

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

до кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня

(освітній рівень)

на тему: Розробка автоматизованої системи контролю
технологічного процесу поверхневого монтажу радіоелементів
на друковану плату

Виконали: студенти 4 курсу, груп КА-41
 Спеціальність 151

“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

(шифр і назва спеціальності)

Борак Є.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кравчук Б.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Дмитрів О.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Дмитрів О.Р.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Савків В.Б.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

Голотенко О.С.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анотація

Об'єктом розробки в кваліфікаційній роботі є оптичний метод контролю складальних процесів. В результаті була розроблена система технічного зору для автоматизованої компоновки друкованих плат.

Дана система дозволяє уточнювати положення зон встановлення радіодеталей, здійснювати їх орієнтацію відносно системи координат автомата, виконувати контроль типу встановлюваних компонентів.

Дана розробка може знайти застосування у промисловому виробництві на операціях розпізнавання і орієнтації деталей на складальних операціях.

Проведено аналіз сучасного стану запропонованої теми. Представлено огляд і аналіз відомих технічних рішень та аналіз конструктивних і технологічних особливостей виробу і технологічний процес його виготовлення.

Здійснений вибір варіантів компоновок автоматизованої системи, представлені функціональні та електричні схеми керування виробничою системою.

Зміст

Анотація	4
Зміст	5
Вступ	8
1. Аналітична частина.....	11
1.1. Аналіз особливостей та конструкцій обладнання для автоматизації поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати	11
1.2. Обґрунтування актуальності автоматизації технологічного процесу поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати.....	20
2. Проєктна частина	23
2.1. Характеристика продукції та її призначення.....	23
2.2. Розроблення технологічного процесу поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати	28
2.3. Вибір варіантів компоновок автоматизованої виробничої системи.....	48
2.4. Вибір оптимальної компонувальної структури автоматизованої системи	52
2.5. Розроблення структури та алгоритму роботи автоматизованої системи	53
2.6. Обґрунтування вибору структури технологічного процесу виготовлення продукції.....	55
2.7. Аналіз та вибір серійного обладнання для автоматизованої системи.....	57

2.8. Обґрунтування необхідності проектування нестандартного обладнання, що входить в автоматизовану виробничу систему	61
2.9. Вибір принципів схем та розрахунок елементів нестандартного обладнання	62
2.10. Розрахунок приводу стрічкового конвеєра	75
2.11. Розроблення функціональної та електричної принципової схеми системи керування	76
2.12. Розроблення принципів електричних схем для спряження системи керування з технологічним обладнанням	78
3. Спеціальна частина	83
3.1. Розроблення математичної моделі розпізнавання зображення в автоматизованій системі технічного зору	83
3.2. Обґрунтування структури автоматизованої системи технічного зору	90
4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	96
4.1. Вплив шуму на організми і розробка заходів по його зниженню до допустимих величин для верстату чи обладнання, що проектується	96
4.2. Заходи по зниженню запиленості виробничих приміщень до гранично допустимих концентрацій	99
4.3. Вимоги до виробничого освітлення і його нормування	101
4.4. Перша допомога людині, яка уражена електричним струмом	104
4.5. Розрахунок рівня шуму на ділянці та захисного заземлення для цеху, що проектується	106

Висновки	109
Перелік посилань	110

Вступ

В галузі радіоелектроніки, при виготовленні друкованих плат, значний обсяг робіт (більше 50%) припадає на складальні операції. Причина таких великих затрат праці донедавна полягала в неповній автоматизації монтажних робіт, а саме в поопераційному складанні з автоматизованим встановленням деталей на друковану плату або з частковою автоматизацією операцій. Така організація виробництва не забезпечує достатньо високого економічного ефекту, а також необхідної якості продукції.

Підвищення комплексності структури радіоелектронних пристроїв паралельно зі збільшенням масштабів промислового виробництва сформувало умови для впровадження наскрізної автоматизації на кожному етапі створення виробів, включаючи складальні роботи, паяння та перевірочні процедури. Подібний стандартний технологічний цикл вважається найбільш передовим і демонструє максимальну техніко-економічну доцільність. При цьому попереднє оброблення та підготовка компонентів до подальшого встановлення здійснюється в межах окремого спеціалізованого виробничого підрозділу.

Виробничий цикл створення радіоелектронних модулів пов'язаний із виконанням значного обсягу перевірочних дій, серед яких виокремлюють попередній аудит якості сировини та дискретних елементів на стадії приймання, моніторинг параметрів на кожній технологічній операції, а також фінальне тестування готових пристроїв перед відвантаженням. Сама процедура оцінки

параметрів вирізняється високою складністю та суттєвими трудовими витратами, через що питанню автоматизації перевірочних процесів відводиться ключова роль.

У структурі сучасного промислового виробництва все більшої популярності набувають безконтактні оптичні технології моніторингу, які вирізняються своєю гнучкістю та стабільно високою точністю. Їхня головна перевага полягає в тому, що аналіз параметрів виробів виконується дистанційно, без прямого механічного контакту, що повністю виключає ризик деформації або пошкодження структури компонентів.

Одним із поширених варіантів практичного впровадження оптичних технологій є створення відеосистем машинного (технічного) зору. На промислових лініях подібні комплекси успішно застосовуються для ідентифікації та класифікації деталей, розрахунку взаємних координат і просторового положення елементів на складальних конвеєрах, а також для дефектоскопії та оцінки стану оброблених поверхонь. З цієї причини сфера інтеграції подібних систем є практично невичерпною.

У даній кваліфікаційній роботі використовується система технічного зору при автоматизованому складанні друкованих плат. Такий процес є необхідним, оскільки сучасні багат шарові друковані плати в процесі затвердіння кисневих з'єднань між шарами допускають зміну розмірів . тому встановлення компонентів по жорсткій програмі немає успіху. Функції технічного зору в даному випадку досить різноманітні.

Поряд із моніторингом правильності проведення монтажних процедур, такий підхід забезпечує можливість у разі потреби

коригувати просторові координати чергового компонента та його просторову орієнтацію відносно базової системи координат складального робота.

Завдяки цьому з'являється потенціал для зменшення фінансових та часових витрат на розробку і виробництво завантажувальних пристроїв, які транспортують деталі в робочий простір монтажу, що має вагоме значення в умовах випуску широкого асортименту різноманітної продукції.

Комплекси машинного зору дають змогу оперативно визначати реальне розміщення посадкових місць для монтажу радіоелектронних елементів. Додатково стає можливим автоматизоване тестування відповідності типу монтованого компонента за допомогою фіксації та розпізнавання нанесеного на нього цифрового коду, що є критично важливим під час формування друкованих вузлів із високою щільністю інтегральних мікросхем різних номіналів, виконаних в ідентичних габаритах.

1. Аналітична частина

1.1. Аналіз особливостей та конструкцій обладнання для автоматизації поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати

У сучасній конструкції радіоелектронної апаратури широко використовуються друковані плати. Одним із основних методів їх компонування є друкований монтаж, який полягає у визначенні просторової орієнтації, закріпленні радіодеталей відносно площини плати і упорядкованому площинному розміщенні всіх з'єднувальних провідників і місць пайок з ціллю одночасної паяння всіх радіодеталей, встановлених на платі.

Роль провідників у даному випадку виконують ділянки тонкої мідної фольги, яка нанесена на ізоляційну основу плати. В даному випадку об'єктом виробництва є конструкція радіоелектронної апаратури. Їй характерна складна композиція великого числа з'єднаних між собою електронних елементів, таких як інтегральні мікросхеми різної степені інтеграції, мікропроцесори.

Друкована плата виконує функції несучої конструкції і електричного з'єднання елементів. Коли домінуючу роль відіграють малі габарити і допустиме деяке збільшення трудомісткості в собівартості електричного монтажу, використовують багат шарові друковані плати.

Отже друкований монтаж дозволяє успішно вирішити задачу автоматизації виготовлення перехідних отворів, а також здійснити групові методи паяння виводів і встановлених на платах радіоелементів [1–15].

На радіотехнічних підприємствах в залежності від оснащеності виробництва використовують різні типові технологічні процеси складання вузлів і блоків, а саме:

а) поопераційне складання з ручним встановленням деталей на друковану плату та індивідуальною пайкою;

б) поопераційне складання з частковою автоматизацією операцій заготовки радіодеталей;

в) комплексну механізовану підготовку і встановлення виводів деталей на друковану плату і групову паяння;

г) повну автоматизацію всіх процесів монтажу, паяння і контролю. Цей типовий процес є найбільш прогресивним і використовується при масовому виробництві. Підготовка деталей до монтажу ведеться на спеціалізованих ділянках. Така організація виробництва забезпечує достатньо високий економічний ефект і необхідну точність конструкторських виробів.

Конструкція вузлів технологічного монтажу повинна забезпечувати:

а) надійне функціонування в умовах експлуатації, обумовлених в технічних умовах;

б) безпеку роботи при їх експлуатації;

в) зручність обслуговування при експлуатації і ремонті;

Послідовність типових технологічних процесів складання вузлів та блоків радіоапаратури приведена на рис. 1.1.

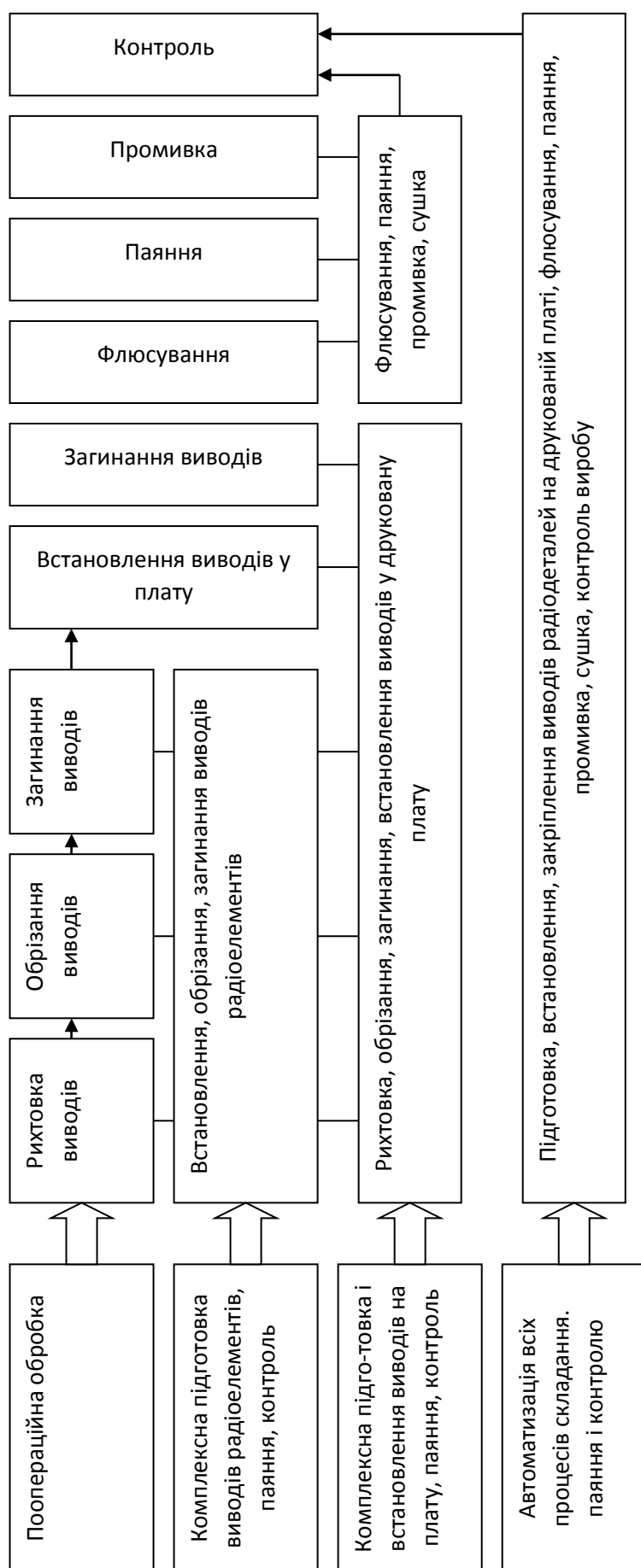


Рисунок 1.1 – Схема послідовності типових технологічних процесів складання та монтажу вузлів і блоків на друковану плату

Для індивідуального виробництва підготовку виводів здійснюють поопераційно (обрізання по довжині, загинання та лудіння виводів). При масовому виробництві на поточних лініях складання і монтажу підготовка елементів поєднується з їх встановленням на друковану плату.

Основним обладнанням механізованого і автоматизованого складання і монтажу є транспортери і агрегатні пристрої із спеціальними установочними головками. Для підвищення надійності друкованих плат у важких кліматичних умовах на основу плати наносять захисні покриття. Основна їх ціль – запобігти попаданню на плату корозійним елементам, які можуть проводити струм.

У даній кваліфікаційній роботі для організації складальних і монтажних процесів використано автоматизовану лінію на базі напівавтомата CSM 66/84/84 VIII. Він забезпечує встановлення поверхнево-монтажних компонентів електронної техніки на поверхню друкованих плат методом перенесення від накопичувача за допомогою вакуумного захвату.

Змінні вакуумні головки здатні оперативно переходити на низьку, середню або високу швидкість встановлення елементів. Так як автомат збудований по модульному принципу і має від двох до чотирьох встановлюваних головок, то він здатний працювати з широкою номенклатурою поверхнево-монтажних компонентів, що є великою перевагою.

Крім цього передбачена система для заміни і автоматичного встановлення живильників, щоб мінімізувати загальний час групової роботи.

В автоматизованому режимі (по заданій програмі) виконуються наступні операції:

- нанесення припайної пасти;
- вибір елементів з касети конкретного типорозміру;
- орієнтація елементів по осях координат;
- переміщення компонентів на місце монтажу;
- встановлення елементів на друковану плату із заданою степінню точності.

