриття може виконуватися різними методами: пневматичним або електростатичним розпилюванням, нанесенням за допомогою валиків, плоским наливом, зануренням, протяганням або струминним обливом з наступною витримкою у парах розчинника. Вибір методу залежить від типу виробу, вимог до якості покриття та технологічних умов виробництва.

#### 1.1.4 Способи затвердіння покриттів

Після нанесення на поверхню рідкий лакофарбовий матеріал перетворюється в твердий шар. Затвердіння відбувається через випаровування розчинників (спиртових, нітроцелюлозних, акрилових лаків), реакції окислення (масляні лаки), полімеризацію чи конденсацію, або поєднання випару розчинників з хімічними перетвореннями. Швидкість затвердіння залежить від типу ЛФМ, товщини шару, температури, методу сушіння та інших факторів, а ступінь висихання визначається трьома основними стадіями і пов'язана з твердістю покриття.

Розрізняють природне сушіння при температурі повітря 18–23 °С та гаряче сушіння, яке скорочує час затвердіння в 5–6 і більше разів. Інтенсифікація процесу затвердіння особливо важлива для автоматизованих ліній та великих обсягів виробництва, тоді як для малих обсягів застосування інтенсивних методів не є економічно доцільним. Гаряче сушіння буває трьох видів: з конвективним нагріванням, терморадіаційним нагріванням і з попереднім акумулюванням тепла.

Конвективний нагрів здійснюється за допомогою теплого повітря температурою 40–80 °С. Нітролакові покриття сушать при 40–60 °С, а безпарафінові поліефірні – при 60–80 °С. Вищі температури можуть спричинити появу пухирців і зморщування плівки на поверхні.

Висихання починається зверху, де тверда плівка перешкоджає випаровуванню розчинників з нижніх шарів, що збільшує час сушіння і знижує якість покриття через утворення пухирців і кратерів. Тому процес сушіння проводять ступінчасто: спочатку при зниженій температурі для інтенсивного випару розчинника, а потім при підвищеній.

Терморадіаційний нагрів базується на здатності лакофарбового матеріалу пропускати інфрачервоні промені певної довжини, які поглинаються підкладкою, викликаючи її нагрівання. У цьому випадку тепловий потік співпадає з напрямком руху летких речовин ЛФМ, що скорочує час сушіння та покращує якість покриття.

Для сушіння використовують інфрачервоне випромінювання з довжиною хвилі 0,75–8 мкм, при цьому найкраще проникнення відбувається у діапазоні 1–4 мкм, що відповідає температурі нагрівача близько 450 °С і вище. Як джерела тепла найчастіше застосовують трубчасті електронагрівники, рідше – електролампи або панелі з нагріванням.

Фотохімічне затвердіння поліефірних покриттів за допомогою ультрафіолетового (УФ) випромінювання є одним із найефективніших методів. Для цього використовують хвилі довжиною 320–400 нм. Молекули, що поглинають енергію УФ-променів, переходять у збуджений електронний стан і стають більш реакційноспроможними. Швидкість полімеризації залежить від інтенсивності УФ-випромінювання.

Щоб підвищити чутливість поліефірного лаку до УФ-променів, до нього додають сенсibilізатор — речовину, що не бере участі в реакції сополімеризації, але переносить поглинуту енергію на молекули реагентів. Сенсibilізатор ефективніше поглинає світло в ультрафіолетовому діапазоні, ніж ненасичені смоли [3].

Лак, що містить парафін, при обробці повинен спочатку повільно полімеризуватися, щоб на поверхні утворився суцільний захисний шар парафіну. Для цього покриття спочатку опромінюють лампами низького тиску (люмінесцентними), а потім високого тиску (ртутно-кварцовими) з більшою

потужністю. Після сушіння поверхню можна шліфувати і полірувати без додаткової витримки.

Поліефірні лаки з парафіном поступово замінюють безпарафіновими. Поверхні, оброблені безпарафіновими поліефірними матеріалами, піддають ультрафіолетовому опроміненню лампами високого тиску (ДРТ-12000) потужністю 1–12 кВт. Такі покриття після сушіння не потребують подальшого облагороджування. Зі зростанням потужності УФ-випромінювання процес затвердіння пришвидшується, але існує ризик перегріву покриття. Тому часто застосовують імпульсне ультрафіолетове опромінення короткими імпульсами тривалістю близько 0,001 с (метод 1St), що дозволяє завершити затвердіння за кілька десятків секунд.

## 1.2 Загальний опис процесу фарбування на АТ «Ельворті»

На АТ «Ельворті» технологічний процес фарбування виконується згідно з чинними інструкціями: з фарбувальних робіт (№ 25049415.25273.00001), з техніки безпеки для малярів (ІТБ №12), з приготування розчину «Знежирювач КХ-К» (ТІ № 329-03/8-06), приготування двокомпонентних ЛФМ (ТІ № 329-01/8-06) та експлуатації установки «AIRMIX» [8].

Відповідно до цих документів, деталі та складальні одиниці доставляють на фарбувальну ділянку за допомогою крана-балки вантажопідйомністю 3 тонни, після чого маляр проводить огляд, очищає поверхню від іржі та окалини, а також обмітає її мітелкою.

Наступним етапом є ізоляція поверхонь деталей або складальних одиниць, які не підлягають фарбуванню згідно з кресленнями, та їх завантаження на дротяні підвіски і пристосування конвеєра: малогабаритні деталі – вручну, а великогабаритні – за допомогою вантажопідйомних механізмів.

Далі проводиться струменеве знежирювання на агрегаті хімічної підготовки поверхні за тиску 0,25–0,3 МПа і температури 20–25 °С протягом 3–6

хвилин, після чого поверхні промивають за тих же умов тиску і температури протягом 1–3 хвилин для видалення залишків миючого розчину.

Потім поверхні сушать конвективним способом у спеціальній камері при температурі  $90 \pm 10$  °С протягом 10 хвилин, охолоджують до 40 °С у камері охолодження протягом 15 хвилин і виконують контроль якості знежирювання.

Паралельно в змішувальному пристрої PU-220 готується двокомпонентна ґрунтовка АК-0306, яку змішують відповідно до технологічної інструкції щогодини протягом робочої зміни. Готову суміш транспортують ручним візком до посту нанесення ґрунту.

У розпилювальній камері фарборозпилювачем АВ-17G ґрунтовку наносять пневматичним розпилюванням: спочатку — від низу рамної конструкції чи підвіски з деталями до середини вузла на першому рівні камери, потім — від середини до кінця виробу на другому рівні першого посту. На другому посту процес повторюється: ґрунт наносять від низу до середини вузла на першому рівні, а потім — від середини до кінця виробу на другому рівні.

Під час планової перерви маляр обов'язково знімає сопла — продуктове і повітряне — і поміщає їх у ємкість із розчинником.

Далі ґрунтовані деталі та складальні одиниці сушать конвективним способом у сушильній камері при температурі 110–120 °С протягом 30–40 хвилин, після чого охолоджують у камері до 40 °С під час руху конвеєра.

Після цих операцій оператор готує до роботи фарбувальну установку на електропідлозі “AIRLESS” з фарборозпилювачем МІК 6600, а саме:

- підключається до магістралі стиснутого повітря;
- під'єднує кабель пістолета до блока керування;
- вмикає блок і дає 3 хвилини на вихід пульта в робочий режим;
- знімає ємкість з розчинником з ручного візка, ставить біля установки і занурює шланги в неї;
- знімає ємкість з емаллю, ставить її біля насоса;
- замінює ємкість з розчинником на ємкість з емаллю, одягає капроновий фільтр на забірний шланг насоса та занурює шланги в емаль;

- закриває кран циркуляції, натискає і утримує важіль пістолета до появи емалі, регулює тиск до 3–4 атм.

Оператор фарбувальної ділянки повторює ці операції для другої установки першого поста та для двох установок другого поста камери. Потім виконує фарбування, здійснюючи такі дії:

- вручну приєднує заземлення до вузла або підвіски з деталями від фарборозпилювача першого рівня першого поста;

- наносить емаль електрофарбуванням від низу рамної конструкції (або підвіски з деталями) до середини вузла на першому рівні;

- вручну від'єднує заземлення;

- вручну приєднує заземлення від фарборозпилювача другого рівня першого поста;

- наносить емаль електрофарбуванням від середини рамної конструкції до кінця виробу на другому рівні першого поста;

- вручну від'єднує заземлення;

- вручну приєднує заземлення від фарборозпилювача першого рівня другого поста;

- наносить емаль електрофарбуванням від низу до середини вузла на першому рівні другого поста;

- вручну від'єднує заземлення;

- вручну приєднує заземлення від фарборозпилювача другого рівня другого поста;

- наносить емаль електрофарбуванням від середини до кінця виробу на другому рівні другого поста;

- вручну від'єднує заземлення.

Під час планової перерви маляр повинен зняти продуктове і повітряне сопла та помістити їх у ємкість з розчинником.

Після завершення роботи оператор виконує такі дії:

- знижує робочий тиск до 1 атм, вимикає подачу повітря на пістолет, відкриває зливний кран і зливає фарбу зі шлангів під час повільної роботи насоса; знімає сопла з фарборозпилювача та кладе їх у ємкість з розчинником;
- встановлює біля насоса ємкості з розчинником для відходів, переставляє всмоктувальний і зливний шланги з ємкості з ЛФМ в ємкість з розчинником; чекає рівномірного виходу розчинника, закриває зливний кран, направляє пістолет у ємкість з ЛФМ і утримує до виходу розчинника;
- викручує пневморегулятор пістолета до кінця, закриває клапан подачі повітря, натискає на спусковий гачок для зниження тиску в шлангах (насос і шланги мають бути наповнені розчинником при атмосферному тиску);
- залишки емалі та розчинника транспортує на ручному візку до фарбоготувального відділення і зливає у ємкість для відходів;
- аналогічні дії виконує для другої установки першого посту та обох установок другого посту.

Останнім етапом є сушіння пофарбованих поверхонь деталей і складальних одиниць конвективним способом при температурі 110–120 °С упродовж 30–40 хвилин, після чого здійснюється їх охолодження до 40 °С впродовж 10–20 хвилин по ходу руху конвеєра.

Далі пофарбовані деталі та складальні одиниці знімаються з підвісок:

- малогабаритні — вручну і вкладаються в спеціальні пристосування;
- крупногабаритні — за допомогою вантажопідіймальних механізмів і вкладаються в штабелі.

У разі необхідності маляр виконує додаткові операції:

- зачищає патьоки фарби,
- вирівнює пошкоджені місця шліфувальною шкуркою,
- протирає зачищені та непофарбовані поверхні ганчіркою, змоченою в розчиннику,
- виконує підфарбовування,
- видаляє ізоляційний шар з ділянок, які не підлягали фарбуванню,
- видаляє змазку,

- наносить маркування згідно з кресленням.

На завершальному етапі пофарбовані поверхні деталей і складальних одиниць висушуються в природних умовах упродовж шести годин, після чого їх транспортують на дільницю збирання, пакування або на склад.

У результаті аналізу послідовності операцій технологічного процесу фарбування методом пневматичного розпилення на АТ «Ельворті» можна зробити висновок, що значна частина робіт виконується вручну безпосередньо оператором фарбувальної дільниці. Серед таких операцій:

- переміщення заготовок, лакофарбових матеріалів і розчинників до місця проведення робіт за допомогою ручного візка;
- очищення поверхонь хімічним розчином у разі наявності слідів корозії;
- навішування або фіксація деталей на підвісних пристроях конвеєра;
- приготування двокомпонентних фарбувальних складів – ґрунтовок і емалей;
- доставка підготовлених сумішей до робочих постів для нанесення покриття тощо.

Виконання наведених операцій вручну зумовлено складністю адаптації засобів автоматизації до наявних технологічних умов та економічною недоцільністю їх впровадження. Водночас, деякі з цих операцій доцільно автоматизувати. Зокрема, це стосується автоматичного увімкнення фарбувального агрегату при наявності деталей або складальних одиниць на кріпильних пристроях конвеєра. Така автоматизація дозволить покращити умови праці маляра, зменшивши навантаження та необхідність постійного контролю за моментом увімкнення обладнання, а також сприятиме економії лакофарбових матеріалів за рахунок точнішої синхронізації роботи агрегату з появою виробів у зоні фарбування.

## 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТОГО ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ ВИРОБУ

### 2.1 Огляд методів нанесення лакофарбових покриттів

#### 2.1.1 Нанесення способом пневматичного розпилення

Суть пневматичного розпилення полягає в тому, що лакофарбовий матеріал (ЛФМ) за допомогою струменя стисненого повітря розпилюється на дрібні частки, утворюючи аерозоль. Ці частинки переміщуються разом із повітряним потоком і, потрапляючи на оброблювану поверхню, зливаються в рівномірне покриття. Процес розпилення відбувається у форсунці, яка є головним елементом розпилювача. Швидкість повітря на виході з форсунки становить 300–450 м/с, а тиск – у межах 0,25–0,55 МПа залежно від конструктивних особливостей розпилювача. Оптимальна в'язкість ЛФМ повинна становити 25–35 секунд за приладом ВЗ-4, при цьому розмір аерозольних частинок коливається в межах 6–80 мікрометрів. Форсунки бувають із повітряним і матеріальним соплом [6].

Найчастіше нанесення лакофарбових матеріалів методом розпилення виконується вручну з використанням фарборозпилювачів типу КРП-3, КР-20, ЗІЛ, З-765 тощо. Процес здійснюється в розпилювальних кабінах, які повинні забезпечувати ефективне очищення повітря від лакофарбового пилу, видалення парів і аерозолі з робочої зони, а також відповідати вимогам пожежної безпеки. Обробка деталей методом розпилення проводиться саме в таких кабінах, які також виконують функцію збору і видалення летких компонентів, що утворюються у вигляді туману. Залежно від способу подачі виробів, розпилювальні кабіни поділяються на тупикові та прохідні: у тупикових подавання й вивантаження виробів здійснюється через один і той самий отвір, тоді як у прохідних - подавання відбувається з одного боку, а вивантаження - з іншого.

На рисунку 2.1 [3] зображено розпилювальну камеру, призначену для обробки виробів середніх габаритів. Під час її роботи повітря, насичене лакофарбовим туманом, спочатку проходить крізь фарбозатримувальні ґрати,

після чого надходить у секцію з гідрофільтром, який складається з двох водяних завіс. У цій секції повітря очищується від часток лакофарбового пилю та частково — від парів розчинників. Наступним етапом є проходження повітря через сепаратор, сформований із набору металевих пластин. Тут із нього видаляється надлишкова волога, що потім стікає у ванну. Очищене повітря далі надходить у витяжну вентиляційну систему і виводиться в атмосферу. До ванни також потрапляє вода, що подається через форсунки гідрофільтра. Після відстою вона повторно використовується в системі гідрофільтрації.

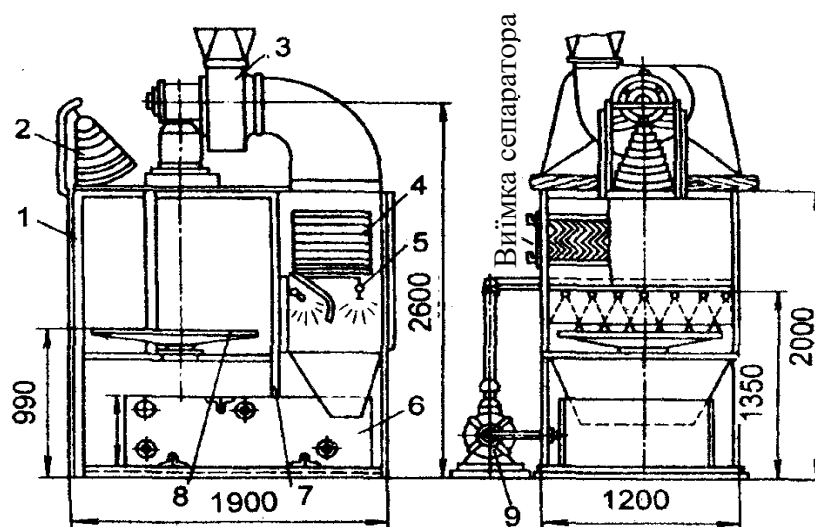


Рисунок 2.1 - Розпилювальна камера для обробки виробів середніх розмірів:

- 1 - каркас; 2 - світильник; 3 - вентилятор; 4 - сепаратор; 5 - гідро фільтр;  
6 - ванна; 7 -грати; 8 - поворотний стояк; 9 - насос

Розпилення попередньо підігрітих лаків має низку переваг порівняно з нанесенням холодних лаків. Зокрема, покращується розтікання матеріалів з підвищеною в'язкістю, зменшується ймовірність утворення патьоків на вертикальних поверхнях, що дозволяє наносити покриття більш товстим шаром. Це, у свою чергу, сприяє економії розчинників та підвищенню продуктивності праці. Для підігріву лакофарбових матеріалів використовуються установки типу УГО-2МВ, УГО-4М та інші, які забезпечують температуру ЛФМ на виході з розпилювача в межах 70–75 °С.

### 2.1.2 Нанесення способом електростатичного розпилення

Електростатичне розпилення полягає в тому, що під час процесу аерозольні частинки отримують негативний заряд і під дією електростатичного поля притягуються до виробу з позитивним зарядом, осідаючи на його поверхні. Цей спосіб ефективний для нанесення покриття на вироби зі складною геометрією та ґратчасті конструкції. Метод відзначається високою продуктивністю та незначними втратами лакофарбового матеріалу. При застосуванні стаціонарних установок процес майже повністю автоматизований, а умови праці залишаються на високому санітарно-гігієнічному рівні.

Нанесення лакофарбових матеріалів методом електрофарбування може здійснюватися пневматичним, гідравлічним, відцентровим або електростатичним способами. Електростатичне нанесення проводиться в умовах постійного електричного поля з високою напругою (від 50 до 140 кВ), при цьому обов'язковим є заземлення виробу. У процесі електрофарбування відбувається ряд електрофізичних явищ: зарядження лакофарбового матеріалу, його розпилення, формування факела, переміщення заряджених частинок до поверхні виробу та їх осадження. На рисунку 2.2 (слайд 01.00) представлена принципова схема електрофарбувальної установки з високовольтним випрямлячем.

Застосування методу нанесення лакофарбових матеріалів в електричному полі є одним із найбільш економічних способів покриття, адже дозволяє знизити витрати ЛФМ до 50 % у порівнянні з традиційним пневматичним розпиленням. Це досягається завдяки високому коефіцієнту осадження частинок на поверхні виробу, адже заряджені аерозольні частки притягуються до заземленого виробу, що зменшує втрати матеріалу в навколишнє середовище.

Проте, поряд із перевагами, цей метод має й низку обмежень. Зокрема, він потребує використання спеціально адаптованих лакофарбових матеріалів, сумісних із умовами електростатичного нанесення, що значно обмежує вибір продукції. Крім того, через геометричні особливості виробів (наявність заглиблень, щілин, екраніруючих поверхонь) не завжди досягається рівномірне

покриття всієї поверхні — можливе утворення незабарвлених або недостатньо пофарбованих зон.

Також слід враховувати складність конструкції обладнання, необхідного для реалізації електростатичного методу. Апаратні комплекси, які забезпечують створення високовольтного електричного поля, є технологічно складними, потребують висококваліфікованого обслуговування та значних фінансових витрат як на встановлення, так і на подальшу експлуатацію. Усе це може впливати на доцільність застосування методу в умовах серійного або дрібносерійного виробництва.

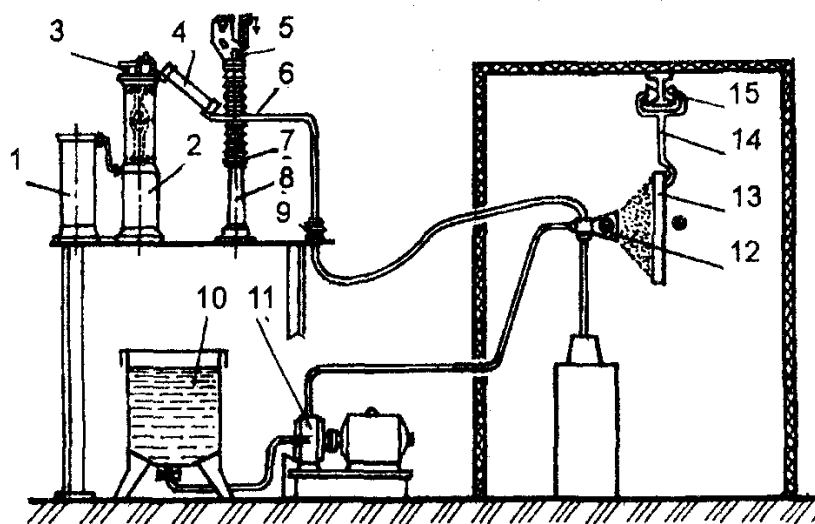


Рисунок 2.2 - Схема установки з високовольтним випрямлячем для обробки виробів в електростатичному полі високої напруги:

- 1 - високовольтний трансформатор; 2 - трансформатор накаливання кенотрона;
- 3 - кенотрон; 4 - обмежувальний опір; 5 - автоматичний розрядник; 6 - шинопровод;
- 7, 9 - ізолятори; 8 - стійка авторозрядника; 10 - бак з лакофарбовим матеріалом;
- 11 - дозатор; 12 - розпилювач; 13 - виріб; 14 - підвіска; 15 - ланцюговий конвеєр

### 2.1.3 Нанесення матеріалів вальцями

Нанесення лакофарбового матеріалу здійснюється в один або декілька проходів залежно від бажаної товщини покриття, при цьому обробка може виконуватись з одного або з обох боків деталі. ЛФМ наноситься на поверхню за допомогою обертового вальця. Подавання матеріалу на наносний валець

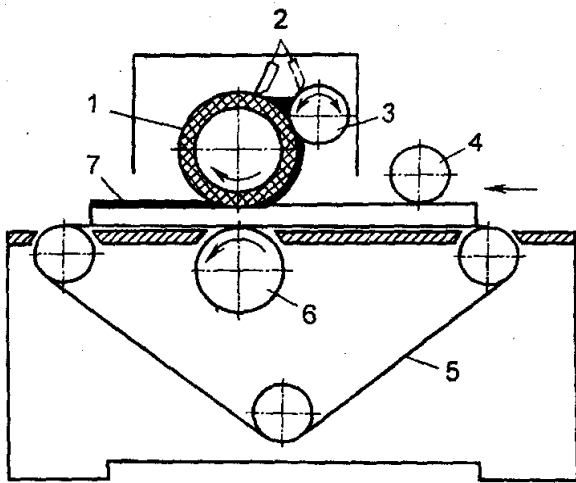


Рисунок 2.3 - Схема вальцювального верстата, що наносить ЛФМ:

- 1 - валець, що наносить фарбу;
- 2 - ракель; 3 - дозуючий валець;
- 4 - притискний ролик;
- 5 - стрічковий конвеєр;
- 6 - приводний валець; 7 - шар лакофарбового матеріалу на поверхні деталі, що обробляється

відбувається з ванни за участі живильного та дозуючого вальців або через проміжок між дозуючим і наносним вальцями. Принцип дії вальцювального верстата наведено на рисунку 2.3.

Залежно від конструкції, вальцюві верстати можуть мати різне призначення. За допомогою цього методу можливе нанесення барвників, ґрунтовок, шпаклівок, лаків, а також друкованих зображень. Для фарбування щитових елементів використовуються верстати серії КЩ, зокрема КЩ-9. Для нанесення ґрунтовок, шпаклівок та лаків застосовують як вітчизняне обладнання - верстати МЛН1.03, ВЩ9-1, ОД-58, ШПЩ-9, — так і імпортовані аналоги.

Серед основних переваг вальцювального методу варто відзначити високу продуктивність процесу, мінімальні втрати лакофарбових матеріалів, здатність наносити покриття з матеріалів різної в'язкості, а також можливість формування надзвичайно тонких шарів. Окрім цього, верстати вальцювального типу легко інтегруються в автоматизовані виробничі лінії, що сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу.

#### 2.1.4 Нанесення матеріалів способом плоского наливу

Плоский налив широко застосовується завдяки своїй високій продуктивності. За одну операцію цей метод дозволяє нанести значний об'єм матеріалу навіть при досить високій в'язкості, що сприяє зниженню витрат розчинників. Крім того, метод наливу характеризується невеликими втратами лакофарбових матеріалів. Водночас він не підходить для нанесення дуже тонких шарів — менше ніж 90 г/м<sup>2</sup> за один прохід. При інтеграції лаконаливних машин у

виробничі лінії необхідно використовувати спеціальні системи для розгону та гальмування деталей, оскільки швидкість роботи машини перевищує швидкість руху лінії.

Суть нанесення лакофарбових матеріалів методом наливу полягає в тому, що плоскі деталі, які рухаються конвеєром, проходять крізь потік рідкого матеріалу, що виливається з наливної головки (див. рис. 2.4).

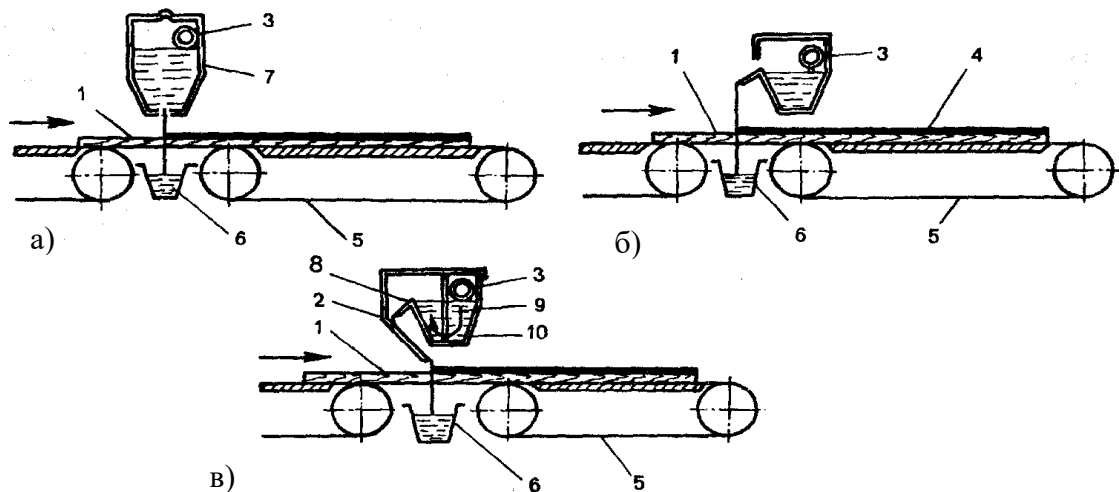


Рисунок 2.4 - Схема утворення завісу фарбувального матеріалу:

- а - витікання з донної щілини; б - переливання через зливальну греблю;
- в - переливання зі зливальної греблі зі стіканням з екрана;
- 1 - деталь; 2 - екран; 3 - лакоподаюча труба; 4 - покриття; 5 - конвеєр;
- 6 - лоток; 7 - корпус голівки; 8 - зливальна гребля; 9 - перегородка; 10 - фільтр

Методом наливу можна наносити як однокомпонентні, так і двокомпонентні лакофарбові матеріали, включно з водно-дисперсійними. Для фарбування пластин щитів використовують машини типів ЛМ-3, ЛМ-140-1, ЛМ-80-1, а для фарбування крайок – двоголовочну машину ЛМК-1 та інші.