Наступним етапом у процесі компонування друкованої плати є кріплення радіоелементів на платі. Його можна здійснити різними методами, а саме:

- методом зварки;
- методом приклеювання;
- методом паяння.

Найбільше поширення отримали термокомпресійна та ультразвукова мікрозварка і мікро паяння [16–19]. Термокомпресійна мікрозварка полягає в одночасному впливі на зварні деталі тиском і підвищеною температурою. З'єднувані метали розігріваються до певної температури (початок рекристалізації), при якій починається поява помітного зчеплення (дифузії), очищення від окисів поверхонь металів при прикладанні навіть невеликого навантаження.

Цими способами можна приєднувати електричні виводи товщиною не більше декількох десятків мікрон до контактних площадок кристалів. З'єднання проводять таким чином, що мікро провід з алюмінію чи золота прикладають до кристалу напівпровідника і притискають нагрітими стержнями інструменту.

Ультразвукова мікрозварка дозволяє одержати надійне з'єднання металів з оксидними поверхнями кристалів при мінімальному тепловому впливі на структуру чутливих до нагріву елементів мікросхеми.

Цей вид зварки використовують для з'єднання металів, які відрізняються електро- і теплопровідністю, а також для зварки металів з керамікою і склом. При зварці ультразвуком нероз'ємне з'єднання металів утворюється при сумісному впливі на деталі механічних коливань, відносно невеликих стискуючих зусиль і теплового ефекту, який супроводжує процес зварки. В результаті в зварній зоні спостерігається невелика пластична деформація, яка забезпечує надійне з'єднання деталей.

Мікропаяння характеризується простотою з'єднання деталей складної конфігурації, що важко здійснити при мікрозварці. В даний час розроблені високотехнологічні способи паяння. Одним із таких способів є паяння в атмосфері гарячого інертного газу чи водню, при проведенні якої попередньо залуджена ділянка обдувається з мініатюрних сопел гарячим струменем газу. Вказана установка має високу продуктивність.

Процес паяння спрощується, коли використовують дозований припій у вигляді таблеток чи пасти. Його попередньо наносять на місця з'єднань. При цьому способі можна точно контролювати кількість тепла в місцях зварки, використовуючи засоби автоматичного регулювання струму і часу його проходження.

Автоматизація процесів паяння поряд з підвищенням продуктивності праці, забезпечує підвищення якості з'єднань.

Другим способом паяння є занурення друкованої плати у розплавлений припій. При цьому плату зі встановленими на ній радіoeлементами закріплюють у спеціальному тримачі і опускають у ванну. Цей спосіб забезпечує одночасну паяння всіх з'єднань, але потребує строгого витримування температури і часу паяння.

При масовому виробництві радіоапаратури для захисту діелектрика від перегрівання використовують захисну маску з паперу, лакотканини чи інших матеріалів. Маску з отворами для паяння наклеюють на основу плати з нижньої сторони. По закінченні паяння маску знімають (рис. 1.2).

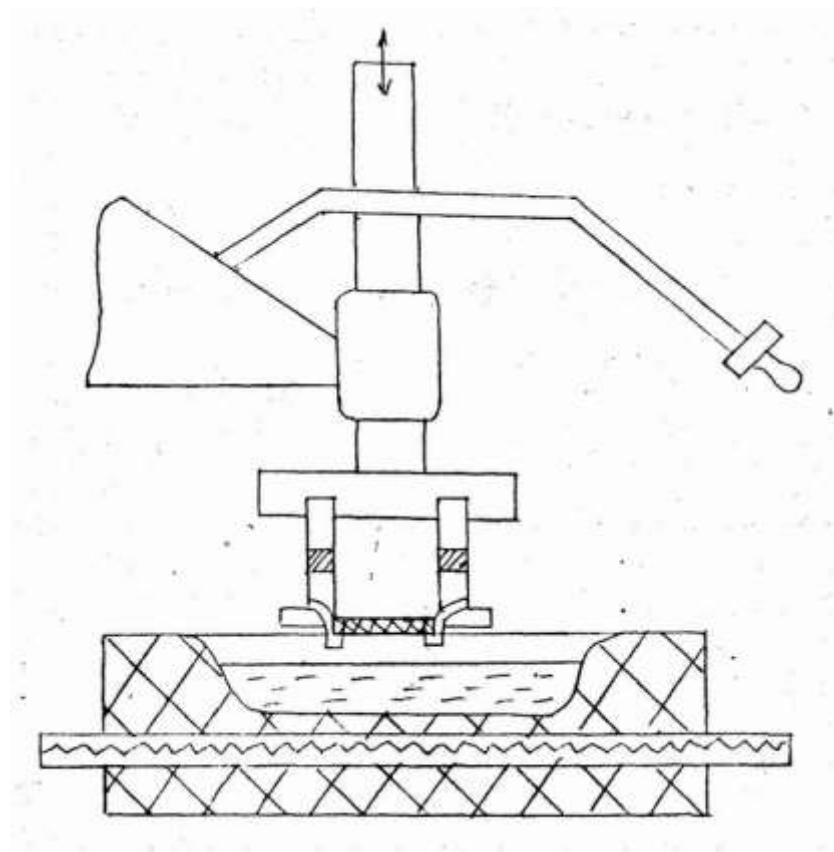


Рисунок 1.2 – Метод паяння зануренням

Виходячи з вище перерахованих переваг в даній кваліфікаційній роботі використовуємо метод автоматизованої паяння. Його будемо здійснювати за допомогою конвекційної печі з профілюванням. Вона була розроблена і виготовлена для простоти використання і мінімального часу простою при процедурах зміни і настройки.

Унікальна багатозональна технологія нагріву дозволяє об'єднати в собі великий об'єм гарячого повітряного потоку і високу стабільність температурного режиму. Внутрішній процесор керує системою незалежного нагріву і витяжки в нижній зоні.

Вибір режимів проведення технологічного процесу оплавлення паяльної пасти залежить від таких чинників:

- конструкції і матеріалу друкованої плати, її геометричних розмірів;

- типу, розмірів та індивідуальних особливостей компонентів;

- типу паяльної пасти.

Температурна дія на елементи не повинна перевищувати максимально допустимих значень для найбільш термочутливих компонентів. Час оплавлення обирається таким чином, щоб відбулося повне змочування поверхні паяння розплавленим припоєм.

Весь технологічний процес компонування елементів на друкованій платі супроводжується контролем виконаних операцій. Він являється складним і трудомістким процесом, що вимагає серйозного підходу до його автоматизації.

В роботах та робототехнічних комплексах наявність засобів сприйняття інформації має важливе значення. ці засоби здійснюють перетворення відповідних характеристик чи властивостей об'єкта в інформацію, яка необхідна для виконання пристроєм заданої цільової функції.

По принципу дії засоби сприйняття поділяють на контактні та безконтактні. До контактних систем відносяться силомоментні і тактильні системи.

Безконтактні системи умовно можна поділити на системи технічного зору і локаційні системи. Усі вони відіграють важливу роль у промисловості, оскільки технічна система може аналізувати інформацію, яка недоступна людському відчуттю. Наприклад, рентгенівське випромінювання, радіохвилі. Уже зараз реалізація таких систем у багатьох випадках приводить до більш дешевих і надійних рішень у порівнянні з іншими засобами.

Необхідність у координації процесів регулярно з'являється під час виконання операцій зі складання та класифікації виробів, оскільки виникає потреба диференціювати завади, фіксувати просторове розміщення та розраховувати відповідні геометричні параметри.

З цієї причини ключовими завданнями для комплексів машинного зору є такі функції:

- фіксація та формування графічного кадру в межах робочої зони сканування;
- ідентифікація присутності цільових виробів у контрольованому просторі;

- класифікація та виокремлення потрібного об'єкта з поміж інших елементів на кадрі;
- детектування просторових координат виробу та його ключових геометричних орієнтирів;
- генерація командних інструкцій для виконавчих механізмів автоматики.

Сказане вище відноситься і до складання друкованих плат. Автоматичне встановлення електронних компонентів на плату практично неможливе без участі системи технічного зору.

У даній кваліфікаційній роботі використовують оптичні методи контролю, які характеризуються універсальністю, високою роздільною здатністю і надійністю. Перетворення світлових сигналів, які несуть інформацію про зображення, в форму, придатну для реєстрації, відбувається при взаємодії їх з речовиною.

Найбільш поширені такі види взаємодії як: фотонні, теплові і хвильові. Специфіка більшості систем технічного зору полягає в отриманні оптимальної інформації в реальному масштабі часу в формі, яка забезпечує найбільш прийнятний спосіб обробки вбудованими обчислювальними пристроями.

1.2. Обґрунтування актуальності автоматизації технологічного процесу поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати

Порівняно з альтернативними варіантами побудови складально-монтажних робіт, переведення ліній на автоматизований режим функціонування гарантує досягнення максимальної фінансової вигоди. Цей тип організації відрізняється глибокою уніфікацією виробничих циклів, завдяки чому суттєво зменшується кількість необхідних інженерних креслень і специфікацій, мінімізуються часові та трудові витрати на передвиробничу інженерну підготовку, а також відкриваються умови для створення групової технологічної оснастки й автоматизованих модулів, формування профільних цехових підрозділів і безперервних конвеєрів. Крім того, такий підхід повністю нівелює ризик виникнення значних похибок під час розрахунку та нормування витрат сировини, комплектуючих та людино-годин.

Поряд з загальними перевагами автоматизованого виробництва, для напіваавтомата CSM 66/84/84 VIII характерні такі особливості:

- можливість під'єднання до будь-якої конфігурації і сумісність з раніше випущеними моделями живильників і програмним забезпеченням;
- використання незатискних насадкових головок дозволяє проводити встановлення корпусів та мікросхем різного типорозміру і конфігурації, що дозволяє задовольнити всі вимоги споживача.

Для обґрунтування актуальності автоматизації процесу паяння за допомогою конвекційної печі можна привести наступні аргументи. Перш за все необхідно відмітити, що піч з

профілюванням управляється за допомогою панелі керування і клавіатурою комп'ютера, розташованою на передній стороні машини.

Всі дані на дисплеї максимально відповідають фактичним даним процесів у печі. Це дає можливість легкого наочного перегляду умов роботи (наприклад температури в зоні підігріву або часу між нанесенням паяльної пасти) в разі необхідності. Вибір опцій з меню здійснюється з допомогою використання світлового пера або клавіш. Це значно полегшує роботу обслуговуючому персоналу.

Також експлуатація цієї конвекційної печі забезпечує підвищення технологічної та експлуатаційної стабільності сформованих вузлів, тобто дозволяє тривалий час утримувати у визначених допусках показники всіх характеристик, які визначають здатність виробу виконувати свої завдання у прописаних режимах та умовах роботи.

Крім того, паяння друкованих плат за допомогою даної печі значно полегшує автоматизацію виробництва радіоапаратури.

2. Проектна частина

2.1. Характеристика продукції та її призначення

Продукцією у даному випадку є друковані плати, які являють собою основу з елементами і які не підлягають подальшому поділу.

Забезпечення належних умов роботи друкованих плат сприяє довготривалому використанню приладів і підтримує їх технічні характеристики. Тому функціонування плат знаходиться в прямій залежності від умов їх роботи.

На роботу плат значний вплив має підвищення або пониження температури середовища від номінального. Це пов'язано з тим, що змінюються фізико-хімічні властивості матеріалів, з яких виготовляється плата.

Тепловий вплив є також причиною зміни електричного опору резисторів, погіршення опору ізоляцій діелектриків, зміни ємності конденсаторів. Тепловий вплив також призводить до передчасного старіння матеріалів.

Деякі елементи, наприклад, електролітичні конденсатори, при низьких температурах втрачають свої властивості. Крім того надійність роботи плати залежить від стану навколишньої атмосфери, і в першу чергу від вологості. Із збільшенням вологості різко зменшується електричний опір (поверхневий та об'ємний) ізоляційного матеріалу.

Пошкоджують та швидко зношують виріб нетривало діючі малі навантаження, а великі короточасні перевантаження. Тому механічні впливи можуть приводити в кращому випадку до небажаних змін параметрів плати, а в гіршому - до її руйнування. Будь-які зовнішні впливи приводять до нестабільності роботи, а також до порушення циклічності і старіння виробу.

Для підвищення надійності апаратури рекомендують використовувати пом'якшені режими роботи її елементів.

Основу друкованих плат виготовляють з плоского ізоляційного матеріалу – електротекстоліту, еластичних полімерів і різноманітної кераміки.

Матеріали вибирають, виходячи з конкретних умов експлуатації, кліматичних впливів, механічних перевантажень, робочого частотного діапазону роботи схеми та максимально допустимих електричних напруг.

Найбільше застосування для виготовлення друкованих плат отримали фольговані діелектричні матеріали – електротекстоліт, які являють собою діелектрик з нанесеною з однієї чи обох сторін мідною фольгою.

Ці матеріали володіють достатньою механічною міцністю і мінімальною корозією в процесі виробництва та експлуатації, високими електроізоляційними властивостями, стабільністю при впливі агресивних середовищ і змінних умов експлуатації.

Матеріали друкованих плат мають наступні фізико-механічні властивості:

а) стійкість до припою при температурі 260°C протягом 20с і нагрівостійкість 500год при температурі 100°C;

б) прогин матеріалів плати при товщині 1,5мм має бути не більшим 0,5мм;

в) стабільність розмірів плати при товщині 1,5мм має бути не більше 0,05%;

г) матеріал плати повинен витримувати вплив ультрафіолетового та інфрачервоного опромінення інтенсивністю 100Вт/см^2 протягом 60с;

д) композиція захисної маски має забезпечити як захист доріжок при пайці від механічних впливів та впливів зовнішнього середовища при збереженні та експлуатації виробів, так і електричну ізоляцію встановлюваних компонентів від друкованих провідників.

Захисна маска повинна мати такі властивості:

- щільно облягати елементи рисунка з мінімальною шириною і мінімальним зазором між друкованими елементами без утворення пустот;

- бути вогнестійкою;

- не повинна мати механічних пошкоджень, тріщин і відшарувань після впливу навантаження або зміни температури в діапазоні від -60°C до $+120^{\circ}\text{C}$.