### 2.1.5 Нанесення матеріалів способом занурення

Метод занурення використовують для обробки деталей обтічної форми. Вироби занурюють у ванну з лакофарбовим матеріалом, після чого витягують, дають надлишкам лаку стекти і сушать. Товщина та рівномірність покриття залежать від кількох чинників: чим вища в'язкість лаку та вміст нелетучих

речовин, швидкість випаровування розчинників, швидкість витягання з ванни, а також чим нижча щільність лаку, тим товще покриття [3].

Метод занурення характеризується високою продуктивністю та економним використанням лакофарбових матеріалів, а також легко піддається механізації та автоматизації. Основним недоліком цього способу є нерівномірність товщини покриття вздовж деталі: з верхньої частини лак стікає інтенсивніше, ніж з нижньої. Крім того, при збільшенні швидкості витягування деталі нерівномірність покриття стає ще більш вираженою.

### 2.1.6 Нанесення матеріалів методом протягання

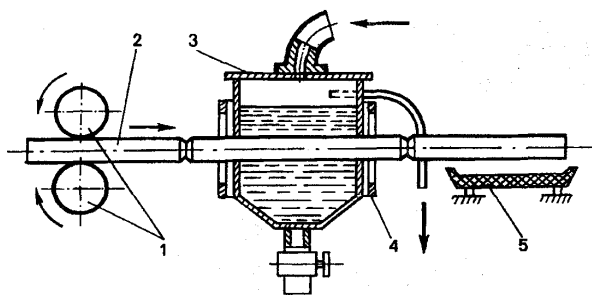


Рисунок 2.5 - Схема установки для нанесення лакофарбових матеріалів методом протягання:

- 1 - вальці, що подають ; 2 - деталь;
- 3 - ванна; 4 - філь'єра; 5 - стрічковий конвеєр сушильної камери

Метод протягання (екструзії) застосовується для нанесення лакофарбових матеріалів на деталі з постійним перерізом. Під час процесу деталь безперервно проходить через закриту камеру, заповнену ЛФМ, через гумові шайби (філь'єри), які щільно обжимають деталь і запобігають витіканню лаку з камери (див. рис. 2.5).

Деталі повинні подаватися торцем у торць без зупинок. Для цього способу використовують лаки з високою в'язкістю — приблизно 300–350 секунд за ВЗ-4. Оскільки такі лаки не завжди доступні, на практиці застосовують нітролаки НЦ-218, НЦ-223, з яких попередньо випарюють розчинник для досягнення необхідної густини. Кількість нанесеного лаку регулюють за допомогою твердості філь'єр і ступеня обтиснення деталей. Метод протягання є простим, високопродуктивним і майже повністю автоматизованим. При цьому втрати лаку мінімальні, але цей спосіб підходить переважно для обробки деталей круглої або шестигранної форми в перерізі.

### 2.1.7 Нанесення лакофарбових покриттів способом струминного обливу з витримуванням в парах розчинника

Суть цього методу полягає у фарбуванні деталей, які підвішені у вертикальному положенні, шляхом їх проходження крізь багатоструменеву завісу фарби ламінарного типу. Завдяки такій завісі фарбовий матеріал рівномірно покриває всю поверхню деталей, навіть у важкодоступних місцях, де зазвичай виникають проблеми з нанесенням покриття. Після нанесення фарби деталі поміщають у парову зону, яка створює оптимальні умови для подальшої обробки. Парова атмосфера значно уповільнює випаровування розчинника з фарбового шару, що дозволяє фарбі краще розтікатися по поверхні, зменшує утворення патьоків і забезпечує формування рівномірного, однорідного покриття. Такий підхід не лише покращує якість фарбування, але й підвищує адгезію покриття до основи, збільшує його довговічність та стійкість до механічних і хімічних впливів. Крім того, завдяки уповільненому випаровуванню розчинника, знижується ризик появи дефектів, таких як раковини чи нерівності, що позитивно впливає на зовнішній вигляд та експлуатаційні властивості готових виробів. Цей метод широко

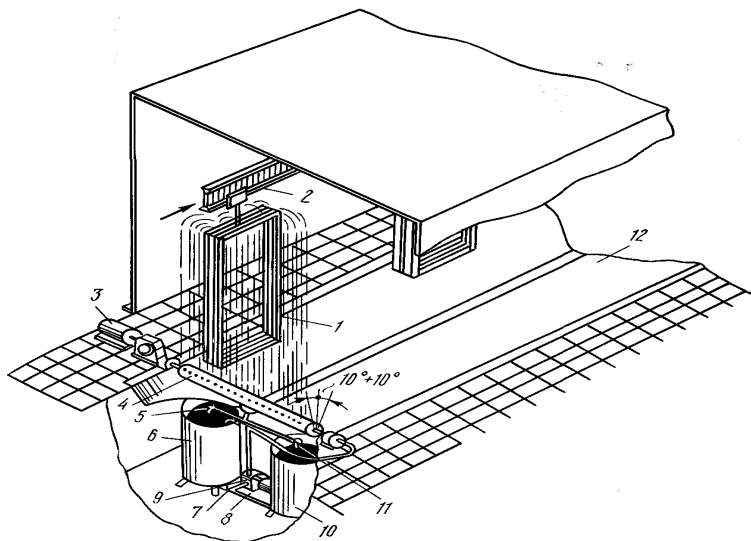


Рисунок 2.6 - Схема установки струминного обливу:

1- виріб; 2 - конвеєр; 3 - привод; 4 - колектор;  
5, 11 - труби; 6 - бак з емаллю; 7, 8 - вентиль;  
9 - насос; 10 - бак з розчинником; 12 - піддон

застосовується для фарбування деталей складної форми, де важливо досягти якісного та рівномірного покриття навіть у найскладніших ділянках поверхні.

Струминний облив здійснюється шляхом подачі фарби через сопла нерухомого контуру, який оточує деталь, або через систему сопел, встановлених на рухомій трубі (осциляторі), що розташована під конвеєром з виробами (рис. 2.6).

Необхідна концентрація парів у паровому тунелі підтримується переважно за рахунок випаровування розчинників із пофарбованих деталей. Тривале перебування виробів у паровому тунелі та накопичення розчинника спричиняють зменшення товщини фарбового шару, особливо на краях виробів. Втрати фарби при використанні цього методу не перевищують 5–10 %.

## 2.2 Існуючі пристрої виявлення руху об'єктів у просторі

Розроблювана система позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату має включати безконтактний датчик руху деталі на конвеєрі. Для цього необхідно обрати засіб, який передаватиме сигнал керуючому пристрою при появі деталі в зоні дії — тобто безконтактний вмикач. Безконтактний вмикач — це вимикач, що активується об'єктом без механічного контакту, а керування навантаженням здійснюється напівпровідниковими елементами, що забезпечує високу надійність роботи [9].

У системах керування безконтактні вмикачі зазвичай виконують роль датчиків зворотного зв'язку, сигналізуючи про завершення переміщення певного елемента устаткування. Проте їхнє застосування ширше. Коли об'єкт заходить у зону чутливості вмикача, він активує його, і комутаційний елемент вмикача вмикає або вимикає струм навантаження (до 400 мА DC або до 500 мА AC). В якості навантаження можуть виступати вхід контролера, електронна схема або обмотка реле чи контактора. Електрична частина вмикача розміщена у корпусі з нікельованої латуні або пластмаси, а для надійної роботи в складних умовах її герметизують компаундом.

Класифікація безконтактних вмикачів базується на їхніх основних характеристиках, за якими формується і система позначень. Вмикачі поділяють за такими ознаками:

1. за принципом роботи чутливого елемента — індуктивні, ємнісні, оптичні, ультразвукові, магнітні немеханічні;

2. за умовами монтажу — індуктивні та ємнісні можуть бути утопленими або неутопленими, при цьому неутоплені потребують вільної від демпфіруючих матеріалів зони навколо чутливого елемента;

3. за характеристиками комутаційного елемента — різняться комутаційною функцією та типом виходу (схемою підключення);

4. за конструктивними особливостями — за формою корпусу та способом підключення.

Розглянемо детальніше типи датчиків для визначення руху та контролю розмірів об'єктів. Вони широко застосовуються, оскільки контроль положення і переміщень є ключовим для коректної роботи багатьох машин. Крім того, багато фізичних величин — сили, тиски, прискорення, температура — вимірюються через первинне перетворення у переміщення, яке створюють відповідні зразки.

Існують два основні методи визначення положення та вимірювання переміщень [10].

Перший, найпоширеніший метод, базується на тому, що датчик генерує сигнал, який залежить від положення його рухомої частини, пов'язаної з об'єктом. Зміни сигналу відображають переміщення. Сюди входять датчики, що використовують залежність електричного імпедансу від положення рухомого елемента — потенціометри, індуктивності з рухомим сердечником, конденсатори з рухливими обкладками, трансформатори зі змінною кількістю витків. Також до цієї групи належать кодові датчики абсолютного положення, які визначають положення і переміщення шляхом оптичного або магнітного зчитування двійкової шкали, нанесеної на рейку або диск, що з'єднана з рухомою частиною.

Другий, менш поширений метод, полягає у тому, що датчик генерує одиничний імпульс при кожному елементарному переміщенні. Положення і переміщення визначаються підрахунком кількості імпульсів із урахуванням напрямку руху — це датчики послідовних прирощень.

Безконтактні датчики відрізняються відсутністю механічного зв'язку з об'єктом, положення або переміщення якого вони вимірюють. Через це вони мінімально впливають на вимірювану величину. Зв'язок між рухомим об'єктом і

датчиком забезпечується за допомогою магнітного, електромагнітного або електростатичного поля, інтенсивність якого залежить від відносного положення об'єкта і датчика і визначає вихідний електричний сигнал.

### 2.2.1 Потенціометри

Датчик цього типу працює за простим принципом, що забезпечує відносно низьку вартість конструкції. Сигнал, який він генерує, часто має достатньо високий рівень і не потребує складної електронної обробки [11].

Потенціометри без механічного ковзного контакту усувають проблеми, пов'язані з тертям між ковзним контактом і доріжкою, такі як знос, шум і люфт, замінюючи механічне з'єднання між рухливою віссю та резистивною смугою

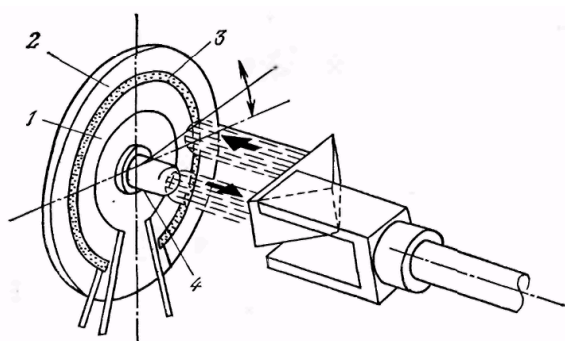


Рисунок 2.7 - Кутовий потенціометр з оптичним зв'язком (документація фірми Segor) схема принципова:

- 1 – вимірювальна смуга; 2 – контактна смуга; 3 – фотопровідна смуга;
- 4 – електролюмінесцентний діод

оптичним або магнітним зв'язком.

У кутовому потенціометрі з оптичним зв'язком вимірювальна смуга опору відокремлена від контактної вузькою смугою фотопровідника (CdSe). При повороті осі потенціометра світлова пляма рухається по цій фотопровідній смугі (рис. 2.7). Освітлена частина фотопровідника значно знижує свій опір, що забезпечує електричний зв'язок між вимірювальною та контактною смугами.

### 2.2.2 Огляд індуктивних датчиків

Приклади технічних характеристик датчиків з диференціальним включенням індуктивностей: діапазон вимірювань – від  $\pm 0,1$  до  $\pm 200$  мм; чутливість – від 10 до 100 мВ на 1 В вхідної напруги та на 1 мм переміщення; відхилення від лінійності становить від 0,5 до 2 % від діапазону виміру. Диференціальні трансформатори є датчиками з високою лінійністю, роздільною

здатністю та чутливістю, а також мають здатність працювати в умовах агресивного середовища.

Він має кілька переваг порівняно зі схожою системою диференціального включення двох індуктивних датчиків з рухомим сердечником, а саме:

- значне спрощення електричної схеми, оскільки відпадає необхідність у складанні та балансуванні моста;
- незалежність контуру збудження від вимірювального контуру, що забезпечує гальванічну ізоляцію між ними, полегшуючи усунення впливу різниці статичних потенціалів і дозволяючи в деяких випадках обійтися без підсилювачів з гальванічною розв'язкою.

Мікросин — це компактний пристрій, що складається з феромагнітного статора з чотирма полюсами та ротора. Кожен полюс має дві обмотки — первинну і вторинну, тоді як ротор не має обмоток і здійснює обертальний рух, який необхідно перетворити.

Основні метрологічні характеристики мікросина такі: діапазон вимірювань становить  $\pm 10^\circ$ , чутливість — 0,1 В на 1 В і  $1^\circ$ , а відхилення від лінійності — від 0,5 до 1 % від діапазону вимірювань.

Індуктивний потенціометр складається з феромагнітних статора і ротора, кожен з яких має обмотку, подібну до плоскої котушки. Оптимальне розташування обмоток дозволяє розширити лінійний діапазон до кута повороту близько  $\pi/2$  ( $90^\circ$ ). Основні метрологічні характеристики такого потенціометра: діапазон вимірювань від  $120^\circ$  до  $180^\circ$ , чутливість від 0,5 до 20 мВ на 1 В і  $1^\circ$ , а відхилення від лінійності — від 0,1 до 0,5 % від діапазону вимірювань.

Сельсин — це система, що складається з двох механізмів: передавача і приймача. Кожен має однофазний ротор і трифазний статор, обмотки якого розташовані під кутом  $120^\circ$  у вигляді букви Y. Обмотки статора передавача і приймача з'єднані попарно.

Основні метрологічні характеристики сельсина: діапазон вимірювань —  $360^\circ$ , чутливість поблизу нуля — від 10 до 100 мВ на 1 В і  $1^\circ$ , точність — від 5 до 30 хвилин кута.

Револьвер — прилад, що складається з двох ротора обмоток, розташованих під прямим кутом, та двох статора обмоток, також розташованих під прямим кутом. Його різні схеми застосовують там, де потрібно точне визначення тригонометричних функцій кута, а не самого кута. Залишкова напруга біля нуля дуже мала — менше мілівольта, а відхилення напруг від теоретичних значень становить менш як 0,01%.

Індуктосин буває двох типів: лінійний для виміру прямолінійних переміщень і круговий — для кутових. За принципом дії він схожий на резольвер із збільшеною кількістю полюсів, де статорні і роторні обмотки розташовані в одній площині. Індуктосин складається з двох плоских частин — рухливої і нерухомої: лінійка та ковзний ноніус у лінійного, ротор і статор у кругового.

Основні метрологічні характеристики:

- Лінійний індуктосин: діапазон — до кількох метрів; крок — 0,1–2 мм; розрішення —  $\pm 0,1$  мкм; відтворюваність —  $\pm 0,25$  мкм; точність —  $\pm 2$  мкм.
- Круговий індуктосин: діапазон —  $360^\circ$ ; крок —  $1\text{--}2^\circ$ ; розрішення —  $\pm 0,05''$ ; відтворюваність —  $\pm 0,1''$ ; точність —  $\pm 1''$ .

Індуктосини відзначаються високою точністю, розрішенням і відтворюваністю, що робить їх незамінними для контролю переміщень і керування положенням у навігаційних системах, антенах, телескопах тощо.

### 2.2.3 Огляд ємнісних датчиків

Ємнісний датчик — це плоский або циліндричний конденсатор, одна з обкладок якого реагує на переміщення, що контролюється, змінюючи ємність. Завдяки простоті конструкції, такі датчики виходять міцними і надійними. Зазвичай діелектриком є повітря, тому параметри конденсатора залежать лише від його геометрії і не залежать від властивостей матеріалів, за умови правильного їх вибору. Таким чином, вплив температури на зміну площі обкладок і відстані між ними можна знехтувати, якщо грамотно підібрати метал для обкладок і ізоляційний матеріал для кріплення [11].

#### 2.2.4 Огляд цифрових датчиків

Вимірювальні дані в аналоговому вигляді часто обробляють за допомогою цифрових схем, що забезпечує додаткові зручності. Це можливо завдяки аналого-цифровим перетворювачам. Для переміщень можна створити датчик, який вимірює лінійне або кутове положення й відразу видає цифровий сигнал. Як і в усіх цифрових пристроях, інформація при цьому квантована, тому розрішення завжди має кінцеве значення.

Абсолютні цифрові датчики представляють собою рейки для лінійних переміщень або диски для кутових переміщень, поділені на  $N$  рівних ділянок (смуг на рейці або секторів на диску). На кожній ділянці записане бінарне слово, яке відповідає певному положенню згідно з кодом і технологією. Розрішення датчика визначається числом ділянок  $N$ : для рейки довжиною  $L$  см це становить  $L/N$  см, а для диска —  $360^\circ/N$ .

Всі  $p$  біт, які складають кожне з бінарних слів, розміщуються на  $p$  доріжках — рівнобіжних для рейки або концентричних для диска — де кожна доріжка використовує два фізичні стани для кодування 0 або 1:

- а) ненамагнічувану або феромагнітну поверхню (для магнітного зчитування);
- б) ізолюючу або провідну поверхню (для електричного зчитування);
- в) непрозору або прозору поверхню (для оптичного зчитування).

Найчастіше зараз застосовують оптичне зчитування, де кожна доріжка має власне джерело світла — електролюмінесцентний діод — і приймач — фототранзистор.

#### 2.2.5 Датчики на принципі поширення пружних хвиль

Швидкість поширення пружних хвиль у тілі близько  $10^3$  м/с, що приблизно в  $10^5$  разів повільніше за швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі. Час проходження хвилі між двома точками на відстані  $l$  дорівнює  $t_p = l/V$ , що становить близько мілісекунд для  $l$  у метрах і мікросекунд для  $l$  у міліметрах. Цей час легко виміряти, а знаючи  $V$ , можна обчислити відстань  $l$ .

Датчик такого типу складається з:

- а) твердого елемента (пластини, стрижня, труби) для поширення хвиль;

б) генератора пружних хвиль, з'єднаного з твердим елементом;

в) приймача, розташованого на відстані  $l$  від генератора, який фіксує електричний сигнал, коли отримує хвильовий пакет, надісланий генератором через час  $tp$ .

### 2.2.6 Огляд датчиків близькості

У датчиків цього типу відсутній механічний зв'язок між самим приладом і рухомим об'єктом; взаємодія між ними, яка залежить від їх відносного положення, здійснюється через поле, що може бути:

а) магнітним індукційним полем для датчиків зі змінним магнітним опором (які використовують ефект Хола або магніторезистивні елементи);

б) електромагнітним полем для датчиків, що працюють на струмах Фуко;

в) електростатичним полем у ємнісних датчиках.

Переваги безконтактних датчиків близькості полягають у відсутності механічного зв'язку, що забезпечує:

а) широку смугу пропускання;

б) мінімальний вплив на об'єкт вимірювання завдяки дуже малим силам взаємодії;

в) підвищену надійність через відсутність рухомих частин, схильних до зносу чи збільшення зазорів.

Крім того, такі датчики гарантують гальванічну розв'язку між вимірювальним контуром і рухомим об'єктом.

### 2.2.7 Огляд оптичних датчиків

Розглянемо ще один тип датчиків для позиціювання фарбувальної головки відносно об'єкта — оптичні датчики. Для їх ефективної роботи потрібно, щоб характеристики випромінювання (спектр, потік, частота модуляції) відповідали вимогам. Ці властивості залежать від джерела світла, тому коротко охарактеризуємо основні типи джерел, важливі для застосування.

Лампи накалювання з вольфрамовою ниткою містять нагріту струмом нитку в скляному або кварцовому балоні з інертним газом (у галогенних – з парами йоду), що зменшує випаровування нитки. Колірна температура нитки відповідає температурі чорного тіла з подібним спектром у видимій області, трохи вища за фактичну.

Переваги: великий світловий потік та неперервний спектр, який можна фільтрувати.

Недоліки: велика теплова інерція (обмежує швидку модуляцію), короткий термін служби, крихкість при ударах і вібраціях.

Електролюмінісцентні діоди (світлодіоди) випромінюють фотони при рекомбінації електронів і дірок у р-п-переході.

Переваги: дуже мала постійна часу (наносекунди), що дозволяє модулювати світло на високих частотах керування струмом; чіткий, вузькоспектральний випромінюваний сигнал; висока надійність і міцність.

Недоліки: відносно низька потужність (близько 100 мкВт) і залежність світлового потоку від температури.

Лазери працюють за принципом посилення світла з позитивним зворотним зв'язком, що забезпечує дуже високу монохроматичність, яскравість, вузьку спрямованість і високу когерентність випромінювання. На відміну від інших джерел світла, у лазера всі хвилі мають однакову фазу і поляризацію, що утворює єдиний когерентний пучок.

Просторова когерентність означає, що фази хвиль у різних точках пучка майже ідентичні, а ширина пучка на виході — кілька міліметрів. Завдяки цьому лазерний промінь має дуже низьку розходжуваність і може поширюватися на великі відстані, що робить його незамінним для точних вимірювань, наприклад, до супутників.

Фоторезистор — це резистивний датчик, опір якого змінюється під впливом світлового потоку з певним спектральним розподілом енергії. У поєднанні з відповідною схемою обробки сигналу він є одним із найчутливіших оптичних датчиків. Його робота базується на фотопровідності — внутрішньому

фотоефекті, при якому світло викликає звільнення електричних зарядів у матеріалі, що призводить до збільшення провідності.

Фоторезистори мають переваги у вигляді високої чутливості та великого статичного коефіцієнта перетворення, що дозволяє використовувати прості схеми, наприклад, для прямого керування реле [12]. Вони застосовуються в задачах, де не потрібні точні виміри — наприклад, для визначення наявності світла чи темряви, фіксації світлових імпульсів. Проте, за умови стабілізації та калібрування характеристик, фоторезистори можна використовувати й у фотометрії. Вимір опору або його зміни проводять через різні схеми: потенціометричну з постійним струмом, міст Уїтстона, операційний підсилювач або RC-генератор.

Фоторезистор можна використовувати для керування, коли потік випромінювання перевищує певний поріг. Це викликає зниження опору, що призводить до струму, достатнього для переключення пристрою з двома стабільними станами — увімкнення або вимкнення реле (див. рис. 2.8) чи блокування тиристора тощо.

Фоторезистор у приймачі оптичних сигналів разом з електричною схемою перетворює світлові імпульси — коли світловий пучок ритмічно переривається чи пропускається — у відповідні електричні імпульси (наприклад, для підрахунку предметів чи виміру швидкості обертання диска). Через велику постійну часу фоторезистора отримані імпульси часто потрібно обробляти тригером Шмідта

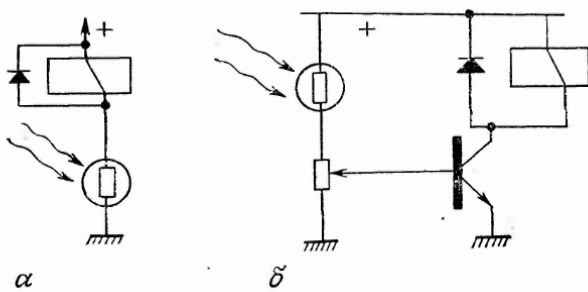


Рисунок 2.8 - Схема з фоторезистором для керування реле:

*а* – безпосереднє керування; *б* - керування з допомогою транзисторного підсилювача

перед подальшою обробкою. Також максимальна частота світлових імпульсів не повинна перевищувати граничну частоту фоторезистора.

Режим роботи фотодіода вибирають залежно від потрібних характеристик і задач досліджень. У цій системі доцільно

використовувати фотодіодний режим, який відзначається лінійністю, малим часом відгуку і широкою смугою пропускання.

Електричні схеми для лавинних фотодіодів схожі на звичайні, але завдяки вищій чутливості лавинних фотодіодів можна застосовувати ланцюги з меншим опором навантаження, що підвищує швидкодію і розширює смугу пропускання при тій же вихідній напрузі підсилювача.

Фототранзистор може працювати як комутатор або в лінійному режимі. У комутаційному режимі він вигідніший за фотодіод тим, що дозволяє безпосередньо керувати більшими струмами. В лінійному режимі, хоч фототранзистор має підсилення, фотодіод забезпечує кращу лінійність і менші спотворення.

Фототранзистор у режимі комутації працює з дискретною інформацією: він визначає, чи перевищує освітленість заданий поріг. У такому режимі він або блокує, або пропускає струм у режимі насичення, керуючи напряму або через підсилювач реле, логічні схеми чи тиристор (див. рис. 2.9). Швидкість комутації обмежена опором навантаження, але її можна значно покращити, якщо застосувати схему з малим вхідним імпедансом — наприклад, з загальною базою або перетворювач струм–напруга.

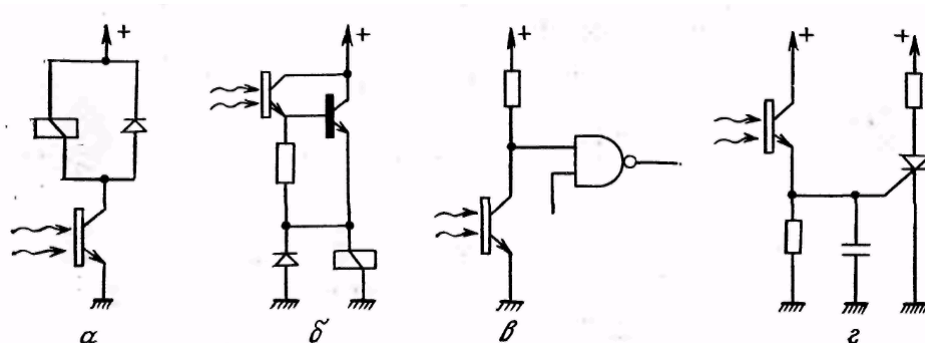


Рисунок 2.9 – Приклади застосування фото транзисторів в схемах керування:

*a* - реле; *б* - реле після підсилення; *в* – з логічною вентиляльною схемою;  
*г* – з тиристором

Фотоємисійні датчики перетворюють оптичний сигнал у електричний за рахунок зовнішнього фотоєфекта — звільнення електронів з фотокатода під впливом світла. Кількість звільнених електронів пропорційна числу падаючих

фотонів. Ці електрони утворюють струм, який або безпосередньо збирається анодом (вакуумний фотоелемент), або підсилюється за рахунок ударної іонізації газу (газонаповнений фотоелемент) чи вторинної емісії (фотоелектронний помножувач).