Інженерна практика свідчить, що збої у функціонуванні електронних систем стаються переважно через такі чинники:

- низький рівень безвідмовності дискретних компонентів;

- недотримання регламентованих параметрів їхньої експлуатації;

- прорахунки на етапах схемотехнічного проектування та конструкторської розробки;

- технологічні похибки під час виробництва;
 - слабка стійкість до факторів навколишнього середовища;
- інтеграція неякісних або морально застарілих деталей.

З метою мінімізації відмов та покращення показників стабільності друкованих вузлів під час їхнього проектування слід виконувати такі вимоги:

- проектувати архітектуру модулів та блоків виключно на базі сучасної компонентної бази з високим індексом експлуатаційної надійності;
- здійснювати трасування та компонування деталей на платі таким чином, щоб гарантувати їхній ефективний захист від деструктивних внутрішніх процесів та зовнішніх кліматичних чи механічних навантажень;
- коректно розраховувати та задавати робочі електричні і теплові режими для кожного окремого елемента схеми.

Робочі режими елементів визначаються ступенем їх електричного та механічного навантаження, оточуючою температурою і експлуатаційними факторами.

Отже, при виборі схем враховують, що надійнішими в роботі будуть:

- а) більш прості схеми, які мають менше число елементів;
- б) схеми, вихідні параметри яких не дуже залежать від змін напруги живлення і не потребують стабілізованих джерел живлення;
- в) схеми з мінімальним споживанням електроенергії, які не потребують складних систем охолодження.

До друкованих плат ставляться відповідні конструкторсько-

технологічні вимоги. На заготовці плат повинні бути розміщені не менше двох оптичних реперів на відстані 10мм від країв плати.

Реперний знак – це елемент друкованої плати, призначений для суміщення багато вивідного електричного компонента з контактними площадками друкованої плати при автоматизованому встановленні компонентів на плату. Він виконується у вигляді світлового (без фольги) квадрату, в центрі якого розташована мідна фольга без покриття припоєм і захисної маски у вигляді круга, квадрата, трикутника.

Розміри, форма, розташування реперних знаків можуть видозмінюватися залежно від використання конкретного складального устаткування.

На поверхні репера не допускається наявність захисної маски в зоні діаметром 5мм. Реперні знаки можуть бути на кожній стороні друкованої плати при установці компонентів.

Вимоги до провідних доріжок і контактних площадок:

- мінімальна ширина провідних доріжок повинна складати 0,1-0,2мм, максимальна 0,5-1мм ширини провідника;
- монтажні контактні площадки рекомендується використовувати прямокутної форми.

У всіх випадках при розробці друкованих плат виходять із вимог малогабаритності і легкості апаратури, високої щільності компонування схеми.

2.2. Розроблення технологічного процесу поверхневого монтажу радіоелементів на електронні плати

Здійснимо вибір методу одержання вихідного напівфабрикату і проведемо техніко-економічні розрахунки при його виборі.

Друковану плату компонують методом друкованого монтажу, який дозволяє успішно вирішити задачу автоматизації створення перехідних отворів, а також здійснити групові методи паяння виводів і встановлених на платах електронних компонентів.

Паяння друкованих плат здійснимо методом оплавлення паяльної пасти в конвекційній печі. В ній унікальна багатозональна технологія нагріву об'єднує в себе великий об'єм гарячого повітряного потоку з високою стабільністю температурного режиму.

Розглянемо метод паяння зануренням. Визначимо трудомісткість при даному методі. [3, 20–25]

$$t = \frac{T_{nz}}{n} + T_{um}, \quad (2.3)$$

де T_{nz} – підготовчо-заключний час, необхідний на ознайомленнями з кресленнями, технологічним процесом, консультацію з майстром, $T_{nz}=60\text{хв.}$;

T_{um} – штучний час, який можна визначити так:

$$T_{um} = T_{on} \cdot \left(1 + \frac{k}{100}\right), \quad (2.4)$$

де T_{on} – оперативний час, $T_{on}=0,8\text{хв.}$;

k – коефіцієнт, який враховує час на організаційно технічне обслуговування робочого місця, відпочинок і особисті потреби працівника, $k=9,3\%$ від оперативного часу.

$$T_{um} = 0,8 \cdot \left(1 + \frac{9,3}{100}\right) = 0,87\text{хв}$$

Виходячи з цього трудомісткість складає:

$$t = \frac{600}{5000} + 0,87 = 0,88\text{хв}$$

Визначимо трудомісткість при автоматизованій пайці у конвекційній печі:

$$t = \frac{600}{5000} + 0,022 = 0,034\text{хв}$$

Отже, паяння у конвекційній печі, що по штучному часу чи продуктивності має значну перевагу. Тим більше, метод занурення має ще такі недоліки: розплавлений припій швидко окисляється і на поверхні утворюється шар шлаку, а дія високих температур приводить до місцевого відшарування друкованих провідників.

Опишемо докладніше процес паяння методом оплавлення паяльної пасти. Блок-схема, яка відображає технологічний процес має такий вигляд (рис. 2.1):

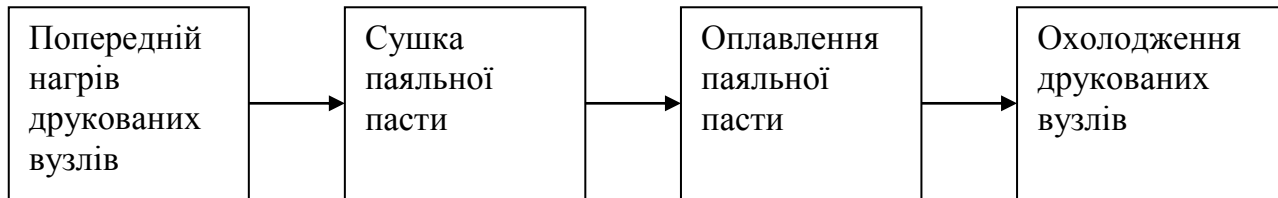


Рисунок 2.1 - Блок-схема паяння оплавленням паяльної пасти

Попередній нагрів друкованих вузлів дозволяє знизити тепловий удар. При використанні паяльної пасти на основі припою ПОС-61 і ПОС-63 попередній нагрів друкованих вузлів рекомендується здійснювати до температури 110-130°C і на протязі часу 35 ± 10 сек. Швидкість підвищення температури 2-3 °C/сек.

Проведення процесу попередньої сушки дозволяє:

- активізувати флюсуючу складову паяльної пасти;
- видалити надлишок води чи розчинника з паяльної пасти, при цьому знизивши розбризкування і утворення металевих кульок припою.

Попередню сушку рекомендують проводити при температурі 140-170°C на протязі 40 ± 10 сек. В зоні оплавлення швидкість підвищення температури не більше 70°C, а оплавлення при температурі 210-240°C на протязі 3-5 сек. Вибір режимів при проведенні технологічного процесу оплавлення паяльної пасти залежить від:

а) конструкції і матеріалу друкованої плати, її геометричних розмірів;

б) типу, розміру і кольору корпусів елементів;

в) типу паяльної пасти.

На рисунку 2.2 приведена типова температурно-часова характеристика процесу паяння.

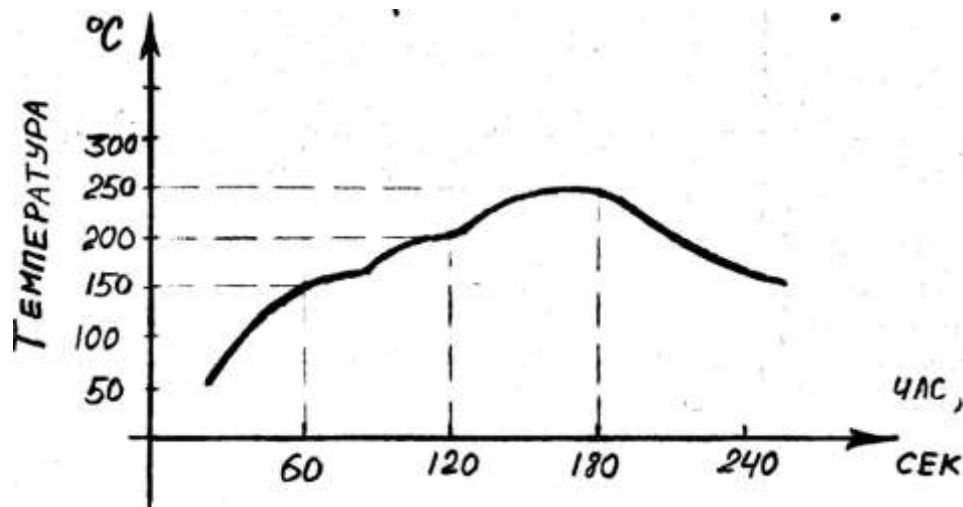


Рисунок 2.2 – Температурно-часова характеристика процесу паяння

Під'єднавши термопару до поверхні друкованої плати і паяного з'єднання, можна одержати повну картину нагріву як самого друкованого вузла, так і основних критичних точок.

По одержаних результатах уточнюються швидкість нагрівання і температурні інтервали процесу.

Час оплавлення вибирається таким чином, щоб відбулося повне змочування поверхні паяння розплавленим припоєм, але разом з тим потрібно уникати термодеструктуризації друкованої плати, перегрівання термочутливих елементів, перегорання залишків флюсу.

Здійснюємо розрахунок обладнання для забезпечення заданої якості, точності і обсягу виробництва в умовах автоматизації. Вибір обладнання проводять по головному параметру, який є найбільш важливим для нього. Робота по вибору обладнання проводиться після того, як попередньо всі операції процесу розроблені і відповідно визначений метод обробки, точність, тип виробництва і такт випуску.

На основі цих даних, а також виходячи з місця розташування і розмірів плати вибирають обладнання, необхідне для монтажу і паяння радіоелементів.

Важливим показником роботи обладнання і правильності його вибору є степінь використання кожного обладнання, як окремо так і сукупно, відповідно до розробленого технологічного процесу. Обладнання необхідно вибирати по продуктивності. Тоді буде забезпечено його раціональне часове використання.

Для аналізу ефективності технологічного процесу потрібно підрахувати коефіцієнт завантаження та коефіцієнт використання по основному часу. Коефіцієнт завантаження k_z розраховується як співвідношення між обчисленою теоретичною потребою у верстатах m_p , необхідних для виконання конкретної технологічної операції, та фактично встановленою (прийнятою) кількістю одиниць обладнання m_n : [3, 25–31]

$$k_z = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

Теоретична потреба у верстатах визначається за формулою:

$$m_p = \frac{T_{um.cp}}{T_\epsilon}, \quad (2.6)$$

де $T_{um.cp}$ – поштучний час на конкретній операції;

T_ϵ – такт випуску.

Такт випуску знайдемо по формулі:

$$T_\epsilon = \frac{60 \cdot F_\delta}{N}, \quad (2.7)$$

де F_δ – дійсний фонд часу роботи верстату чи робочого місця;

N – річна програма випуску виробів, шт.

$$T_\epsilon = \frac{60 \cdot 130}{5000} = 53,7 \text{сек} / \text{шт}$$

Середній поштучний час для виконання операції обробки (складання) одиниці продукції визначимо з формули:

$$T_{um.cp} = \frac{\sum_1^n t_{um}}{n}, \quad (2.8)$$

де n – число операцій.

$$T_{um.cp} = \frac{\sum_1^2 2,5 + 1,2}{2} = 1,85 \text{хв}$$

$$m_p = \frac{1,85}{3,7} = 0,5; \quad k_3 = \frac{0,5}{1} \cdot 100\% = 50\%.$$

Проведемо підбір технологічного оснащення та інструменту для виконання запланованих виробничих етапів. Дане рішення має спиратися на детальний розрахунок фінансових та матеріальних витрат, необхідних для впровадження всього технологічного циклу в межах регламентованого часового інтервалу за умови забезпечення встановленого обсягу випуску готових виробів.

Технологічна оснастка являє собою додаткові або допоміжні пристрої, необхідні для виконання операцій виготовлення деталей, їх механічної обробки.

В умовах різного типу виробництва до конструкції оснастки ставляться вимоги, в залежності від яких визначається степінь спеціалізації пристосувань, рівень автоматизації.

Крім продуктивності і точності при проектуванні оснастки потрібно приділяти особливу увагу покращенню умов праці і безпеці роботи. Для розробки технологічних процесів монтажу і паяння для виконання операцій необхідно передбачити окремі види оснастки і здійснити їх вибір, або знати принцип конструювання найпростіших пристосувань.

Прикладом оснастки є технологічна тара, яка відіграє важливу роль, оскільки для радіоапаратури характерна велика кількість вузлів і деталей, і багато з них потребують досить обережного поводження. При виборі потрібного виду тари ми враховуємо її універсальність, простоту виготовлення з надійних і недорогих матеріалів.

Раціональним є застосування тари у вигляді транспортабельних зварних сталевих або пластмасових конструкцій. Сучасна організація складального виробництва потребує використання уніфікованих конструкцій тари, тому при вирішенні питань необхідно орієнтуватися на стандартний системний підхід.

Поряд із цим, у межах виробничого циклу виконується моніторинг якісних та кількісних показників. На цьому етапі дозволяється контроль характеристик допоміжної сировини, одиниць технологічного спорядження, зокрема оцінка прецизійності та стабільності самих виробничих операцій, а також незмінності факторів навколишнього середовища.

Реалізовані перевірочні заходи покликані не допустити передачу некондиційних напівфабрикатів та деталей на подальші виробничі стадії. На стартовій позиції технологічного маршруту організовується первинний контроль, під час якого вирішуються завдання з оцінки відповідності параметрів матеріалів, базових заготовок, а також покупних елементів і складальних вузлів критеріям, які зафіксовані в державних та галузевих стандартах.