Вакуумні фотоелементи мають переваги: можна підібрати фотокатод під потрібний спектр, вони мають лінійність і слабку залежність від температури, що робить їх ідеальними для фотометрії. Вони також здатні приймати й вимірювати потужні імпульси світла (наприклад, від лазерів).

Газонаповнені фотоелементи схожі на вакуумні, але балон заповнений розрідженим газом (зазвичай аргоном) при низькому тиску. При високій анодній напрузі електрони викликають іонізацію газу, що призводить до підсилення струму фотокатода з коефіцієнтом 5-10.

Фотоелектронні помножувачі використовують явище множення електронів, коли число електронів, що емітуються поверхнею, перевищує число падаючих фотонів. Вони вирізняються високою чутливістю, мінімальним шумом і швидкодією, що робить їх ідеальними для виявлення дуже слабких оптичних сигналів — як постійних, так і імпульсних. Застосовуються в астрономії, спектрофотометрії, лазерній телеметрії, оптичній локації та лідарах.

Недоліки — великі габарити, крихкість, висока ціна і необхідність стабільного живлення високою напругою, що обмежує застосування.

Оптичне волокно використовується як світловод у трьох основних сферах:

- передача оптичних сигналів для захисту від електромагнітних завад і забезпечення електричної ізоляції між пристроями;
- оптичне спостереження та вимірювання у важкодоступних або шкідливих для людини середовищах (вибухонебезпечних, корозійних);
- генерування оптичних сигналів через модуляцію світла, що змінює властивості волокна, використовуючи його як датчик для фіксації змін фізичних величин.

## 2.3 Вимоги до проєктованих засобів автоматичного регулювання

Розглянемо вимоги до системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату, що розробляється в цій бакалаврській роботі:

- забезпечення заземлення обладнання;
- експлуатація в добре провітрюваному приміщенні;
- не допускати перевищення максимального робочого тиску – 120 атм;
- для з'єднання насоса з фарборозпилювачем використовувати лише повітряні шланги зі статичним провідником;
- якщо фарбувальний агрегат не працює понад 15 хвилин, продуктове і повітряне сопла слід занурити в ємкість із розчинником.

## 2.4. Аналіз засобів виявлення руху об'єктів у просторі

Проведено короткий аналіз засобів виявлення руху об'єктів у просторі. Потенціометричний датчик має внутрішнє тертя, що знижує точність, викликає шум і знос, погіршуючи лінійність та надійність, а також обмежує кількість вимірів. Крім того, на нього впливає вологість і пил, що робить його непридатним для розроблюваної системи.

Варіант потенціометра без механічного контакту вимагає світловідбивача на об'єкті, що при подальшому фарбуванні стає недоцільним, тому цей тип датчика також не підходить.

Індуктивні датчики чутливі до зовнішніх електромагнітних полів і самі можуть їх створювати, тому їх потрібно захищати магнітним екраном. Через обмежений діапазон вимірювань диференціальних індуктивних датчиків їх не можна застосувати в цій системі.

Мікросин і індуктивний потенціометр вимірюють лише кутові переміщення, що робить їх непридатними для розроблюваної системи.

Сельсини застосовуються у приводах, які забезпечують фіксовані кутові повороти; принцип їхньої дії полягає у визначенні напруги, амплітуда якої

залежить від кута відхилення осі привода, що пов'язана з ротором передавача, відносно деякого початкового положення, яке визначається ротором приймача. Така особливість роботи унеможливорює використання сельсину як датчика в розроблюваній системі.

Застосування індуктосину в розроблюваній системі також є недоцільним, оскільки цей тип датчика має високу вартість, а заявлені ним точнісні характеристики не є критичними для задач системи. Крім того, для його використання необхідно розміщувати один з конструктивних елементів датчика безпосередньо на рухомому об'єкті.

Щодо ємнісного датчика, то його необхідно ретельно захищати від впливу зовнішніх чинників, які можуть погіршити електричну ізоляцію між обкладками, зокрема від пилу, вологості, корозійного середовища та іонізуючого випромінювання. Крім цього, використання ємнісних датчиків у розроблюваній системі є неможливим через їх обмежений діапазон вимірювань.

Також недоцільним є застосування в розроблюваній системі датчиків, які працюють на основі поширення пружних хвиль, оскільки такі пристрої мають складну конструкцію, відносно високу вартість, а точність, яку вони забезпечують, у межах даної системи не є критично необхідною.

Основними недоліками датчиків близькості, які не дозволяють застосовувати їх у розроблюваній системі, є наступне:

- а) зазвичай дуже малий діапазон вимірювань, що становить приблизно 1 мм;
- б) нелінійна залежність вихідного сигналу від відстані до об'єкта;
- в) залежність показань деяких типів таких датчиків від геометричної форми, розмірів, матеріалу об'єкта та характеристик навколишнього середовища, що потребує обов'язкового калібрування при кожному конкретному варіанті застосування.

Щодо фоторезисторів, то основними їх недоліками є:

- нелінійність енергетичної характеристики, тобто залежності електричного струму від потоку світла;
- відносно великий час реакції на зміну освітлення та обмежена пропускна здатність за частотою сигналу;

- нестабільність параметрів у процесі експлуатації, пов'язана зі старінням матеріалу;
- значна залежність характеристик від температури, що характерно для більшості оптичних сенсорів;
- для окремих типів фоторезисторів необхідне охолодження для забезпечення належної роботи.

Незважаючи на зазначені недоліки, фоторезистори мають певні переваги, які дозволяють реалізовувати на їх основі прості електричні схеми, зокрема – здійснювати керування за допомогою реле без потреби в додатковому підсиленні сигналу. Фоторезистори знаходять практичне застосування у випадках, коли від вимірювальної системи не вимагається висока точність, а достатньо лише визначити рівень освітленості або зафіксувати наявність/відсутність світлового імпульсу (наприклад, для розпізнавання станів “світло” або “темрява”).

Фототранзистор може функціонувати як у комутаційному, так і в лінійному режимі. У режимі комутації його перевагою над фотодіодом є можливість безпосереднього керування відносно великими електричними струмами. У лінійному режимі, хоча фототранзистор і має перевагу завдяки внутрішньому підсиленню сигналу, фотодіод демонструє кращу лінійність вихідної характеристики та менший рівень спотворень.

Через великі розміри, крихкість конструкції, високу вартість та потребу у стабільному живленні з високою напругою, можливість використання фотоелектронних помножувачів є обмеженою. З огляду на це, включення таких приладів до складу розроблюваної системи є недоцільним.

Беручи до уваги наведені вище напрями використання оптичного волокна, можна зробити висновок, що його застосування в межах розроблюваної системи не є виправданим.

Отже, при проектуванні системи важливо досягти збалансованого поєднання між якісною роботою та простотою її технічної реалізації. На підставі проведеного аналізу можна зробити висновок, що такого компромісу найкраще вдається досягти шляхом використання оптичних датчиків.

## 2.5 Принцип побудови системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату

Серед розглянутих типів сенсорів для визначення руху об'єктів у просторі, з урахуванням необхідності досягнення оптимального балансу між високою ефективністю роботи системи та простотою її технічного втілення, у рамках даної бакалаврської роботи доцільним є використання оптичного датчика як основного елемента контролю положення об'єкта. Такий вибір зумовлений поєднанням надійності, чутливості та зручності впровадження в промислові умови.

Зокрема, при попаданні об'єкта (наприклад, деталі або складальної одиниці, яка транспортується стрічкою конвеєра) в зону чутливості датчика, генерується сигнал, який слугує тригером для запуску компресора. Компресор, у свою чергу, забезпечує подачу фарби на фарборозпилювач маніпулятора, що дозволяє автоматизувати процес нанесення покриття на об'єкти.

Для реалізації такого функціоналу доцільно застосувати оптичний дифузійний датчик типу D (датчик прямої дії). Цей тип сенсорів має випромінювач та приймач, розміщені в одному корпусі. Принцип роботи полягає в тому, що світловий промінь, який випромінюється датчиком, дифузно відбивається від поверхні контрольованого об'єкта і частково повертається назад до приймача. Сила отриманого сигналу залежить від властивостей поверхні об'єкта, зокрема її здатності відбивати світло. У випадку металевих об'єктів, що мають хороші відбивальні властивості, робоча дистанція таких датчиків зазвичай становить 2–3 метри, що цілком задовольняє вимоги до функціонування системи позиціонування.

Однією з характерних особливостей процесу фарбування, зокрема на підприємстві АТ «Ельворті», є постійна зміна номенклатури виробів, що підлягають обробці. Ці деталі суттєво відрізняються між собою за геометричними параметрами — розмірами, формою, конфігурацією. Протягом однієї робочої зміни до фарбування можуть надходити як великогабаритні рамні конструкції різної ширини та висоти, так і плоскі металеві листи, профілі або окремі дрібні

деталі, підвішені на конвеєрну стрічку. Така різноманітність значно ускладнює реалізацію системи з фіксованим єдиним датчиком, який би ефективно реагував на всі можливі варіанти об'єктів.

Крім того, специфікою виробничого процесу є відсутність чітко визначеної послідовності проходження деталей через фарбувальну зону. Це унеможлиблює заздалегідь запрограмовану схему вмикання та вимикання фарбувального обладнання за фіксованим алгоритмом. Відтак виникає необхідність у застосуванні адаптивного сенсорного рішення, здатного надійно виявляти наявність об'єкта у зоні фарбування незалежно від його форми, розміру чи порядку подачі.

Отже, з урахуванням особливостей виробничого процесу та вимог до точності і надійності роботи, необхідно розробити систему позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату, яка забезпечуватиме фіксацію моменту надходження деталі за допомогою оптичних датчиків. При цьому особливу увагу слід приділити забезпеченню стабільного та однозначного спрацювання сенсорів незалежно від типу та геометричних характеристик об'єкта. Реалізація такої адаптивної і ефективної системи є основним завданням, що ставиться у межах виконання даної бакалаврської роботи.

### 3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРА

#### 3.1 Розробка структури системи позиціонування маніпулятора

Система позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату є невід'ємною частиною загальної системи керування роботизованого технологічного комплексу фарбування. Її основна функція полягає в автоматичному запуску електродвигуна компресора фарбувального агрегату у момент, коли деталь, закріплена на конвеєрній стрічці, входить до фарбувальної kabіни. У складі системи має бути датчик, здатний чітко розпізнавати наявність деталі. При цьому сигнал від датчика необхідно підсилити до рівня, придатного для обробки мікроконтролером. У розроблюваній системі саме мікроконтролер виконує функції зчитування сигналу від датчика, фіксації моменту його появи та формування керуючої дії на пускач електродвигуна компресора.

Відомо, що швидкість переміщення конвеєрної стрічки становить 1,5 м/хв, а для заповнення магістралей фарбувального агрегату лакофарбовим матеріалом потрібно 30 секунд. Враховуючи ці параметри, чутливий елемент слід розміщувати на певній відстані від входу у фарбувальну kabіну — з урахуванням часу, необхідного для підготовки до фарбування. Теоретично датчик руху можна було б встановити безпосередньо на вході до kabіни, проте в такому випадку довелося б забезпечити прискорений запуск компресора. Це вимагало б ускладнення електричної схеми пускача та призводило б до роботи електродвигуна в режимах, близьких до критичних, що, в свою чергу, знижувало б надійність і довговічність обладнання.

У даному випадку існує конструктивна можливість розташувати датчик руху на визначеній відстані перед входом до фарбувальної kabіни. Таке розміщення дозволяє синхронізувати ввімкнення компресора фарбувального агрегату з наближенням деталі, закріпленої на конвеєрній стрічці, без потреби у

форсуванні режиму запуску електродвигуна. Це, у свою чергу, забезпечує більш м'який режим роботи обладнання та сприяє підвищенню надійності системи загалом.

Крім того, важливо забезпечити безперервне сканування зони перед фарбувальною кабіною навіть у присутності деталі на конвеєрній стрічці. Це необхідно не лише для фіксації моменту появи об'єкта, але й для визначення часу його виходу з поля зору датчика. Завдяки цьому, з урахуванням сталої швидкості руху стрічки, можна точно визначити момент вимкнення електродвигуна компресора та припинення подачі лакофарбового матеріалу на фарборозпилювач.

Мікроконтролеру, крім функції фіксації моменту виходу деталі з поля зору датчика, також необхідно доручити запуск таймера. Цей таймер має відраховувати інтервал у 13 хвилин, по завершенні якого контролер формує звуковий сигнал для оповіщення оператора. Це повідомлення слугує нагадуванням про необхідність виконання дій, передбачених технологічною інструкцією, з метою запобігання висиханню лакофарбового матеріалу у соплі фарборозпилювача. Згідно з технологічними вимогами, такі заходи слід обов'язково вживати, якщо фарбувальний агрегат перебуває у стані простою понад 15 хвилин. Вибір саме 13-хвилинного інтервалу пояснюється тим, що оператору необхідно орієнтовно 2 хвилини на реалізацію відповідних процедур для недопущення засихання фарби у вихідному соплі розпилювача.