Функцію проведення вхідного контролю на базі підприємства може перебирати на себе окрема профільна служба. На етапі міжопераційного контролю здійснюється перевірка відповідності геометричних і фізичних параметрів деталей та вузлів, що перебувають у процесі обробки, чинним конструкторським вимогам, а також фіксуються поточні кількісні та якісні показники стабільності обладнання. Під час виконання

міжопераційного контролю вчасно виявляються виробничі похибки та відхилення від номінальних значень у ході створення продукції.

Фінальний контроль покликаний остаточно підтвердити відповідність параметрів уже випущеної готової продукції критеріям і нормам, які регламентовані чинною нормативно-технічною документацією.

Найбільш доступним і поширеним методом контролю є візуальний контроль. Цей метод застосовують для післяопераційного та вихідного контролю якості паяльних з'єднань.

Мета візуального контролю – оцінка зовнішнього вигляду мікроз'єднань у порівнянні з еталонним примірником і виявлення неякісних (дефектних) мікроз'єднань при зовнішньому огляді.

Основним критерієм оцінки паяльних мікроз'єднань є стан поверхні припою і форма утвореного паяльного з'єднання. Ще одним критерієм оцінки якості є величина деформації провідника – під мікроскопом або лупою розглядають плату, перевіряючи ширину провідника в місці паяння і визначають деформацію провідника по формулі: [2, 10–17]

$$\xi = (1 - 0,8 \frac{d_{np}}{B_{def}} \cdot 100), \% \quad (2.9)$$

де d_{np} – діаметр провідника, мм;

B_{def} – ширина деформованої зони провідника в місці паяння, мм.;

Паяльні з'єднання вважають задовільними, якщо відсутні зовнішні ознаки дефектів: несиметричність паяльної ділянки відносно її осі, підгоряння плівки. Візуальний контроль якості нанесення паяльної пасти на плату здійснюється методом порівняння з конструкторською документацією з використанням оптичних приладів.

Паяльна паста має бути нанесена на контактні площадки у точній відповідності з топологією друкованої плати. Відтиск має бути однорідним з чіткими краями контуру без нагрівних країв. На контактних площадках не має бути розтікання припою до сусідніх контактних площадок і слідів паяльної пасти на діелектрику друкованої плати.

Нанесений шар паяльної пасти має мати рівну поверхню без вершин і впадин.

Контроль якості встановлення елементів проводиться системою технічного зору. Складені друковані вузли не повинні мати:

- механічних пошкоджень корпусів і виводів;
- порушення покриття корпусів і виводів;
- пошкодження контактних площадок і друкованих провідників плати.

При зміщенні контактних поверхонь (виводів) відносно контактних площадок, при неправильній орієнтації полярних елементів здійснюють корекцію їх положення вручну з допомогою пневмопінцета. При знаходженні дефектного елемента, здійснюють операцію демонтажу і замінюють на новий елемент. Отже, можна

відзначити, що візуальний спосіб контролю якості паяльних з'єднань є достатньо надійним, швидким і економічним.

Ефективність вибору технологічної оснастки має оцінюватися по результатах її застосування на основі співставлення фактичних затрат з плановими і врахування експлуатаційно-технічних показників виробничого процесу виготовлення виробу. При техніко-економічному обґрунтуванні вибору схем технологічної оснастки розраховують :

- коефіцієнт завантаження одиниці технологічної оснастки;
- затрати на оснащення технологічних операцій виготовлення виробів.

Коефіцієнт завантаження одиниці технологічної оснастки визначимо по формулі: [3, 11–16]

$$K_z = \frac{T_{um} \cdot N}{F_o}, \quad (2.10)$$

де T_{um} – штучний час виконання технологічної операції, $T_{шт}=0,28\text{хв.}$;

N – планова місячна програма на одиницю оснастки, $N=72$;

F_o – місячний фонд часу роботи оснастки.

$$K_z = \frac{0,28 \cdot 72}{32} = 63\%.$$

Технічне нормування складальних робіт в умовах автоматизованого виробництва проводять на основі технологічних

документів і нормативного часу. Необхідно відмітити, що воно повинно бути виконано з достатньою точністю, так як величина трудомісткості є основою для визначення інших техніко-економічних показників виробництва.

Технічне нормування виробничого циклу полягає в розрахунку точного значення штучного часу $T_{шт}$ для кожного окремого технологічного кроку в умовах крупносерійного чи масового випуску продукції, або штучно-калькуляційного часу в умовах серійного типу організації виробництва. Цей розрахунковий етап реалізується строго після остаточного формування структури та наповнення операцій, підбору верстатного парку, вибору різального й допоміжного інструменту, а також аналітичного визначення оптимальних режимів функціонування обладнання. Нормування проводять за формулою: [3, 25]

$$T_{ук} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}, \quad (2.12)$$

де $T_{пз}$ – підготовчий час необхідний для ознайомлення з кресленнями та технологічним процесом, для налагодження обладнання.

Цей час розраховується на всю партію виробів n .

Проведемо нормування таких операцій технологічного процесу:

1) операція комплектування:

$$T_{um} = 0,054 \text{хв.}, T_{nz} = 10 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,054 + \frac{10}{5000} = 0,056 \text{хв.}$$

2) операція формування виводів:

$$T_{um} = 0,003 + 0,015 + 0,004 = 0,021 \text{хв.}, T_{nz} = 5 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,021 + \frac{5}{5000} = 0,022 \text{хв.}$$

3) операція лудіння виводів:

$$T_{um} = 0,0023 + 0,0027 + 0,0096 + 0,0048 + 0,0023 + 0,0024 + 0,003 + 0,0023 + 0,0023 = 0,038 \text{хв.}, T_{nz} = 8 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,038 + \frac{8}{5000} = 0,039 \text{хв.}$$

4) операція порізки вихідних матеріалів:

$$T_{um} = 0,02 + 0,001 = 0,021 \text{хв.}, T_{nz} = 10 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,021 + \frac{10}{5000} = 0,023 \text{хв.}$$

5) операція маркування:

$$T_{um} = 0,0065 + 0,0005 = 0,007 \text{хв.}, T_{nz} = 2,5 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,007 + \frac{2,5}{5000} = 0,0075 \text{хв.}$$

6) операція сушки:

$$T_{um} = 0,025 \text{хв.}, T_{nz} = 2 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,025 + \frac{2}{5000} = 0,029 \text{хв.}$$

7) операція нанесення припайної пасти:

$$T_{um} = 0,028 + 0,005 + 0,001 = 0,034 \text{хв.}, T_{nz} = 15 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,034 + \frac{15}{5000} = 0,037 \text{хв.}$$

8) операція монтажу:

$$T_{um} = 0,042 \text{хв.}, T_{nz} = 2 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,042 + \frac{2}{5000} = 0,0424 \text{хв.}$$

9) монтаж:

$$T_{um} = 0,02 \text{хв.}, T_{nz} = 2 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,02 + \frac{2}{5000} = 0,0204 \text{хв.}$$

10) ремонт:

$$T_{um} = 0,117 \text{хв.}, T_{nz} = 5 \text{хв.}, n=5000 \text{шт.},$$

$$T_{ук} = 0,117 + \frac{5}{5000} = 0,118хв.$$

11) склеювання:

$$T_{шт} = 0,006хв., T_{нз} = 3хв., n=5000шт.,$$

$$T_{ук} = 0,006 + \frac{3}{5000} = 0,007хв.$$

12) регулювання:

$$T_{шт} = 0,36хв., T_{нз} = 2хв., n=5000шт.,$$

$$T_{ук} = 0,36 + \frac{2}{5000} = 0,361хв.$$

Технологічний процес монтажу і паяння радіоелементів на друковану плату наведений в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{шт}$, хв
	Охорона природи згідно нормативу			
0105	Комплектування Кількість комплектуючих 65шт.			0,054
0110	Формовка а) формування виводів конденсатора С7 б) формування виводів конденсаторів С2, С3, резонатора кварцового ВQ1 в) візуальна перевірка якості виконаної операції		Круглогубц і КУГ 150	0,021 0,003 0,015 0,001
0115	Лудіння виводів радіоелементів а) лудити виводи радіоелементів: сенсора ВР1 – 1шт, резонатора ВQ1 – 1шт, конденсаторів С2,С3 – 2шт, конденсаторів С5,С7 – 2шт,	Установка АМ-933		0,0023 0,0024 0,0096 0,0083

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{шт}$, хв
	кнопок SA1, SA2 – 2шт, діода VD1 – 1шт, дзвінка HA1- 1шт, резисторів R6, R7 – 2шт, індикатора HG1 – 1шт, вилки XR2 – 1шт, Кількість виводів – 62. б) перевірити якість виконаної операції візуально; в) передати радіоелементи в цехову кладовку.		Тара цехова	0,0048 0,0023 0,0024 0,003 0,0023 0,0023 0,003 0,001
0120	Порізка вихідних матеріалів а) Різати папір на заготовки розміром: (10*5)мм – 1шт, (15*15)мм – 1шт, (26*26)мм – 1шт; б) перевірити якість виконаної операції візуально;		Ножиці НП-180	0,023 0,02 0,001
0125	Маркування			0,0075
0130	Сушка Сушити плату при температурі 100-110 °С протягом 1,5-2год	Шафа сушильна		0,0025

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{ит}$, хв
		ДЛДМ-2		
0135	Нанесення припайної пасти а) нанести припайну пасту на контактні площадки плати під наступні радіоелементи: конденсатори С4, С8, С9 – 3шт, резистори R8, R9-R11, R3, R5, R14, R15, R4, R33, R21, R16-R18, R31, R32, R1, R12, R13, R22, R24, R23, R19, R2 – 24шт, мікросхеми DA1-DA3 – 3шт, діод VD2 – 1шт. Кількість площадок - 96 б) перевірити якість виконаної операції візуально; в) передати плату на робоче місце монтажу та паяння		Тара цехова	0,037 0,005 0,001
0140	Монтаж радіоелементів а) провести установку на плату таких елементів: конденсатори С4, С8, С9 –	автомат CSM 84 VIII		0,042

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{шт},$ хв
	3шт, резистори R8, R9-R11, R3, R5, R14, R15, R4, R33, R21, R16-R18, R31, R32, R1, R12, R13, R22, R24, R23, R19, R2 – 24шт, мікросхеми DA1-DA3 – 3шт, діод VD2 – 1шт; б) провести паяння вищевказаних елементів; в) передати плату на дільницю нанесення пасти.	Конвекційна піч	Тара цехова	
0145	Нанесення припайної пасти а) нанести припайну пасту під такі елементи: конденсатори C1, C6 – 2шт, резистори R34-R36, R20, R25- R30 – 10шт, мікросхеми DA1,DA2, DA3 – 3шт, б) передати плату на робоче місце монтажу та паяння		Дозатор флюсу Тара цехова	0,028
0150	Монтаж радіоелементів			0,020

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{шт}$, хв
	а) провести установку на плату таких елементів: конденсатори C1, C6 – 2шт, резистори R34-R36, R20, R25- R30 – 10шт, мікросхеми DA1,DA2, DA3 – 3шт, б) провести паяння вищевказаних елементів; в) транспортувати плату на дільницю технічного контролю	автомат CSM 84 VIII Конвекційна піч	Тара цехова	
0155	Технічний контроль			
0160	Монтаж радіоелементів а) провести установку на плату таких елементів: конденсатори C2, C3 – 2шт, резонатора BQ1 – 1шт, вилки XR2 – 1шт, діода VD1 – 1шт, резисторів R6, R7 – 2шт, індикатора HG1 – 1шт,	автомат CSM 84 VIII		0,082

№	Назва і зміст операції	Обладнання	Пристрій та інструмен- ти	$T_{шт}$, хв
	сенсора BP1 – 1шт, кнопок SA1, SA2 – 2шт; б) провести паяння вищевказаних елементів; в) перевірити якість виконаних операцій.	Конвекційна піч		

2.3. Вибір варіантів компоновок автоматизованої виробничої системи

Компонувальна схема являє собою графічний план промислової споруди (або окремого корпусу), на якому відображено просторове розміщення цехових структур, допоміжних служб, технологічних ділянок, службово-побутових зон, а також сітки внутрішніх проїздів і пішохідних проходів.

Головна мета розробки такого плану полягає в раціональному взаємному узгодженні всіх підрозділів, що функціонують у межах однієї будівлі, визначенні найбільш ефективних траєкторій проходження технологічного циклу, оптимізації роботи внутрішньозаводського транспорту, логістичних маршрутів та руху персоналу, а також у грамотному позиціонуванні допоміжних і санітарно-побутових об'єктів.

На компоувальній схемі, використовуючи регламентовані графічні символи позначають: капітальні стіни, лінії розмежування між окремими цехами й виробничими зонами, загальносистемне інженерне обладнання та споруди (блоки трансформаторних підстанцій, силові розподільчі шафи), стаціонарні підйомні та логістичні комплекси (мостові крани, конвеєрні системи, підлогові транспортери), магістральні проїзди та зони пішого пересування, а також підвальні приміщення, підземні тунелі й технологічні канали.

Основним критерієм під час проєктування та вибору конкретної компоувальної схеми є мінімізація довжини маршрутів переміщення основних матеріальних потоків і заготовок на всьому шляху їх перетворення в готову продукцію. З огляду на це, загальнокорпусні та проміжні склади матеріалів логічно базувати в тій частині будівлі, де розташовані заготівельні підрозділи, тоді як вузол вивантаження та відвантаження готових товарів має примикати безпосередньо до складів фінальної продукції. Усі виробничі сектори, ділянки та допоміжні лінії на загальному плані повинні послідовно змінювати один одного суворо відповідно до етапів реалізації виробничого процесу.

При виборі варіантів компоунок автоматизованої виробничої системи, які пристосовані до конкретних умов виробництва, необхідно приймати найбільш економічно вигідний варіант. Для цього достатньо порівняти процеси по якомусь одному елементу собівартості, по якому приймаються відповідні рішення, наприклад, по витратах на матеріал чи заробітну плату, або на

обладнання. Для порівняння варіантів компоновок по собівартості в загальному випадку використовують формулу:

$$C = A + \frac{B}{X}, \quad (2.13.)$$

де C – собівартість виробу;

A – сума поточних витрат;

X – кількість виробів, що виготовляються.

До поточних витрат відносять витрати на матеріал, заробітну плату, мастильні та інші допоміжні матеріали, освітлення, обігрівання, ремонт приміщень. Здійснимо порівняння таких двох варіантів:

ручне встановлення радіоелементів;

автоматизоване складання друкованої плати;

Коротко процес ручного встановлення радіоелементів можна охарактеризувати такими етапами:

- а) встановлення друкованої плати на робочий стіл;
- б) нанесення клею чи паяльної пасти;
- в) вибір радіоелементу для встановлення;
- г) визначення монтажного місця;
- д) перенесення радіоелементів до монтажного місця;
- е) відповідна орієнтація радіоелементів;
- є) встановлення радіоелементів на плату;

В автоматизованому режимі виконуються наступні операції:

- нанесення припайної пасти;
- вибір радіоелементу з касети конкретного типорозміру;

- орієнтація радіоелементів по осях координат;
- переміщення елемента до місця монтажу;
- встановлення радіоелементів із заданою стелінною точністю.

Всі операції, крім першої, виконуються в автоматизованому режимі, що сприяє значній економії часу і витрат.

Паяння елементів у складі друкованих вузлів можна проводити такими груповими методами:

- а) подвійною хвилею припою;
- б) оплавленням паяльної пасти у конвекційній печі.

Паяння подвійною хвилею припою є покращеним варіантом паяння друкованих плат зануренням. При цьому способі припій подається з допомогою наносу із нижніх шарів ванни через поздовжню щілину, утворюючи хвилю припою.

Цей метод полягає в тому, що монтажна плата проходить з певною швидкістю по гребені хвилі розплавленого припою, створеним спеціальним пристроєм на його поверхні і запаює виводи радіоелементів.

Паяння елементів оплавленням паяльної пасти в конвекційних печах здійснюється по наступному принципу:

- попередній нагрів друкованих вузлів;
- сушка паяльної пасти;
- оплавлення паяльної пасти;
- охолодження друкованих вузлів.

Попередній нагрів рекомендують проводити до температури $(110-190)^{\circ}\text{C}$ на протязі часу (35 ± 10) сек.

2.4. Вибір оптимальної компоувальної структури автоматизованої системи

На основі аналізу приведених вище техніко-економічних показників ефективності автоматизації технологічних процесів можна здійснити вибір оптимального компоувального рішення.

При цьому потрібно врахувати такі можливості, як різний характер виробництва (від індивідуального до масового), велику номенклатура елементів, тому потрібно вибирати і використовувати найбільш продуктивні методи.

При всіх умовах повинна забезпечуватись висока техніко-економічна ефективність монтажу, паяння і контролю апаратури, заданий ріст продуктивності праці, покращення якості випущеної продукції.

Приведений вище розрахунок показує що використання автоматизованого методу монтажу порівняно із ручним і застосування конвекційної печі замість методу паяння подвійною хвилею припою дає такі переваги:

- зниження трудомісткості як на одиницю продукції, так і на всю партію виробів;
- підвищення продуктивності, тобто кількість випущеної продукції по відношенню до трудових затрат;
- зниження капітальних витрат і капіталовкладень в технологічне обладнання.

2.5. Розроблення структури та алгоритму роботи автоматизованої системи

Організаційна структура та перелік виробничих підрозділів будь-якого промислового об'єкта обумовлюються ступенем його профільної орієнтації. Зважаючи на цей фактор, виділяють чотири базові класи промислових комплексів:

1. Підприємства із закінченим технологічним маршрутом випуску товарного продукту, структура яких охоплює повний набір підрозділів: секції первинного оброблення сировини, механічні та термічні цехи, дільниці фінального монтажу, а також супутні інженерні й сервісні служби.

2. Підприємства, орієнтовані на створення напівфабрикатів та первинних форм, матеріально-технічна база яких обмежена виключно заготівельними потужностями та лініями забезпечення їхньої життєдіяльності.

3. Складальні заводи, чия структура представлена лише монтажними дільницями, де здійснюється інтеграція та пакування готових пристроїв із готових вузлів і деталей, що імпортуються або постачаються іншими контрагентами.

4. Профільні виробництва, завданням яких є випуск вузького спектра деталей, функціональних вузлів та інших засобів комплектації з метою подальшого забезпечення ними фінальних збиральних майданчиків, що створюють багатокomпонентні вироби.

У даному випадку підприємство має складальну структуру, що дозволяє комплектувати окремі елементи в готову продукцію.

Розробимо циклограму та алгоритми роботи автоматизованої виробничої системи.

Значній частині промислового обладнання притаманна циклічна природа функціонування, що виражається в регулярному дублюванні окремих операцій та переміщень робочих органів, орієнтованих на виготовлення поштучної продукції.

Аналізуючи функціонування подібних агрегатів, можна чітко виділити послідовну зміну безпосередньо формоутворюючих етапів та допоміжних рухів, які самі по собі не виконують технологічної дії, проте забезпечують створення необхідних умов для її подальшої реалізації.

В даному випадку після запуску автомата для монтажу радіоелементів спочатку здійснюються допоміжні операції: подача, затиск елемента відповідною вакуумною головкою, підвід її до місця монтажу тривалістю t_{x1} .

Потім відбувається встановлення елементів на друковану плату тривалістю t_p , після якого знову відбуваються допоміжні операції тривалістю t_{x2} : відвід затискного пристрою, розтиск, виключення, зняття готового виробу.

Після цього здійснюється подача іншого виробу, його затиск і так далі. Проте, однакові операції повторюються як правило, через однаковий інтервал часу, який називають робочим циклом T . Робочі ходи – це рухи, завдяки яким здійснюється безпосередній технологічний вплив на оброблюваний матеріал. Холості ходи це подача виробу, затиск, підвід інструментів.

Під час розроблення структури автоматизованого виробничого комплексу критично важливо брати до уваги логістику матеріальних та інформаційних потоків усередині комплексу, а також динаміку його функціонування. Найбільш раціонально це завдання реалізується за допомогою робочих алгоритмів, які представляють у формі логіки взаємодії або у вигляді графічних послідовностей операцій, що дає змогу детально та уніфіковано відобразити всі робочі цикли й позаштатні ситуації.

Графічне представлення алгоритму доцільно розширити базовою структурою алгоритму координації, яка чітко визначає його роль як базового документа, що закріплює фундаментальні інженерні рішення, ухвалені для підтримання регламентованого перебігу всього технологічного процесу.

2.6. Обґрунтування вибору структури технологічного процесу виготовлення продукції

Компоновка блоків друкованих плат включає в себе декілька взаємозв'язаних задач, рішення яких має ціль створити найкращі умови для подальшого синтезу топології електричних з'єднань при виконанні конструкторських і технологічних обмежень.

На рішення задачі компоновки великий вплив мають типи проєктованих блоків. В залежності від типу блоку (цифровий, аналоговий, цифро-аналоговий) вирішуються різноманітні задачі і визначається той чи інший метод їх розв'язання.

Для закріплення радіоелементів на платі доцільно використовувати метод групової паяння, який у порівнянні з іншими методами має такі переваги: точне підтримання постійної температури і часу паяння, збільшення технологічної та експлуатаційної надійності з'єднань, підвищення продуктивності, полегшення автоматизації виробництва радіоапаратури.

Реалізація вибраного методу із забезпеченням заданої якості, точності і продуктивності проводиться за допомогою відповідного технологічного обладнання. Його вибір полягає в аналізі затрат на забезпечення функціонування технологічної підсистеми. Крім цього, при розробці технологічного процесу ставиться завдання знайти варіант, який забезпечує найефективніше економічне рішення. Сучасні методи дозволяють задовільнити найбільш строгі вимоги креслень, проте слід шукати таке рішення, яке забезпечує виробничі та економічні вимоги.

Блок-схема технологічного процесу монтажу радіоелементів на плату показана на рис 2.3.

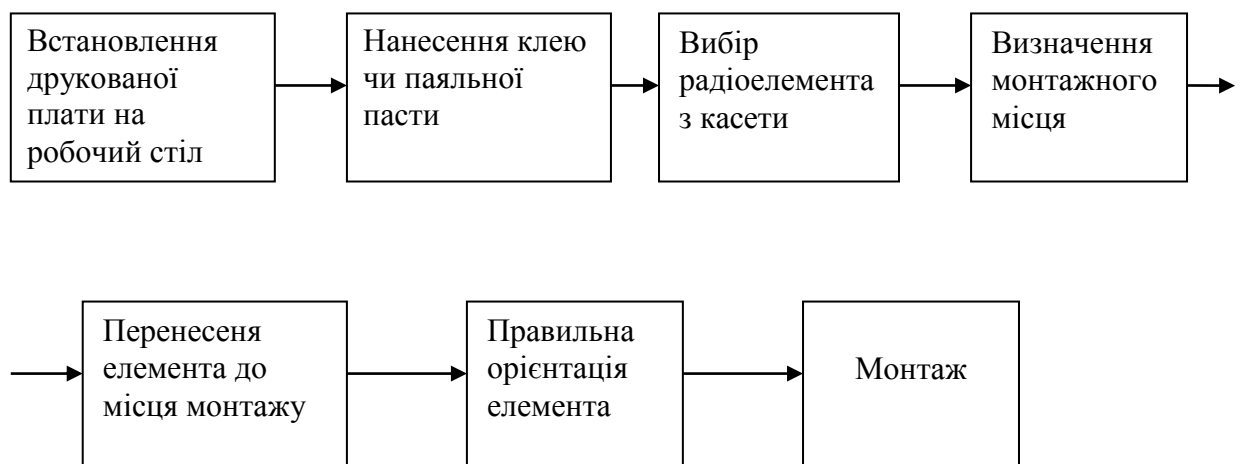


Рисунок 2.3 – Блок-схема процесу встановлення елементів.

2.7. Аналіз та вибір серійного обладнання для автоматизованої системи

В даній кваліфікаційній роботі підбір обладнання проводиться після попереднього визначення методів обробки, інструменту, типу виробництва та такту випуску. На основі цих даних, а також виходячи з розмірів оброблюваного виробу, вибрали модель напівавтомату.

Проте, кінцеве рішення по його вибору необхідно приймати після визначення коефіцієнта завантаження обладнання, його використання по потужності.

Важливим показником роботи обладнання і правильності його підбору є степінь використання кожного обладнання окремо і всіх разом по розробленому процесу. Обладнання слід вибирати по продуктивності, тоді буде забезпечуватись раціональне їх використання в часі.

Для кожного обладнання по всьому технологічному процесі були підраховані коефіцієнти завантаження, коефіцієнти використання по основному часу. Тому з метою зменшення трудових затрат, збільшення продуктивності праці і нарощення обсягів виробництва необхідне придбання автомату для поверхневого монтажу електронних компонентів. Він забезпечує монтаж електронних елементів на поверхню друкованих плат методом переносу від накопичувача до місця монтажу за допомогою вакуумного захвату.

Автомат виконаний у наземному виконанні і забезпечений транспортною системою. Базування друкованих плат на працюючій позиції здійснюється по базових отворах.

Автомат побудований по модульному принципу, має від двох до чотирьох монтажних головок, орієнтованих на роботу з широкою номенклатурою поверхнево-монтажних компонентів. Автомат має комп'ютерну систему управління, що забезпечує роботу вакуумних головок і транспортної системи. Основними технічними характеристиками автомату є:

- а) продуктивність 5000 комп./год і вище;
- б) кількість встановлюваних головок (2..4) шт;
- в) позиціювання друкованих вузлів – по базових отворах;
- г) точність встановлення компонентів 0,04 мм;
- д) кількість накопичувачів – не менше 30 шт;
- е) напруга живлення 220 В;
- є) тиск стиснутого повітря 500 кПа;
- ж) маса 625 кг;
- з) електроживлення 4 кВт;
- к) габаритні розміри друкованих плат:
 - максимальні (457*403) мм;
 - мінімальні (50*50) мм;
- и) накопичувачі: стрічка 8 мм, 12 мм, 16 мм, ... 44 мм;

Піч з профілюванням – це точно сконструйована, повністю конвекційна піч для паяння. Вона була розроблена і виготовлена для простоти використання і мінімального часу простою при процедурах заміни і настройки.

Унікальна багатозональна технологія нагріву об'єднує в себе великий об'єм гарячого повітряного потоку з високою стабільністю температурного режиму.

Вмонтований внутрішній процесор керує системою незалежного нагріву і витяжки в кожній зоні. Основні технічні характеристики конвекційної печі такі:

- а) тиск на виході (газоподача) (4-7) бар;
- б) температура попереднього нагріву друкованих вузлів плати (110-130) °C;
- в) час попереднього нагріву (35±10) сек;
- г) швидкість підвищення температури 5 °C/сек;
- д) тривалість сушки (40±10) сек;
- е) температура оплавлення (210-240) °C;
- є) час оплвлення (3-5) сек;
- ж) швидкість підвищення температури 7 °C/сек;
- з) маса 850 кг.

Паяння монтажних з'єднань потребує надзвичайної обережності. Перегрів паяних вузлів приводить до порушення з'єднань в середині вузла і до відмови системи в цілому.

Описаний нижче пристрій на транзисторах регулює і підтримує постійну температуру в камера конвекційної печі (слайд 12 графічної частини): термопара під'єднана до підсилювача з перетворювачем, крім того схема включає в себе вимірювально-реєструючий пристрій, виконавчу схему і джерело живлення.

Пристрій з похибкою яка не перевищує 0,5% підтримує температуру 130 °С, 170 °С, 210 °С, 270 °С. По мірі збільшення температури в камері, наростаюча електрорушійна сила термопарі поступає на перетворювальний каскад підсилювача постійного струму на транзисторах, робоча точка яких зміщується, а амплітуда імпульсів на опорі R9 зростає.