Варто зазначити, що після кожного запуску таймера система продовжує безперервно відслідковувати простір під конвеєрною стрічкою у зоні перед входом до фарбувальної кабіни. Це необхідно для того, щоб своєчасно зафіксувати появу нової деталі. У разі, якщо деталь знову з'являється на стрічці до завершення 13-хвилинного інтервалу, мікроконтролер автоматично скидає (обнуляє) таймер і розпочинає новий відлік від моменту наступного зникнення об'єкта з поля зору датчика. Таким чином, забезпечується безперервний контроль роботи системи та запобігання передчасному поданню звукового сигналу оператору, якщо подача фарби знову стала актуальною через надходження нової деталі.

### 3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи позиціонування маніпулятора

На основі наведеного вище аналізу можна сформувати функціональну схему розроблюваної системи керування. Згідно з кресленням, до складу цієї схеми входять наступні основні компоненти:

- **Датчик наявності деталі** на конвеєрній стрічці, який виконує роль первинного чутливого елемента, що фіксує появу об'єкта перед фарбувальною кабіною;
- **Погоджувальний блок**, зокрема масштабуючий підсилювач, який виконує функцію перетворення та нормалізації сигналу з датчика до рівня, придатного для обробки мікроконтролером;
- **Мікроконтролер**, що здійснює обробку вхідного сигналу та формує два незалежні керуючі сигнали, орієнтовані на управління двома фарбувальними постами (майданчиками);
- **Силкові ланцюги**, призначені для підсилення вихідних керуючих сигналів мікроконтролера до рівня, необхідного для активації пускачів компресорів;
- **Регульовані об'єкти керування** – електродвигуни компресорів, встановлених на відповідних фарбувальних майданчиках, що приводяться в дію згідно з отриманими сигналами керування.

Така структура системи забезпечує надійне та автоматизоване управління процесом подачі лакофарбового матеріалу відповідно до наявності деталей на конвеєрі. Схема функціональна системи позиціонування маніпулятора наведена на слайді 03.01.

### 3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи позиціонування маніпулятора

Розвиток і швидке вдосконалення мікропроцесорної техніки зумовили її широке впровадження в різні сфери народного господарства. Завдяки функціональній гнучкості, високій надійності, компактним розмірам і невисокій вартості мікропроцесорні засоби є доцільними для використання в автоматизованих системах керування.

Сучасна цифрова елементна база дозволяє створювати цифрові регулятори з програмною реалізацією алгоритмів у режимі реального часу на основі мікропроцесорів. Зокрема, однокристальні мікроконтролери являють собою пристрої у вигляді ВІС, які поєднують мікропроцесор, пам'ять програм і даних, а також програмовані інтерфейси для взаємодії з зовнішніми пристроями. Застосування мікроконтролерів у системах керування дає змогу досягати високої ефективності при мінімальних витратах, компактних розмірах, малій масі та енергоспоживанні, зберігаючи при цьому достатню обчислювальну продуктивність.

Організація структури, система команд та апаратно-програмні засоби введення/виведення інформації мікроконтролерів оптимально адаптовані для розв'язання задач керування і регулювання в приладах, пристроях та автоматизованих системах. При розробці мікропроцесорних систем автоматичного керування на практиці необхідно враховувати низку чинників, зокрема: забезпечення заданих показників якості керування, доцільний розподіл функцій між апаратною та програмною частинами системи, а також узгодження цифрових і аналогових елементів САК.

На такі показники якості керування, як динамічні властивості, точність, достовірність виконання керуючих функцій тощо, суттєво впливають особливості цифрової реалізації алгоритмів керування у мікроконтролері. Відомо, що цифрове подання інформації супроводжується дискретизацією процесів у часі та квантуванням за рівнем. Дискретизація у часі, яка виконується відповідно до певного критерію якості функціонування САК, висуває вимоги до швидкодії мікроконтролера, тоді як квантування за рівнем зумовлює появу квантувального шуму.

Розв'язання задачі розподілу функцій системи автоматичного керування між апаратними та програмними засобами вимагає врахування багатьох факторів. Найважливішими серед них, крім забезпечення необхідної обчислювальної потужності мікроконтролера, є структура системи, спосіб подання вхідної та вихідної інформації, а також особливості цифрових алгоритмів обробки цієї інформації.

Для інтеграції аналогової частини системи автоматичного керування з мікроконтролером застосовуються аналого-цифрові та цифро-аналогові

перетворювачі, до яких висуваються високі вимоги щодо швидкодії, точності та лінійності перетворення [24]. Існує необхідність у схемотехнічному та програмному узгодженні перетворювачів з різною розрядністю, ніж у мікроконтролера. Проте останнім часом набули широкого поширення мікроконтролери з вбудованими аналого-цифровими перетворювачами високої розрядності, що дозволяє уникнути використання додаткових мікросхем і суттєво спрощує проєктування електричних схем.

Враховуючи наведені вище вимоги, для створення мікропроцесорної системи автоматичного керування (САК) оптимальним вибором є однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433. У порівнянні з цифровими регуляторами, реалізованими на апаратному рівні, програмні регулятори працюють повільніше, але є більш універсальними, легко переналаштовуються і мають кращі масогабаритні характеристики. Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування, у порівнянні з системами на інших елементних базах, значно вища.

Цифроаналоговий перетворювач (ЦАП) виконує однозначне перетворення цифрових кодів у відповідний аналоговий сигнал. Аналого-цифровий перетворювач (АЦП) навпаки, забезпечує пошук цифрового коду, який точно відповідає вхідному аналоговому сигналу. Основною вимогою до АЦП і ЦАП є їх сумісність із мікропроцесором, що включає узгодження логічних рівнів цифрових сигналів з шиною даних мікропроцесора, відповідність типів цифрових кодів та формату даних, а також програмну сумісність. Обраний мікроконтролер типу AT90S4433 вже оснащений вбудованими ЦАП та АЦП.

У схемі позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату можна виділити дві ключові складові: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну) частини. Використання одного мікропроцесора для реалізації слабкострумової частини підвищує надійність і універсальність системи автоматичного керування (САК), а також спрощує впровадження необхідних законів регулювання керуючих дій. Оскільки інформація про процес регулювання

закодована у цифровому сигналі і не залежить від його енергетичного рівня, вона менше схильна до впливу перешкод та спотворень.

Слабкострумова частина мікропроцесорної САК (наведена на слайді 04.01) відповідає за програмну реалізацію цифрового регулятора та генерацію спеціальних кодових послідовностей для керування силовою частиною, яка забезпечує формування сигналу для управління двигуном компресора фарбувального агрегату.

Принципова схема системи включає мікроконтролер AT90S4433, який відповідає за реалізацію алгоритму керування, датчик наявності деталі на конвеєрній стрічці, вхідний масштабуючий пристрій для приведення вхідних сигналів до уніфікованого рівня, сумісного з мікроконтролером, силову частину та рідкокристалічний індикатор.

Елемент DD1 (мікросхема AT90S4433) виконує роль мікроконтролера з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого задається зовнішнім кварцовим резонатором на 12 МГц. Вхідний масштабуючий підсилювач, що перетворює вхідні сигнали датчика до рівня, прийнятного для мікропроцесорної системи, реалізований на елементі DA1 (мікросхема K140УД17). Цей операційний підсилювач забезпечує підсилення сигналів без викривлень, має високу здатність придушувати синфазні сигнали, низьку напругу зміщення нуля, мінімальний дрейф, низький рівень шумів та великий вхідний опір. Зміна масштабу здійснюється регулюванням коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [6-8].

Керуючий сигнал з порта PB0 мікроконтролера через силову розв'язку на транзисторах VT1 та VT3 подається на пускач електродвигуна компресора першої фарбувальної ділянки. Після певного часу сигнал з порта PB1 через силову розв'язку на транзисторах VT2 і VT4 подається на пускач електродвигуна компресора другої фарбувальної ділянки. Схему керування електродвигуном компресора можна побачити на слайді 05.01, а схему підключень – на слайді 05.02.

На цьому кресленні також представлено принципову електричну схему блоку живлення розроблюваної системи.

Загальний алгоритм роботи системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату наведено на слайді 03.02.

## 4 РОЗРАХУНКИ ТА МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

### 4.1. Розрахунок трансформатора блока живлення

Враховуючи необхідну напругу на вторинній обмотці ( $U_2 = 20$  В) та максимальний струм навантаження ( $I_n$ ), розрахунок трансформатора виконують у наступному порядку [11].

1. Визначаємо величину струму, який проходить через вторинну обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1,5 I_n, \quad (4.1)$$

де  $I_2$  – струм, що тече через II обмотку трансформатора, А;

$I_n$  - струм навантаження максимальний, А. У цьому випадку  $I_n$  — це сумарний струм, який споживають усі елементи схеми. Для розроблюваної системи, підсумувавши струми всіх компонентів і додавши запас, отримуємо значення  $I_n = 150$  мА. Таким чином,

$$I_2 = 1,5 \cdot 150 = 225 \text{ (мА)}.$$

2. Обчислюємо потужність, яку випрямляч споживає від вторинної обмотки трансформатора:

$$P_2 = U_2 I_2, \quad (4.2)$$

де  $P_2$  - максимальна потужність, що споживається від вторинної обмотки, Вт;

$I_2$  - максимальний струм через вторинну обмотку трансформатора, А;

$U_2$  - напруга на вторинній обмотці, В.

Підставляючи відповідні значення, отримаємо

$$P_2 = 20 \times 0,225 = 4,5 \text{ (Вт)}.$$

3. Визначаємо потужність трансформатора:

$$P_{тр} = 1,25 P_2, \quad (4.3)$$

де  $P_{тр}$  - потужність трансформатора, Вт;

$P_2$  - максимальна потужність, яка споживається вторинною обмоткою трансформатора, Вт.

Підставляючи отримані значення, маємо

$$P_{\text{тр}} = 1,25 \times 4,5 = 5,625 \text{ (Вт)}, \text{ прийmemo для подальших розрахунків } P_{\text{тр}} = 6 \text{ Вт.}$$

Якщо трансформатор має декілька вторинних обмоток, спершу визначають їхню загальну сумарну потужність, а потім розраховують потужність трансформатора в цілому.

4. Визначаємо значення струму, що протікає в первинній обмотці трансформатора:

$$I_1 = P_{\text{тр}} / U_1, \quad (4.4)$$

де  $I_1$  – струм, що тече через обмотку I, А;

$P_{\text{тр}}$  - визначена потужність трансформатора, Вт;

$U_1$  - напруга на первинній обмотці трансформатора (так звана сіткова напруга).

Підставляючи отримані значення, маємо

$$I_1 = 6 / 220 = 0,3 \text{ (А)}.$$

5. Визначаємо потрібну площу перетину сердечника магнітопровода:

$$S = 1,3 P_{\text{тр}}, \quad (4.5)$$

де  $S$  - перетин осердя магнітопровода,  $\text{см}^2$ ;

$P_{\text{тр}}$  - потужність трансформатора, Вт.

Підставляючи значення, маємо

$$S = 1,3 \times 6 = 7,8 \text{ (см}^2\text{)}.$$

6. Обчислюємо кількість витків первинної (мережної) обмотки:

$$w_1 = 50 U_1 / S, \quad (4.6)$$

де  $w_1$  - кількість витків обмотки;

$U_1$  – значення напруги на первинній обмотці, В;

$S$  - перетин осердя магнітопровода,  $\text{см}^2$ .

Підставляючи відповідні значення, маємо

$$w_1 = 50 \cdot 220 / 7,8 = 1410 \text{ витків.}$$

7. Обчислюємо кількість витків вторинної обмотки:

$$w_2 = 55 U_2 / S, \quad (4.7)$$

де  $w_2$  - кількість витків вторинної обмотки;

$U_2$  - значення напруги на вторинній обмотці трансформатора, В;

$S$ -перетин осердя магнітопровода,  $\text{см}^2$ .

Підставляючи відповідні значення, маємо

$$w_2 = 55\,20 / 7,8 = 141 \text{ виток.}$$

8. Обчислюємо діаметри проводів обмоток трансформатора за формулою

$$d = 0,02 I, \quad (4.8)$$

де  $d$  - діаметр дроту, мм;

$I$  – струм, що протікає через обмотку, мА.

Діаметр дроту обмотки можна визначити по табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Діаметр проводу обмотки

$I_{\text{обм}}, \text{ мА}$	$\leq 25$	25 ... 60	60 ... 100	100 ... 160	160 ... 250	250 ... 400	400... ... 700	700 ... 1000
$d, \text{ мм}$	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6

Скориставшись таблицею, отримаємо такі значення:

$$d_1 = 0,4 \text{ мм}, d_2 = 0,25 \text{ мм.}$$

Після цього можна переходити до вибору відповідного трансформаторного заліза і проводу, виготовлення каркаса та безпосереднього намотування обмоток. Оскільки Ш-подібні трансформаторні пластини мають різний розмір площі вікна, необхідно перевірити, чи підходять обрані пластини для трансформатора, тобто чи вистачить місця для розміщення проводу на каркасі. Для цього потрібно помножити раніше розраховану потужність трансформатора на коефіцієнт 50 — результатом буде необхідна площа вікна в мм<sup>2</sup>. Якщо площа вікна підібраних пластин більша або дорівнює цьому значенню, залізо можна вважати придатним для виготовлення трансформатора.