Підсилена каскадом підсилювачів VT 1, VT2 змінна напруга через опори R20 – R23 поступає на VD9, VD10 і регулюється мікроамперметром М-24, в шкалу якого вмонтований фотодіод.

Освітлення фотодіода відбувається з допомогою мініатюрної лампочки розжарювання. Якщо стрілка, відхиляючись, замкне фотодіод, його опір збільшиться, зміщення на базах транзисторів виконавчої схеми VT4, VT5 змінюється, появляється струм в обмотці реле К1, його контакти розмикають ланцюг живлення камери.

Зменшення температури в камері змушує стрілку амперметра відхилятися. Фотодіод знову освітлюється, реле К1 відключається і в камеру знову поступає напруга.

Точність підтримання температури збільшується підсилювачем електрорушійної сили термопарі, так як чутливість прибору зростає і розширює діапазон регулювання в інтервалі більш низьких температур, де електрорушійна сила термопарі мала.

Схема настраюється по максимальній вихідній напрузі при найменшій температурі камери. Вихідний стан схеми регулюється опором R19.

Калібровка пристрою проводиться потенціометричним мостом постійного струму КП-59 шляхом підгону опорів R20-R23.

При живленні від нестабільної мережі модулюючу напругу, яку подаємо на перетворювальний каскад VT1, необхідно знімати зі стабілітрона, ввімкнувши його паралельно в коло подільника напруги R8-R10.

2.8. Обґрунтування необхідності проєктування нестандартного обладнання, що входить в автоматизовану виробничу систему

Для забезпечення функціонування автоматизованого виробничого комплексу виникає потреба в інтеграції нестандартних технічних засобів, зокрема транспортних пристроїв, у якості яких буде впроваджено пластинчастий ланцюговий транспортер.

Ключовою специфікою засобів неперервного транспорту є виконання операцій прийому та видачі вантажів «на ходу», тобто без призупинення поступального руху їхнього головного тягово-несучого органу.

Агрегати неперервної дії виступають базовим елементом для реалізації наскрізної автоматизації складських та транспортних операцій у межах загального технологічного циклу, що безпосередньо підвищує загальні техніко-економічні показники підприємства.

У структурі гнучких автоматизованих комплексів системи потокового транспортування позиціонуються як невід'ємний компонент основного парку технологічного устаткування, який суттєво впливає на загальну рентабельність та безперебійність роботи всього підприємства.

Під час підбору конкретних моделей транспортних засобів аналізують комплекс таких параметрів: задану пропускну здатність, просторову протяжність і траєкторію руху, фізико-хімічні властивості переміщуваних об'єктів, особливості виробничого регламенту, обсяг первинних інвестицій, а також фінальні експлуатаційні витрати.

2.9. Вибір принципових схем та розрахунок елементів нестандартного обладнання

У промисловому виробництві широко використовують пластинчасті конвеєри. Вони застосовуються для транспортування сипучих, поштучних та волокнистих вантажів та матеріалів. Максимальна довжина конвеєрів до 2 км, продуктивність до 2 т/год.

Велика міцність і невеликі витягування ланцюгів дають змогу виготовляти пластинчасті конвеєри будь-якої довжини. Позитивні якості конвеєрів такі: висока надійність, можливість транспортування широкого асортименту вантажів з різним кутом підйому траси, забезпечують безперевантажувальне переміщення матеріалів на будь-яку відстань ланцюг типу ДЖО дає можливість

зручно і надійно закріплювати вантажонесучі і ходові елементи конвеєра, забезпечують надійну передачу тягової сили завдяки забезпеченню ланок ланцюга із зірочками і мало витягується під навантаженням. Швидкість ланцюга конвеєра звичайно не перевищує $(0,1 - 0,6)$ м/с.

Пластинчастий конвеєр конструктивно виконаний у вигляді замкнутого безперервного полотна, основу якого формують два паралельно розташовані тягові ланцюги. На цих ланцюгах зафіксовані поперечні металеві або пластикові пластини, призначені для переміщення поштучних матеріалів та вантажів. Ланцюгові контури огинають блоки приводних та натяжних зірочок, а в ролі опорних елементів для пластин і ланцюгового полотна виступають спеціальні ходові ролики, що переміщуються по напрямних.

Вивантаження транспортіваних об'єктів із конвеєра здійснюється через кінцеві зірочки безпосередньо в будь-який адаптований приймальний бункер або лоток. Передача обертового моменту від приводного електродвигуна на головний вал реалізується, як правило, за допомогою циліндричного чи черв'ячного редуктора, а також проміжної ланцюгової або клинопасової передачі.

На відміну від систем стрічкового типу, де натяжний вузол є критично важливим для передачі рушійної сили за рахунок фрикційного зчеплення (тертя), у пластинчастих агрегатах тягове зусилля транслюється безпосередньо шляхом механічного зачеплення зубів зірочки за ланки ланцюга. З цієї причини показник попереднього натягу встановлюється на мінімальному

рівні (в межах від 0,5 до 3 кН), що необхідно виключно для усунення критичного провисання робочого органу на холостих ділянках.

Проведемо розрахунок технічних параметрів та навантажень для даного конвеєра.

Основними технічними параметрами конвеєрів, що транспортують поштучні вантажі є:

а) продуктивність $Q=300$ шт/год;

б) властивості транспортуючого вантажу:

- вага $\gamma_p=0,1$ кг;

- кут природнього відкосу в спокої φ_n^0 ;

- коефіцієнти тертя вантажу до стрічки та сталі відповідно становлять: $f_1=0,56$; $f_2=0,75$;

в) траса конвеєра:

- довжина $L=4,50$ м;

- кут нахилу конвеєра до горизонту $\beta=0^0$;

- розвантаження здійснюється з кінцевого барабану.

Оскільки загальний опір руху завантаженої стрічки $W_0<0$, то привід конвеєра розмістимо у хвостовій частині (рис. 2.4)

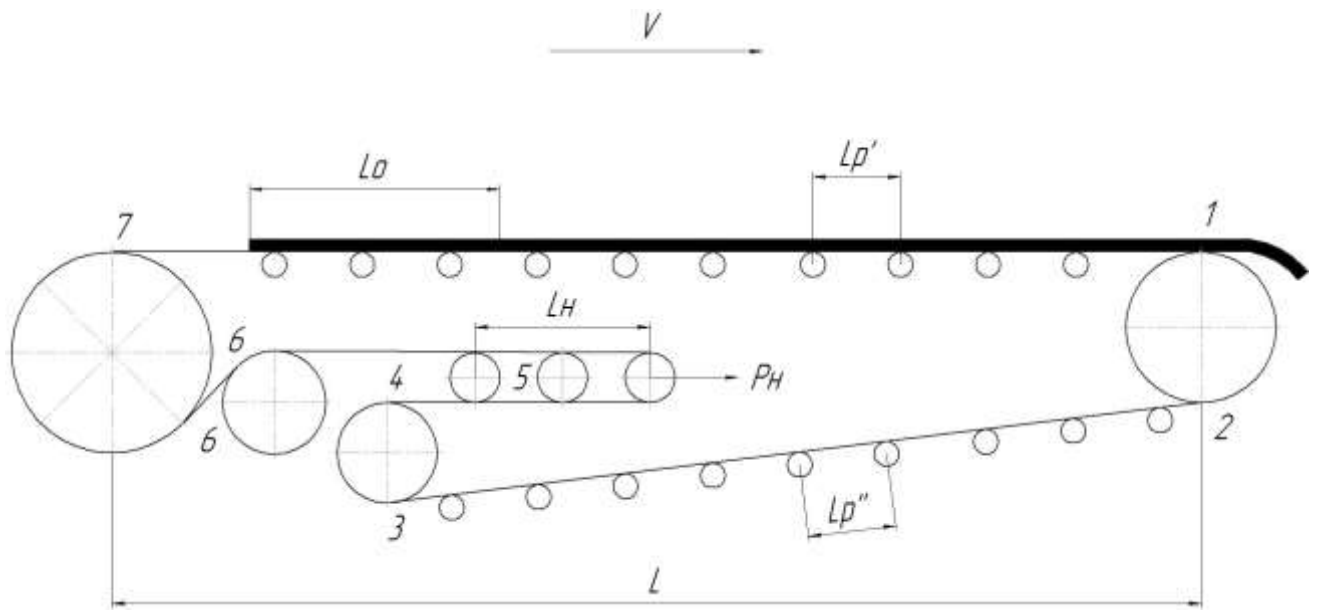


Рисунок 2.4 – Схема стрічкового конвеєра

На початковому етапі доцільно виконати орієнтовний розрахунок конвеєра, оскільки такі основні вихідні дані, як кількість прокладок тягового органу, лінійна швидкість переміщення та ширина робочого полотна, наразі залишаються невідомими. З огляду на це, під час проведення попереднього розрахунку доводиться заздалегідь приймати базові параметри на основі емпіричних даних та нормативних рекомендацій з подальшим їх уточненням.

Здійснимо визначення ширини стрічки. Вона є основним, найдорожчим (приблизно половина вартості конвеєра) і найменш довговічним елементом конвеєра. Стрічка повинна володіти міцністю, гнучкістю, обмеженим видовженням, зносостійкістю робочої поверхні.

Найбільшого застосування одержали прорезинені конвеєрні стрічки, які складаються з каркасу (набору прокладок), який знаходиться між резиновими обкладками.

Ширину стрічки визначаємо з врахуванням заданої продуктивності. Ширина стрічки: [4, 26]

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{K_y \cdot C \cdot g \cdot y_p}} + 0,5 \right) \quad (2.14)$$

де Q – продуктивність, $Q=300$ шт/год;

C – коефіцієнт продуктивності, $C=360$ [4, 27]

g – швидкість руху стрічки, $g=1.5$ м/с;

K_y – коефіцієнт для проектування розрахункової продуктивності, $K_y=1$

$$\Lambda[m(r,t)] = \ln \frac{Wn[S(r,t) \cdot m(r,t)]}{Wn[S(r,t)]}$$

$$B = 1,1 \cdot \left(\sqrt{\frac{300}{1 \cdot 360 \cdot 1,5}} + 0,05 \right) = 0,07 \text{ м}$$

При куті нахилу бокових роликів жолобчатих роликів опор 30° приймаємо стрічку з лавсану [4, 28]

Число прокладок стрічки:

$$i = \frac{S_8 \cdot n}{\delta p \cdot B} \quad (2.15)$$

S_8 – максимальний натяг стрічки, $S_8=492$ м;

n – допустимий коефіцієнт запасу міцності, $n=10$;

B – ширина, мм, δp – міцність стрічки, $\delta p=120$ Н/мм;

$$i = \frac{492 \cdot 10}{120 \cdot 0,07} = 3$$

Визначимо розміри барабана. Барабани можуть бути провідними і натяжними. Барабани виконуються зварними з листової сталі. Діаметр барабану вибирають з умови забезпечення достатньої довговічності стрічки в залежності від числа прокладок. Діаметр привідного барабану:

$$D_{\phi} = a_1 \cdot i \quad (2.16)$$

де $a_1=125...240$ – для стрічки з прокладками із синтетичної тканини.

$$D_{\phi} = 375 \text{ мм}$$

Максимальний питомий тиск між стрічкою і барабаном:

$$P = \frac{2 \cdot S_7}{D_{\phi} \cdot B} \leq [P] \quad (2.17)$$

$$P = 0,2 \text{ кгс/см}^2$$

Діаметр кінцевого і натяжного барабанів:

$$D_1 = 0,8 \cdot D_5$$

$$D_1 = 0,8 \cdot 375 = 300 \quad (2.18)$$

Діаметр відхиляючого барабана:

$$D_2 = 0,65 \cdot D_5$$

$$D_2 = 0,65 \cdot 375 = 247 \text{ мм} \quad (2.19)$$

Довжина барабанів:

$$L_6 = B + a_5 \quad (2.20)$$

де $a_5 = 100 \text{ мм}$ [4, 29]

$$L_6 = 100 + 100 = 200 \text{ мм.}$$

Число обертів привідного барабана:

$$n_6 = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} \quad (2.21)$$

$$D = D_5 + 2 \cdot \Delta\Phi \quad (2.22)$$

де $\Delta\Phi$ – товщина резинової футерівки, $\Delta\Phi = 28 \text{ мм}$.

$$D = 0,4 \text{ м}$$

$$n_6 = 55 \text{ об/хв}$$

Передаточне число редуктора приводу:

$$i_p = \frac{n}{n_o} \quad (2.23)$$

де n – частота обертання двигуна,

$$i_p = 12,5$$

Розрахункова потужність редуктора (типу КДВ-250 М1)

$$N_p = K_p' \cdot N_2 \quad (2.24)$$

де K_p – коефіцієнт умов роботи,

$$N_p = 1,25 \cdot 0,25 = 0,28 \text{ кВт}$$

Фактична швидкість руху стрічки:

$$v = \frac{\pi D n}{60 \cdot i_p} = \frac{\omega \cdot R}{i_p} \quad (2.25)$$

$$v = 1,2 \text{ м/с}$$

Так як дійсна швидкість руху стрічки майже не відрізняється від раніше прийнятої, то уточнений розрахунок проводити не потрібною

Здійснимо визначення натягу стрічки. Графічно зображаємо трасу конвеєра і контур тягового органу, який розбиваємо на прямолінійні і криволінійні ділянки. (рис. 2.4)

Для визначення натягу в стрічці застосовуємо метод тягового розрахунку по контуру. Для подальшого розрахунку необхідні погонні навантаження:

а) від вантажу, що транспортується:

$$q = \frac{Q}{3,6 \cdot v} \quad (2.26)$$

$$q = 6,9 \text{ кгс} / \text{м}$$

б) від ваги частин роликів, що обертаються:

- робочої гілки:
$$q'_n = \frac{G'_p}{l'_p} \quad (2.27)$$

$$q'_n = 5 \text{ кгс} / \text{м}$$

- холостої гілки:

$$q''_n = \frac{G''_p}{l''_p} \quad (2.28)$$

$$q''_n = 2,5 \text{ кгс} / \text{м}$$

де l'_p - відстань між роликівими опорами на робочій гілці.[4, 30]

l''_p - відстань між роликівими опорами холостої гілки. [4, 5]

G_p – вага частин роликів опор, що обертаються відповідно для підтримання робочої і холостої гілок.