При виборі сердечника магнітопровода слід також враховувати, що співвідношення ширини сердечника до товщини набору (відношення сторін сердечника) має знаходитися в межах від 1 до 2. Для живлення часто використовують уніфіковані трансформатори типу ТВК. Промисловість випускає кілька варіантів таких трансформаторів, кожен з яких у поєднанні з мостовим випрямлячем забезпечує на навантаженні певні напруги, які залежать від

споживаного струму. Ці характеристики наведені в таблиці 4.2, що полегшує вибір трансформатора ТВК для конкретного блоку живлення.

Таблиця. 4.2 - Параметри трансформаторів ТВК

Трансформатор	Випрямлена напруга при струмові навантаження, А				
	0	0,3	0,5	0,8	1,0
ТВК-70Л2	14	11,5	10,5	9	8
ТВК-110Л1	28	26	25	24	23
ТВК-110Л2, ТВК 110ЛМ	17	15	14	13,5	12,5

Вибираємо для даного проекту трансформатор типу ТВК-110Л1

#### 4.2 Розрахунок випрямляча блока живлення

Оскільки в більшості конструкцій блоків живлення застосовується двохнапівперіодний випрямляч із діодами, з'єднаними за мостовою схемою (рис. 4.1), саме вибору його компонентів присвячено цей розділ. Розрахунок випрямляча полягає у правильному підборі випрямних діодів і конденсатора фільтра, а також у визначенні необхідної змінної напруги, що знімається з вторинної обмотки мережевого трансформатора для подальшого випрямлення. Вихідними даними для розрахунку служать: необхідна напруга на навантаженні ( $U_H$ ) та максимальний струм споживання ( $I_H$ ).

Розрахунок проводимо у такій послідовності:

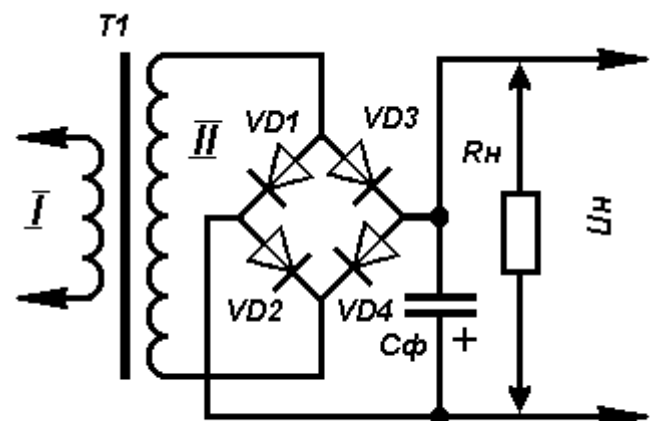


Рисунок 4.1 - двохнапівперіодний випрямляч, діоди якого включені за мостовою схемою

1. Розраховуємо змінну напругу, яку необхідно отримати на вторинній обмотці мережного трансформатора:

$$U_2 = B U_n, \quad (4.9)$$

де  $U_n$  – значення постійної напруги на навантаженні, В;

$B$  - коефіцієнт, який визначається струмом навантаження, його вибирають з табл. 4.3.

Підставимо відповідні значення, маємо

$$U_2 = 1,0 \times 20 = 20 \text{ (В)}.$$

Таблиця. 4.3 - Коефіцієнт, що визначається струмом навантаження

Коефіцієнт	Струм навантаження, А					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
В	0,8	1,0	1,9	1,4	1,5	1,7
С	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,8

2. За струмом навантаження визначаємо максимальний струм, який проходить через кожен діод випрямного моста:

$$I_d = 0,5 C I_n, \quad (4.10)$$

де  $I_d$  – струм, що тече через діод, А;

$I_n$  - струм навантаження максимальний, А;

$C$  - коефіцієнт, який визначається струмом навантаження (табл. 4.3).

Підставляючи відповідні значення, маємо

$$I_d = 0,5 \times 2,2 \times 150 = 165 \text{ (мА)}.$$

3. Обчислюємо зворотну напругу, що діятиме на кожен діод випрямляча:

$$U_{обр} = 1,5 U_n, \quad (4.11)$$

де  $U_{обр}$  – значення зворотної напруги, В;

$U_n$  - значення напруги на навантаженні, В.

Підставляючи відповідні значення, маємо

$$U_{обр} = 1,5 \times 20 = 30 \text{ (В)}.$$

4. Вибираємо діоди, у яких номінальні значення випрямленого струму та максимально допустимої зворотної напруги дорівнюють або перевищують розрахункові параметри. Це діод КД226Б у якого  $U_{обр} = 200 \text{ В}$ ;  $I_d = 1,7 \text{ А}$ .

5. Визначаємо ємність конденсатора для фільтра:

$$C_{\phi} = 3200 I_n / U_n K_{\pi}, \quad (4.12)$$

де  $C_{\phi}$  – значення ємності конденсатора фільтра, мкф;

$I_n$  – значення максимального струму навантаження, А;

$U_n$  – значення напруги на навантаженні, В;

$K_{\pi}$  – коефіцієнт пульсації випрямленої напруги визначається як відношення амплітудного значення змінної складової напруги з частотою 100 Гц на виході випрямляча до середнього значення цієї випрямленої напруги.

Для різних навантажень коефіцієнт пульсацій не повинен перевищувати встановленого нормативного значення. У випадку додаткової стабілізації вихідної напруги випрямляча транзисторним стабілізатором, розрахункову ємність конденсатора фільтра можна зменшити у 5–10 разів.

Підставляючи відповідні значення, маємо

$C_{\phi} = 3200 \cdot 0,15 / 1,137 = 422 \text{ (мкФ)}$ , зі стандартного ряду ємностей вибираємо ємність  $C_{\phi} = 500 \text{ мкФ}$ .

В якості стабілізатора доцільно вибрати мікросхеми LM 7815 та LM 7915.

### 4.3 Розрахунок надійності системи

Надійність — це властивість пристрою протягом визначеного часу зберігати всі параметри в заданих межах, що характеризують його здатність виконувати необхідні функції в певних режимах та умовах експлуатації. Безвідмовність пристрою означає його здатність безперервно зберігати працездатний стан протягом певного проміжку часу, без зупинок або перерв у роботі. Вона відображає можливість пристрою працювати до настання першої відмови.

Довготривалість — це властивість пристрою зберігати працездатність до досягнення граничного стану експлуатації.

Основними показниками надійності вважають:

а) імовірність безвідмовної роботи впродовж часу  $t$  :

$$P(t) = Nt / N_0, \quad (4.13)$$

де  $Nt$  – кількість виробів, які продовжують працювати в нормальному режимі впродовж часу  $t$ ;

$N_0$  – кількість випробовуваних виробів.

Імовірність відмови визначається як величина, обернена до ймовірності безвідмовної роботи пристрою. Іншими словами, чим нижча ймовірність безвідмовної роботи, тим вища імовірність виникнення відмов у процесі експлуатації системи:

$$\bar{P}(t) = 1 - P(t), \quad (4.14)$$

Імовірність безвідмовної роботи розраховується на десятитисячних напрацюваннях.

б) інтенсивність відмов:

$$\lambda_i = \Delta n / \Delta t N_{cp}, \quad (4.15)$$

де  $\Delta n$  – кількість елементів, які відмовили за проміжок часу  $\Delta t$  ;

$N_{cp}$  – середня кількість елементів, які справно працюють.

в) середній час безвідмовної роботи визначається за формулою:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{s=1}^n n_i \cdot t_{cpi}}{N_0}, \quad (4.16)$$

де  $n_i$  – кількість виробів, які вийшли із ладу у  $i$  – му проміжку часу;

$t_{cpi}$  – середня тривалість  $i$  – го проміжку часу,

$$t_{cpi} = \frac{t_{in} - t_{ik}}{2}, \quad (4.17)$$

де  $N_0$  – кількість випробовуваних виробів;

$k$  – кількість інтервалів спостереження.

Інтенсивність відмов характеризує частоту виникнення відмов і дозволяє визначити середній час безвідмовної роботи пристрою. Вона виражається як відношення кількості відмов до одиниці часу експлуатації в умовах нормального функціонування системи:

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda} \quad (4.18)$$

та імовірності безвідмовної роботи визначається за виразом:

$$P(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.19)$$

Показники надійності всієї системи можуть бути розраховані на основі відповідних показників надійності окремих елементів, що входять до її складу. Найпростіший розрахунок виконується за припущенням, що система не має резервування, а вихід з ладу будь-якого елемента призводить до відмови всієї системи. Така система вважається послідовною, за аналогією до послідовного з'єднання елементів в електричних схемах.

При цьому застосовують теорему множення ймовірностей;

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) \quad (4.20)$$

де  $P_i(t)$  – значення імовірності безвідмовної роботи  $i$  – го елемента;

$N$  – число комплектуючих елементів.

Тоді матимемо  $P_c(t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t}$

Система задовольняє вимогам надійності, якщо імовірність безвідмовної роботи при  $t = 1000$  – х складає 0.7 чи 70 %.

Складемо таблицю інтенсивностей відмов на основі довідкових даних для окремих елементів системи. Ця таблиця дозволить виконати подальший розрахунок показників надійності для всієї системи.

Підставляючи значення  $\sum \lambda$  з таблиці у рівняння  $P_c(t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t}$ , та задаючись різними значеннями  $t$ , з'ясуємо значення  $P_c(t)$ .

Середній час безвідмовної роботи пристрою розраховується за формулою:

$$T_{ocmin} = \frac{1}{D_{cmax}} = \frac{1}{3,363 \times 10^{-6}} = 297400 \text{ год.}$$

Таблиця 4.4 – Інтенсивності відмов радіоелементів

№ п/п	Найменування різнотипових елементів	Кількість однотипних елементів, n	Інтенсивність відмови елементів $\lambda \cdot 10^{-6}$ , 1/год	Регулююча інтенсивність відмов, $\sum \lambda \cdot 10^{-6}$ , 1/год
1	ІМС	7	0,001	0,007
2	Конденсатори	14	0,1	1,4
3	Резистори	20	0,03	0,6
4	Діоди	4	0,02	0,08
5	Транзистори	4	0,3	1,2
6	Пайка	66	0,001	0,066
7	Резонатор	1	0,001	0,01
Всього				3,363

Таблиця 4.5 – Результатів розрахунку імовірності безвідмовної роботи системи

t, год	$\sum \lambda \cdot 10^{-6}, 1/г$	$\sum \lambda t \cdot 10^{-6}, 1/г$	$e^{-\sum \lambda t}$
100	3,363	336,3	0.999
1000	3,363	3363	0.997
2000	3,363	6726	0.993
3000	3,363	10089	0.99
4000	3,363	13452	0.987
5000	3,363	16851	0.983
6000	3,363	20178	0.98
7000	3,363	23541	0.977
8000	3,363	26904	0.974
9000	3,363	30267	0.97
10000	3,363	33630	0.967

Знаходимо імовірність відмов і записуємо результати розрахунків в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Результати розрахунку імовірності відмов пристрою

t, год	100	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000
P(t)	0.999	0.997	0.993	0.99	0.987	0.983	0.98	0.977	0.974	0.97	0.967
$\bar{P}(t)$	0.001	0.003	0.007	0.01	0.013	0.017	0.02	0.023	0.026	0.03	0.033

З отриманих даних видно, що зі зростанням тривалості роботи пристрою ймовірність його безвідмовної роботи зменшується, а ймовірність відмови, відповідно, зростає.

Згідно з проведеними розрахунками, при напрацюванні 10000 годин ймовірність відмови становить 96,7 %.

Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи від часу експлуатації розробленої системи наведено на рис. 4.2.

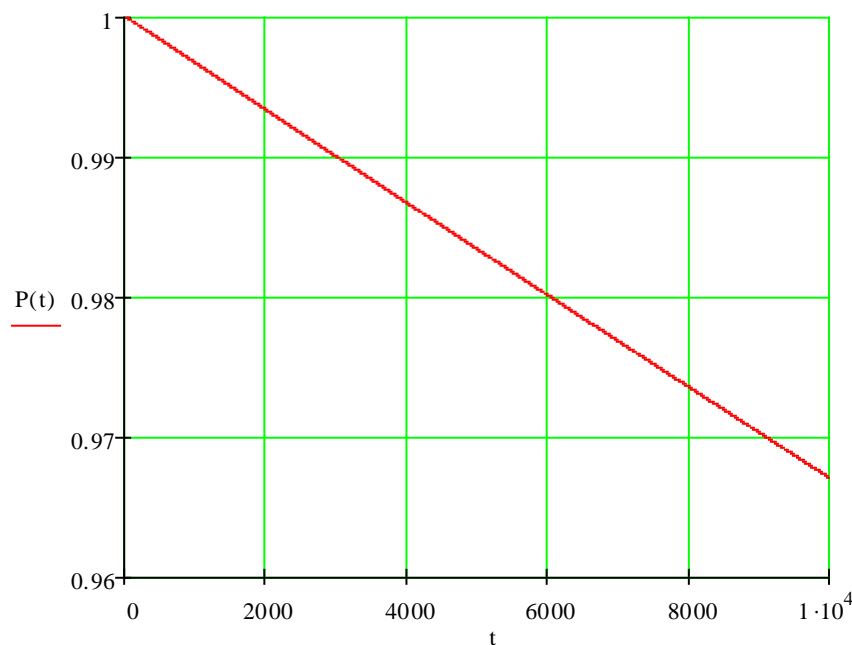


Рисунок 4.2 - Ймовірність безвідмовної роботи розроблюваної системи

#### 4.4 Визначення точки встановлення фотобар'єра

Раніше було обґрунтовано доцільність встановлення фотобар'єра на визначеній відстані від фарбувальної kabіни. Щоб точно встановити його розташування, необхідно врахувати швидкість переміщення конвеєра, розміри деталей, що підлягають фарбуванню, час, який проходить від подачі керуючого сигналу на пускач електродвигуна компресора фарбувального агрегату до появи факела лакофарбового матеріалу з форсунки розпилювача, а також наявність конструктивної можливості розмістити фоточутливі елементи на певній відстані перед kabіною по ходу руху конвеєрної стрічки.

Згідно з технічною документацією на процес фарбування, у фарбувальному цеху АТ «Ельворті», де розміщена фарбувальна кабіна, швидкість руху конвеєрної стрічки становить 1,5 м/хв., а час заповнення магістралі, що подає лакофарбовий матеріал до пульверизатора, – 30 секунд.

Ці дані дозволяють розрахувати відстань між площиною встановлення фотобар'єра та кронштейном фарбувального агрегату, на якому закріплено пульверизатор. Вона дорівнює 750 мм. Для забезпечення стабільного формування факела лакофарбового матеріалу та завершення перехідних процесів у повітряній і фарбоподаючій магістралях доцільно дещо збільшити цей час. Хоча це може спричинити незначні втрати лакофарбових матеріалів, водночас буде забезпечене якісне нанесення покриття.

З урахуванням цього приймаємо час заповнення магістралі 35 секунд, що відповідає відстані 875 мм між фотобар'єром і пульверизатором. Додатковою перевагою збільшення цієї відстані є можливість програмно регулювати момент увімкнення електродвигуна компресора фарбувального агрегату.

Прохідний отвір фарбувальної кабіни має ширину 1300 мм. У більшості випадків ширина деталей, що переміщуються по конвеєру, є меншою за цей показник. Відповідно, ширину фотобар'єра доцільно також прийняти рівною 1300 мм. Хоча максимальна допустима висота підвісних деталей складає 3500 мм, найчастіше обробці піддаються вироби висотою в межах 1000–1200 мм.

Виходячи з цього, можна стверджувати, що конструктивно є можливість розмістити фотобар'єр на відстані 875 мм перед входом до фарбувальної кабіни. Доцільно застосувати випромінювач RPJ1-56-20-2,2-C (загальний вигляд приведено на слайді 02.01) разом із приймачем EPJ1-56-20-2,2-C (загальний вигляд приведено на слайді 02.02). Даний фотобар'єр забезпечує контроль зони висотою 1120 мм, має 56 променів, здатний виявляти об'єкти мінімальним розміром 25 мм і може працювати в температурному діапазоні від 0 до +60 °С.

## 5 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ, ПОВ'ЯЗАНИХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРА

### 5.1 Монтаж системи позиціонування маніпулятора

На слайді 07.00 показано, як розміщені вузли в шафі КК 42.02. Монтаж мікропроцесорного блоку та інших елементів виконано з урахуванням зручності доступу під час налагодження та ремонту системи. Також передбачено резерв місця для можливого встановлення додаткових модулів у разі розширення функціональних можливостей системи — зокрема, блоків для вимірювання температури навколишнього середовища, контролю витрати лакофарбового матеріалу тощо.

За нормальних умов експлуатації прилади в шафі можуть працювати безперервно протягом тривалого часу. Однак оскільки шафа розташована безпосередньо біля фарбувального агрегату, щоб уникнути впливу вібрацій, які можуть призвести до порушення електричних контактів або зміни налаштувань елементів і вузлів системи, її слід монтувати на амортизаторах. Висока вологість, пил і бруд знижують опір ізоляції, що порушує нормальну роботу приладів. Агресивні гази в повітрі сприяють окисленню контактних поверхонь реостатів задавачів і контактів реле. Також значними перешкодами для роботи приладів є сильні магнітні поля у зонах встановлення датчиків, вторинних пристроїв та на трасах прокладки з'єднувальних ліній між датчиками і вторинними пристроями [9].

Якщо в приміщенні підвищена вологість і велика кількість пилу, слід ретельно ущільнити прокладки та закрити всі непотрібні отвори в корпусі шафи. При високій вологості всередині шафи рекомендується розмістити ємність з хімічним осушувачем, який періодично потрібно герметично обробляти для збереження його ефективності. Також необхідно приділити особливу увагу заземленню приладів, адже погане заземлення може спричинити додаткові похибки у показах вторинних приладів. Використання водопровідних чи

опалювальних систем як заземлення не рекомендується. Розрахунок захисного заземлення наведено в розділі з охорони праці [10].

Основна лінія живлення силових електропристроїв зазнає значних коливань напруги через змінні навантаження. Крім того, у цій лінії виникають перешкоди високочастотного характеру, які спричинені дуговими розрядами в силових агрегатах. Тому рекомендується подавати живлення пристроїв через спеціальні КВП-лінії. Підключення приладів до мережі часто здійснюється через розподільчі трансформатори. Один із кінців вторинної обмотки такого трансформатора повинен бути заземлений, щоб уникнути наводок промислової частоти на вихідні ланцюги електронних приладів. Це особливо важливо для приладів із високоомним входом та тих, що живляться від мережових стабілізованих джерел. Розподільчий трансформатор повинен мати запас потужності. Підключення його до мережі слід здійснювати через двополюсний рубильник і плавкі запобіжники. Використання автотрансформатора для підключення приладів не допускається, оскільки він не захищає від перешкод, а при обриві обмотки понижуючого автотрансформатора може податися повна мережна напруга на прилад [11].

Живлення шафи здійснюється проводом з прорезиненою водонепроникною ізоляцією, діаметр якого повинен бути не менше 1 мм<sup>2</sup>. Щоб уникнути механічних пошкоджень, дроти рекомендується прокладати в гнучких металевих шлангах або трубах, які обов'язково мають бути надійно заземлені. Входи проводів у шафу герметизуються спеціальними ущільнюючими втулками. Не слід подовжувати дроти, а якщо це необхідно, то місця з'єднань потрібно ретельно пропаяти. Після завершення монтажу проводів обов'язково проводять перевірку опору ізоляції щодо землі, який повинен бути не менше 10 МОм. Вимоги до проводів, що з'єднують датчики із вторинним приладом, залежать від типу датчиків і приладу. Проте загальною рекомендацією є прокладка цих проводів у сталевих захисних трубках окремо від силових ліній живлення.

## 5.2 Налагоджування системи позиціонування маніпулятора

Перевірку справності блоків слід виконувати перед монтажем, під час планового ремонту, а також при виявленні пошкоджень під час експлуатації приладу. Контролю підлягають такі параметри: основна похибка спрацювання вторинного приладу, основна похибка запису, варіація та поріг чутливості приладу, робота механізму налаштування робочого струму, сигналізація «обриву в ланцюзі приладу», рівень перешкод на вході електронного підсилювача, а також ступінь нагрівання компонентів при тривалій роботі пристрою. Перевірка повинна проводитись за таких умов: температура навколишнього середовища  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ , напруга живлення не повинна відхилятися від номінальної більш ніж на 3%, частота струму живлення  $50 \pm 0,5$  Гц, а також за відсутності сторонніх магнітних полів.

## 5.3 Експлуатація системи позиціонування маніпулятора

При правильній експлуатації автоматичні електронні прилади можуть довго та надійно працювати без перерв. Важливо забезпечити дотримання нормальних умов роботи пристрою протягом усього терміну його експлуатації. Не допускайте, щоб напруга живлення мережі виходила за допустимі межі. Якщо температура в приміщенні перевищує  $40^\circ\text{C}$ , слід покращити вентиляцію, а при зниженні температури — стежити за опаленням. Частини вузлів, що піддаються тертю, необхідно регулярно змащувати згідно з рекомендаціями виробника. Протягом експлуатації слід систематично виконувати огляди та планово-попереджувальні ремонти. Під час огляду блоки знімають із шафи і відправляють у майстерню, де їх очищають від пилу та забруднень за допомогою тканини і продувки повітрям. Після усунення несправностей та перевірки працездатності блоки повертають назад до шафи.

## ВИСНОВКИ

Метою цієї бакалаврської роботи було вдосконалення організації процесу фарбування на прикладі фарбувальної ділянки шляхом розробки системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату, що дозволяє знизити витрати лакофарбового матеріалу та покращити умови праці обслуговуючого персоналу.

У процесі виконання роботи було проаналізовано загальні характеристики АТ «Ельворті», його структуру управління та продукцію, що випускається. Встановлено, що практично кожен вид продукції містить деталі або складальні одиниці, які потребують фарбування.

Враховуючи важливість та необхідність процесу нанесення лакофарбових матеріалів у технологічному циклі виготовлення продукції, було детально охарактеризовано процес фарбування. Зокрема, визначено призначення та типи покриттів, розглянуто методи підготовки поверхонь перед обробкою, способи затвердіння покриттів, а також проведено огляд існуючих методів нанесення лакофарбових матеріалів із виявленням їх основних переваг та недоліків. Окрім того, наведено загальну характеристику фарбувального процесу на АТ «Ельворті». Було встановлено, що значна частина операцій виконується вручну оператором фарбувальної ділянки, зокрема й увімкнення маніпулятора фарбувального агрегату при появі деталі на вході до kabіни.

Для автоматизації розглянутої операції було проведено детальний огляд сучасних засобів виявлення руху та присутності об'єктів у просторі. У процесі дослідження були розглянуті різні типи датчиків, серед яких потенціометричні, індуктивні, ємнісні, цифрові сенсори, а також пристрої, що працюють на основі поширення пружних хвиль, датчики близькості і оптичні датчики. Кожен з цих варіантів було проаналізовано з точки зору їх технічних характеристик, точності, швидкодії, надійності в умовах виробничого середовища фарбувальної ділянки, а також простоти інтеграції у існуючу систему. Результати аналізу показали, що оптичні датчики є найбільш доцільними для виявлення наявності деталей на

конвеєрній стрічці, оскільки вони забезпечують високу точність і швидкість реагування, а також здатні ефективно працювати в умовах фарбувального цеху, де присутні пил, фарбувальні матеріали і змінні умови освітлення. Саме тому для автоматизації операції позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату було прийнято рішення застосувати оптичні датчики як ключові чутливі елементи системи.

На основі проведеного огляду існуючих рішень та їх детального аналізу було обґрунтовано принцип побудови системи позиціонування маніпулятора фарбувального агрегату. Головним завданням цієї системи є автоматичне вмикання електродвигуна компресора фарбувального агрегату у момент появи деталі на вході фарбувальної kabіни, коли деталь підвішена на конвеєрній стрічці. Система включає чутливий елемент, який надійно і однозначно реагує на наявність деталі. Отриманий сигнал з чутливого елемента підсилюється до рівня, сумісного з вхідними параметрами мікроконтролера. Саме мікроконтролер здійснює зчитування сигналу датчика руху, фіксує час його появи та формує керуючий імпульс для включення пускача електродвигуна компресора фарбувального агрегату. Такий підхід забезпечує точну, своєчасну та надійну роботу системи позиціонування, що сприяє підвищенню ефективності фарбувального процесу.

Розроблено структуру системи, а також спроектовано її функціональну схему та принципові електричні схеми. Для підтвердження працездатності пристрою були виконані розрахунки трансформатора і випрямляча блоку живлення мікроконтролера. Крім того, проведено оцінку надійності розробленої системи та визначено оптимальне місце встановлення фотобар'єра.

## Список літератури

1. Холмов О.С., Долганов М.А. Электрические измерения неэлектрических величин. - Киев: "Техника", 1981. – 185 с.
2. Лебедев В.П. и др. Справочник по противокоррозионным лакокрасочным покрытиям /В.П. Лебедев, Р.Э. Калдама, В.Л. Авраменко. – Харьков: Прапор, 1988. – 231 с.
3. Кондратець В.О. Автоматика та автоматизація виробництва сільськогосподарських машин. ч.1. - Київ: "Вища школа", 1993. – 320 с.
4. Баранов Л.А., Гершензон Г.С., Дмитриев В.И., Княжинский А.Е. Конденсаторные преобразователи в автоматике и системах управления. – М.: Энергия, 1969. – 72с.
5. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.: "Радиоаматор" 1998. – 704 с.
6. Бойко Н.П., Стеклов В.К. Системы автоматического управления на базе микро-ЭВМ. – К.: Техніка, 1989. – 182 с.
7. Костинюк Л.Д. Паранчук Я.С. Мікропроцесорні засоби та системи. Навчальний посібник Львів 2001. - 200с.
8. Коцій Я.Й., Іваник І.Г. Технологія будівельного виробництва Курс лекцій для студентів інженерно-будівельного профілю / Укл.: Я. Й. Коцій, к. т. н., доц.; І.Г. Іваник, к. т. н., доц.; С. І. Віхоть, м. н. с. – Львів: 2006. -94 с.
9. Бабіченко А.К. та ін. Промислові засоби автоматизації. Ч2. Регулювальні і виконавчі пристрої Харків: ХІІІ. 2001 р. - 260с.
10. Беляєв Ю.Б., Киричук С.А., Сідлецький В.М., Іванченко М.Г. Технічні засоби автоматизації Курс лекцій. – К: НУХТ, 2009. –101 с.
11. Медвідь В.Р., Пісціо В.П., Козбур І.Р. Проектування мікропроцесорних систем керування Навчальний посібник. — Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2015. — 360 с.