Визначаємо вагу стрічки, задавшись числом прокладок $i=3$ по формулі:

$$q_0 = 1,1 \cdot B \cdot (\delta \cdot i + h_1 + h_2) \quad (2.29)$$

де δ - товщина прокладки, $\delta=1.25$ мм;

h_1 – товщина верхньої обкладки, $h_1=4$ мм;

h_2 – товщина нижньої обкладки, $h_2=2$ мм.

$$q_0 = 1,0 \text{ кг} / \text{м}$$

Мінімальний натяг стрічки в точці 1 – S_1 , $S_1 = 2,5$ кгс

$$S_2 = K \cdot S_1 \quad (2.30)$$

де $K=1.03$ [4, 30–32],

$$S_2 = 2,6 \text{ кгс}$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = 1,0 S S_1 + q_0 L (\omega' \cdot \cos \beta + \sin \beta) + q_p'' \cdot L \cdot \omega' \quad (2.31)$$

$$S_4 = K \cdot S_3 \quad (2.32)$$

$$S_4 = 3,14 \text{ кгс}$$

$$S_5 = K \cdot S_4 \quad (2.33)$$

$$S_5 = 3,25 \text{ кЗс}$$

$$S_6 = K \cdot S_5 \quad (2.34)$$

$$S_6 = 3,4 \text{ кЗс}$$

$$S_7 = S_6 \cdot C^{f\alpha} \quad (2.35)$$

$$S_7 = (1,19 \cdot 2,5 + 0,46) \cdot 2,71^{0,035 \cdot 0,214} = 3,6 \text{ кЗс}$$

При таких натягах стрічки привід буде працювати дещо з більшим запасом по тяговій здатності. Далі побудуємо діаграму натягу стрічки конвеєра (рис. 2.5)

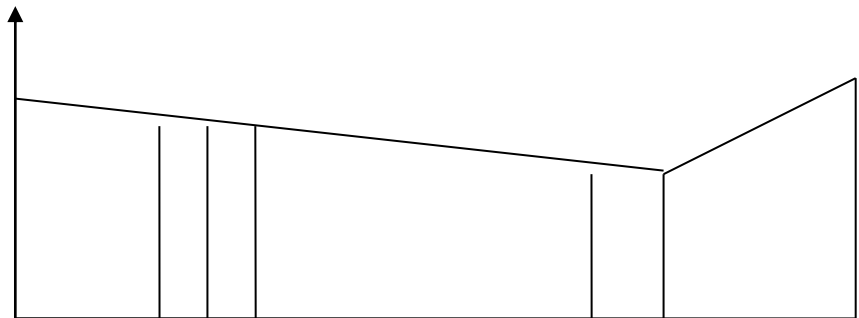


Рисунок 2.5 – Діаграма натягу стрічки конвеєра.

Потужність двигуна, що працює в генераторному режимі:

$$N_2 = \frac{W_0 \cdot v \cdot \eta_m}{102} \quad (2.36)$$

де η_m – коефіцієнт корисної дії проводу

$$N_2 = 0,25 \text{кВт}$$

Здійснимо перевірку на проведення стрічки між роликowymi опорами. Для зменшення величини провисання стрічки конвеєра, між його барабанами встановлюють роликові опори або настили.

Виготовлення настилів з дерева чи листової сталі простіше і дешевше роликowych опор, але рух стрічки по настилах призводить до сильного зношення стрічки і до збільшення розходу енергії. Верхні (робочі) роликові опори підтримують навантажену гілку стрічки, а нижні (холості) – нижню гілку стрічки.

Відстань (крок) між робочими роликowymi опорами:

$$l_p = A - 0,625B \quad (2.37)$$

де A – коефіцієнт при густині вантажу менше 1 т/м^3 ,

B – ширина стрічки.

$$l_p = 112,5 \text{мм}$$

Крок роликowych опор холостої гілки стрічки конвеєра:

$$l_x = 2 \cdot l_p \quad (2.38)$$

$$l_x = 225 \text{мм}$$

На робочій гілці стрічки в місці мінімального натягу провисання l_{max} між роликowymi опорами

$$l_{\max} = \frac{(q + q_0) \cdot l_p^2}{8I_{\min}} \quad (2.39)$$

q - вага транспортуемого вантажу,

q_0 – погонна вага стрічки.

$$l_{\max} = 6 \text{ мм}$$

2.10. Розрахунок приводу стрічкового конвеєра

Кінематична схема стрічкового конвеєра (рис. 2.6), а саме його привод складається із привідного барабану 1, відхилюючого барабану 2, редуктора 3, проміжного валу 4 і електродвигуна 5.

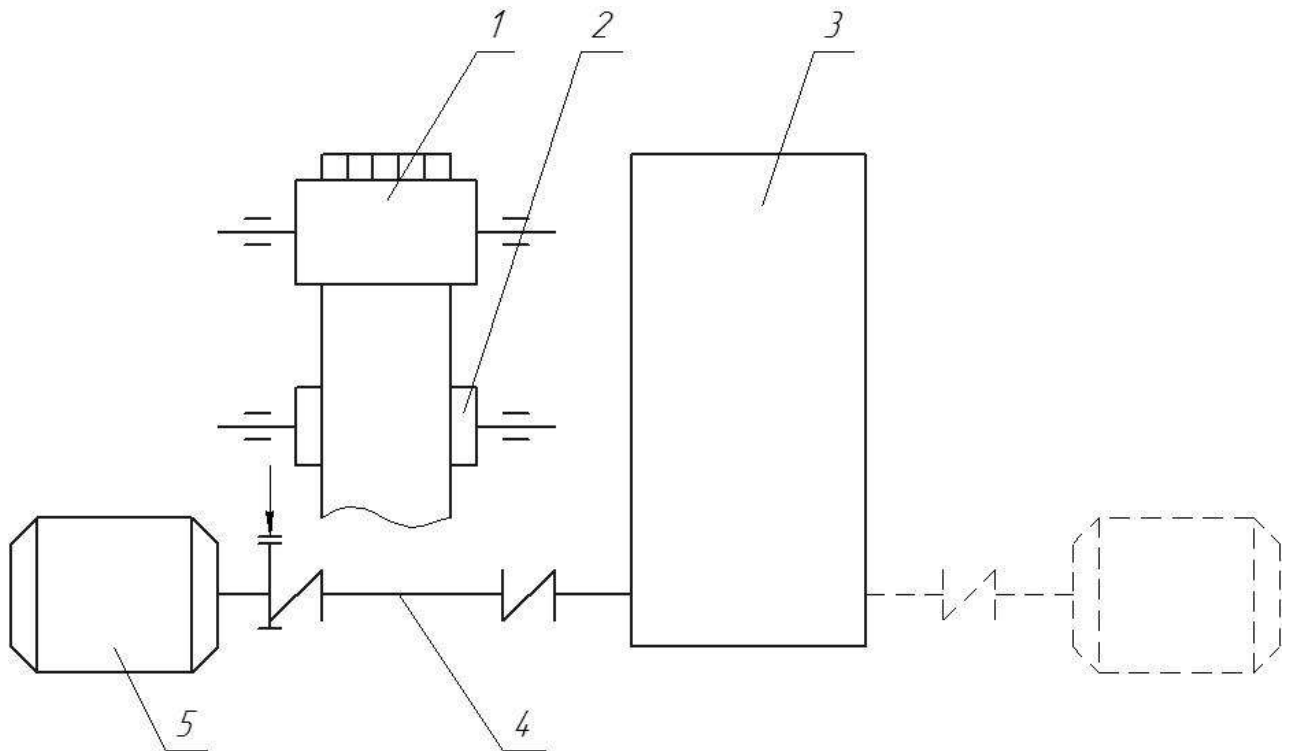


Рисунок 2.6 – Схема приводу стрічкового конвеєра

Вибираємо електродвигун 4А 71В [4, 7] потужністю 0,25 кВт при частоті обертання 750 об/хв. Розрахункова потужність редуктора:

$$N_p = K_p' \cdot N_2 \quad (2.40)$$

$$N_p = 1,25 \cdot 0,25 = 0,28 \text{ кВт}$$

Тип редуктора КДВ – 250 М1 [4, 8]

2.11. Розроблення функціональної та електричної принципової схеми системи керування

Проведемо технічний опис мікропроцесорної системи керування, представленої на слайді 8 графічної частини роботи. Як центральний пристрій системи застосовано 8-розрядний мікропроцесор K580BM80. Вибір даного обчислювального компонента обґрунтований помірною складністю та детермінованістю алгоритмів, що реалізуються в межах даного комплексу. До базових операцій процесора належать:

- циклічне опитування та зчитування інформаційних сигналів із первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків);
- квантування та оцифрування отриманих аналогових величин за допомогою інтегрованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП);
- реєстрація та буферизація архівованих даних в оперативній пам'яті (ОЗП) з їх подальшим логіко-математичним аналізом;
- трансляція сформованих командних директив у буферний порт виведення, до якого комутуються виконавчі органи та сервомеханізми, що забезпечують безпосередню автоматизацію процесу позиціонування та контролю встановлення радіоелементів на посадочні місця друкованої плати.

Генерація та фіксація системних сигналів керування шиною здійснюється за допомогою регістра слова, побудованого на базі 8-розрядної мікросхеми-засувки KP580IP82.

Цей буферний регістр тактується вихідним сигналом синхронізації SYN мікропроцесора. Завдяки цьому на стартовій фазі кожного машинного циклу в його тригери заноситься поточне слово стану процесора (STATUS). Цей байт чітко дешифрує та визначає тип поточного системного циклу: звернення до оперативної пам'яті на запис/зчитування, або виконання операцій введення/виведення через відповідні порти периферійних пристроїв.

Формування тактових сигналів роботи мікропроцесора забезпечується генератором тактових імпульсів KP580ГФ24. Дані імпульси формуються на лініях C_1 , C_2 і зсунуті між собою по фазі, амплітудою 12 В, частота (0.5..2) МГц. Генератор забезпечує:

- формування сигналів готовності на лінії RDY;
- формування сигналів початкового скидання в нуль на лінії SR;
- синхронно до імпульса на вході SYN формує імпульс STB, по якому байт стану з лінії $D_0..D_7$ мікропроцесора записується в системний контролер DD3.

Системний контролер DD3 формує в залежності від коду (байта стану), тобто в залежності від циклу роботи мікропроцесорної системи, керуючі сигнали для обміну даними з пам'яттю: MEMR, MEMW і пристроями вводу-виводу: IOR, IOW. Крім того системний контролер формує схему керування, крім лінії

НАСК, які формуються мікропроцесором. Типовий блок пам'яті побудований на мікросхемах КР556РТ5.

2.12. Розроблення принципів електричних схем для спряження системи керування з технологічним обладнанням

Схема спряження системи технічного зору і виконавчого механізму показана на слайді 11 графічної частини. В її склад входить фазозсувна ланка, яка призначена для зсуву фаз мережі на 60° одна відносно одної. Вона виконана у вигляді РС ланок.

Даний блок живиться трифазною напругою, тому імпульси відмикання будуть залежати від трифазної мережі. В даній схемі використовується трифазний трансформатор, задачею якого буде пониження напруги мережі до напруги, якою можуть керуватися мікросхеми.

Щоб дані мікросхеми прийняли напругу, як логічну одиницю, потрібно на її вхід подати близько 5 В. Тому даний трансформатор понижує фазну напругу 220 В до 5 В.

Імпульси від трансформатора поступають на логічні елементи множення. Які мають два входи.

На один вхід через резистор постійно подається логічна одиниця, а інший рівень логічної одиниці надходить від трансформатора через певний проміжок часу.

Для того щоб сформувати імпульси через 60° використовують пряме підключення логічного елемента і через конденсатор формується затримка на 60° . Тобто на виході логічної

схеми з'являється логічна одиниця, лише тоді, коли заряджається конденсатор.

Функція руху реалізується в блоці руху. Даний блок видає сигнал на виході залежно від вхідних сигналів. Коли на вхід блоку приходить комбінація, то на виході маємо сигнал логічної одиниці, який дозволяє рух.

Блок реверсу працює аналогічно блоку руху, але сигнал логічної одиниці з'являється коли на вхід блоку приходить кодова комбінація, при якій двигун має рухатись за годинниковою стрілкою. Коли з виходу даного блоку приходить логічний нуль, двигун починає рухатись проти годинникової стрілки.

Для узгодження блоків руху і реверсу з регістром, розроблено блок керування кільцевим регістром. Він формує сигнали у відповідності від вхідних сигналів у блоці руху і реверсу і подає їх на входи регістра. У відповідності до комбінації міняється напрям зчитування даних з регістра.

Коловий регістр є центральним блоком схеми регулятора. До нього надходять сигнали з інших блоків схеми, аналізуючись вони передаються на силову схему. Кільцеві регістри з'єднані послідовно, так як в схемі потрібно використати шість розрядів, а одна мікросхема – чотирирозрядна.

Даний універсальний чотирирозрядний регістр дає можливість не тільки записувати інформацію паралельно, але і зсувати її вправо або вліво.

Входи D1..D4 призначені для приймання інформації в паралельному коді. Окремі входи передбачені для подачі сигналів при послідовному записі та зсуві вправо (у бік зростання номерів

розрядів) – вхід DR, або вліво (у бік зменшення номерів виходів) – вхід DL. Функціональний стан пристрою визначається через керуючі входи SR і SL, а синхронізація та початкове встановлення здійснюються через входи подачі тактових імпульсів C та скидання R.

При надходженні рівня логічного нуля на асинхронний вхід R внутрішні тригери регістра примусово переводяться в нульовий стан. Низький потенціал (логічний нуль) на цьому вході формується тоді, коли на виході координатного блока системи також присутній нуль. Коли ж на вхід R подається логічна одиниця, регістр виходить із режиму скидання, і його подальший режим роботи повністю визначається комбінацією сигналів на керуючих входах SR і SL.

Залежно від комбінації сигналів на входах керування, передбачені такі режими роботи мікросхеми:

- Послідовний запис із зсувом вправо: Реалізується за умови подачі рівня логічної одиниці на вхід SR та рівня логічного нуля на вхід SL. При цьому по спадах імпульсів від'ємної полярності (перехід від 1 до 0) на тактовому вході C інформація, що надходить на вхід DR, покроково записується в перший розряд і зміщується вправо.

- Послідовний запис із зсувом вліво: Якщо на керуючий вхід SL діє рівень логічної одиниці, а на вхід SR – логічний нуль, то кодування даних здійснюється через послідовний вхід DL із подальшим зсувом інформаційного слова вліво по кожному активному тактовому зрізу.

- Паралельне завантаження: При встановленні високого рівня (логічної одиниці) одночасно на обох керуючих входах SR і SL у момент спаду синхронізуючого імпульсу на вході С забезпечується миттєвий паралельний запис інформаційних даних із вхідних ліній D1..D4 безпосередньо у відповідні тригери регістра.

- Режим зберігання (блокування): Якщо на обох входах керування SR і SL утримується рівень логічного нуля, то будь-які динамічні зміни сигналу на тактовому вході С ігноруються, і внутрішні тригери регістра не змінюють свого поточного стану, надійно зберігаючи записану інформацію.

Використання з'єднання двох регістрів здійснено з метою збільшення кількості входів і виходів для одержання восьмирозрядного реверсного зсувного регістра.

Інформація на коловий регістр поступає від фазового блоку. Він забезпечує постійне оновлення інформації в кільцевому регістрі.

Коли з блоку керування поступає інформація про те, що в регістр потрібно записати дані, то вони записуються з фазозсувного блоку. Код, який поступає від даного блоку несе інформацію про послідовність вмикання обмоток двигуна.

Регулювання частоти обертання двигуна забезпечується двома генераторами, подільником частот і мультиплексором, які зв'язані з кільцевим регістром.

Подільник частот ділить частоти генераторів на певне число, щоб забезпечити мультиплексор, а відповідно і регістр необхідними частотами.

Мультиплексор комутує у відповідності до вхідних сигналів подільник частоти і кільцевий регістр. Певна частота, яка йде від подільника частот змушує працювати регістр на даній частоті, а частота роботи регістра в свою чергу зв'язана з частотою обертання виконавчого механізму.

Силова схема регулятора реалізована на підсилювачах на транзисторах, робота яких узгоджена повністю з кодовою інформацією на вході регулятора.

3. Спеціальна частина

3.1. Розроблення математичної моделі розпізнавання зображення в автоматизованій системі технічного зору

Система технічного зору представляє собою єдиний комплекс апаратних і програмних засобів, які забезпечують аналіз зображення з метою автоматизації різних технологічних процесів. Тому архітектура програмного забезпечення визначається в першу чергу використовуваними алгоритмами обробки зображень, а також розподіленими функціями між апаратними і програмними засобами їх реалізації.

Управління встановлення радіоелементів на друковану плату здійснюється за допомогою камери, яка входить у склад системи технічного зору, а вирівнювання здійснюється по вирівнюючим міткам.

На заготовці друкованих плат повинні бути розміщені не менше двох базових оптичних реперів (міток), які розташовані на відстані 10 мм від країв плати.

Репірний знак – це елемент друкованої плати, призначений для суміщення багатовивідного електронного компонента з контактними площадками друкованої плати при автоматизованому встановленні компонентів на плату.

Розглянемо докладніше процеси, які проходять при аналізі зображення елемента в системі технічного зору.

Формування зображення

По способу використання формовані зображення призначені для візуального сприйняття людиною, автоматичної обробки і прийняття рішень, а також автоматизованої обробки і прийняття рішень. При формуванні зображення не минуче виникають спотворення як за рахунок недосконалості технічних засобів, так і через методичні похибки. Тому при подальшій обробці і аналізі зображення важлива роль належить моделям формування зображень.

Найбільш широко використовується сама проста і водночас ефективно працююча лінійна модель. В якій вихідні $S(x;y)$ і перетворені $t(x;y)$ функції зображення пов'язані залежністю: [7, 9]

$$f(x, y) = \iint S(u, v)h(x, u, y, v)dudv \quad (3.1)$$

де $h(x,u,y,v)$ – імпульсна перехідна функція лінійної системи.

Різного роду спотворення, які виникають при роботі, описуються такими передаточними функціями:

$$H(\omega) = \frac{j_1(a\omega)}{a\omega} \quad (3.2)$$

де $j(x)$ - функція Бесселя першого роду;

a – степінь дефокусування.

Ідеальне дифракційне обмеження:

$$H(\omega_x, \omega_y) = \text{rect}\left(\frac{\omega_x}{\Omega_x}\right) \text{rect}\left(\frac{\omega_y}{\Omega_y}\right) \quad (3.3)$$

де Ω_x, Ω_y – верхні границі просторових частот по координатах ω_x, ω_y відповідно, за межами яких модуль спектра рівний нулю.

З математичної точки зору формування зображення полягає у представленні вхідного оптичного зображення у вигляді дискретної функції яскравості: $g(i, j)$.

В залежності від кількості видієних значень функції $g(i, j)$, які називаються градаціями яскравості, розрізняють багатоградаційні (двоградаційні) зображення. Формування зображень здійснюється у відповідності з виразом:

$$g'(i, j) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } g(i, j) \geq G_0 \\ 1, & \text{якщо } g(i, j) < G_0 \end{cases} \quad (3.4)$$

де G_0 – деяке порогове значення.

Як правило, G_0 являє собою постійну для всього зображення величину, яка обчислюється по гістограмі частот значення функції $g(i, j)$.

При нерівномірному освітленні, неоднорідності матеріалу елементів і фоновій поверхні і при дії інших спотворюючих факторів доцільно використовувати локальні і динамічні пороги:

$$G_0 = G_0(g(i, j), N(i, j)) \quad (3.5)$$

$$G_0 = G_0(i, j, g(i, j), N(i, j)) \quad (3.6)$$

де N – функція деяких локальних властивостей елемента зображення.

Попередня обробка зображення

Процес формування графічних даних неминуче супроводжується появою різноманітних спотворень, зумовлених конструктивною недосконалістю апаратних засобів, а також впливом флуктуаційних шумів та зовнішніх завад. Передбачається, що фінальна стадія реєстрації відеосигналу завершується його дискретизацією та квантуванням, тобто представленням об'єкта у цифровій формі.

Попередня обробка отриманого масиву даних орієнтована на підвищення візуальної та конструктивної якості цифрового кадру перед його передачею на наступні етапи аналізу та розпізнавання. Зазвичай цей етап охоплює такі базові операції:

- Корекція рівнів яскравості: вирівнювання та нормалізація оптичної щільності й контрасту по всій площі кадру для усунення наслідків нерівномірного освітлення робочої зони.
- Фільтрація та пониження шумів: застосування просторових та частотних цифрових фільтрів для придушення імпульсних, адитивних або мультиплікативних перешкод.
- Трансформація (перетворення) зображення: геометричне, амплітудне або логіко-математичне переформатування матриці пікселів (наприклад, бінаризація, виділення контурів чи

масштабування) з метою підготовки кадру до детектування ключових ознак.

Корекція рівнів яскравості дозволяє усунути систематичні спотворення вихідного зображення, які носять адитивний або мультиплікативний характер: [7, 10]

$$F(x, y) = S(x, y)E(x, y) + N(x, y) \quad (3.7)$$

де $E(x, y)$ – мультиплікативні спотворення;

$N(x, y)$ – фон (адитивна добавка).

Сегментація зображення

Сегментація – це операція розбиття вихідного зображення на області, кожна з яких володіє якимись особливими властивостями. В математичному плані сегментація представляє собою оператор перетворення, який переводить функцію яскравості $S(x, y)$ вихідного зображення у функцію $S_c(x, y)$ сегментованого зображення, причому остання являє собою кінцеву множину поіменованих однорідних областей.

$$\begin{aligned} \{S(x, y) = S_c(x, y), \\ \{S_c(x, y) = \lambda_i n_{pi}(x, y) \in S_i, i = 1, 2..R \end{aligned} \quad (3.8)$$

Виявлення на зображенні елемента

Одним із основних етапів аналізу зображення є виявлення збільшених шумами і завадами спотворень у процесі формування образів елементів.

Операція знаходження таких об'єктів у загальній формі може бути представлена у вигляді порівняння з деяким числом – порогом іншого числа, отриманого в результаті перетворення математичного опису аналізованого зразка зображення, заданого функцією яскравості:

$$L[S(r,t)] \geq \Pi[S(r,t)] \quad (3.9)$$

де L – оператор математичного перетворення початкового зображення;

Π – оператор, що формує порогові значення.

При виконанні цієї умови приймається рішення про присутність шуканого об'єкта в полі зору, а в протилежному випадку – про його відсутність. Якість функціонування алгоритму виявлення (детектування) в теорії прийняття рішень традиційно оцінюється за допомогою двох взаємопов'язаних критеріїв:

а) ймовірністю правильного виявлення, яка рівна ймовірності виконання умови при наявності об'єкта;

б) ймовірністю хибної тривоги, яка рівна ймовірності виконання умови при відсутності об'єкта.

На практиці, для виявлення елементів відомої форми широко використовується метод співставлення з еталоном відповідно до теорії прийняття рішень. Необхідно сформулювати коефіцієнт

правдоподібності, рівний відношенню функціоналів густини ймовірностей при наявності й відсутності об'єкта, порівняти його з порогом Π_0 .

Для прийнятої моделі логарифм коефіцієнта правдоподібності рівний:

$$\Lambda[m(r,t)] = \ln \frac{Wn[S(r,t) \cdot m(r,t)]}{Wn[S(r,t)]} \quad (3.10)$$

де $m_n(r,t)$ – істинна просторово-часова форма об'єкта.

Процес встановлення радіоелементів на друковану плату проводиться паралельно з управлінням правильності їх встановлення за допомогою системи технічного зору.

Дана система дає можливість усунення наступних видів браку на платі:

- механічні пошкодження корпусів і виводів елементів;
- порушення покриття корпусів і виводів елементів;
- контроль правильності розташування ніжок на мікросхемах (чи вони не загнуті);
- контроль співпадання виробів елементів з контактними площадками на друкованій платі;
- контроль правильності розташування елементів відносно реперних знаків.

При знаходженні дефектного елемента здійснюють операцію демонтажу і замінюють їх на нові.

3.2. Обґрунтування структури автоматизованої системи технічного зору

Дана система технічного зору є лінійною і приймає одновірні зображення, що дає можливість пришвидшення розрахунків і здешевлення апаратури.

В якості датчиків в таких системах використовують телекамери. Одна з основних переваг такого процесу – простота освітлення досліджуваного об'єкта.

Об'єкт освітлюється тонким пучком світла, при цьому зникають проблеми пов'язані з видаленням відблисків.

Обробку інформації в таких системах проводять апаратно нескладними логічними ланцюгами. Вирівнювання компонента з допомогою технічного зору здійснюється методом відбитого світла, коли тінь компонента проєктується на камеру.

Оптичний потік від об'єкта фокусується на матриці перетворювача «світло-сигнал», де трансформується в аналоговий або дискретний електричний сигнал. У блоці первинної обробки цей сигнал підсилюється, проходить процедуру фільтрації та фіксується в буферній пам'яті.

Наступний модуль – пристрій аналізу зображення (вторинної обробки) – відповідає за логіко-математичний аналіз отриманої матриці пікселів. Його завдання полягає у виокремленні цільового об'єкта із загального фону, його ідентифікації (розпізнаванні), а також у точному розрахунку його просторової орієнтації та геометричних координат.

На основі розрахованих просторових даних контролер зв'язку з виконавчим механізмом генерує відповідні цифрові або аналогові команди керування. Ці директиви надходять на приводи робочих органів (наприклад, маніпулятора чи сервомотора), які здійснюють безпосередній, цілеспрямований фізичний вплив на об'єкт автоматизації.

Первинним сенсором у такій структурі виступає оптичний блок, суміщений із перетворювачем світлосигналу, що конструктивно реалізовано на базі промислової телекамери. Основні архітектурні компоненти цієї системи відображені на слайді 1 графічних матеріалів.

Головне призначення апаратних засобів первинної обробки – мінімізація сумарного часу, що витрачається на аналіз відеоданих. На цьому етапі відбувається експрес-фіксація кадру та локалізація його ключових геометричних маркерів (зокрема, швидке обчислення умовного центра мас об'єкта, визначення радіус-векторів від центра до контурних меж).

Завдяки цьому здійснюється початкове стиснення інформаційного потоку та представлення даних у компактному, стандартизованому вигляді, який є оптимальним для подальших складніших аналітичних операцій, що виконуються безпосередньо на ЕОМ або центральному процесорі системи.

Оскільки алгоритми попередньої фільтрації та сегментації жорстко враховують морфологічну специфіку конкретних виробів, пристрій первинної обробки, як правило, проектується як спеціалізований апаратний вузол (наприклад, на базі ПЛІС або сигнальних процесорів). Інтеграція таких автономних модулів

первинного аналізу в сучасних комплексах технічного зору продиктована суворими вимогами щодо забезпечення високої швидкості оброблення даних у реальному часі, технологічної гнучкості та високої роздільної здатності оптичних систем.

Пристрої вторинної обробки здійснюють розпізнавання зображення, тобто по його характерним ознакам визначають, до якого класу належить досліджуваний об'єкт.

На вхід пристрою поступає код зображення, отриманий на етапі первинної обробки. На виході утворюються керуючі команди, які перетворюються в подальшому контролером зв'язку у сигнали, які визначають переміщення і дію виконавчого механізму.

Дана система визначає такі геометричні характеристики як: висоту, довжину, площу, положення елемента в різних системах координат.

Структурна схема системи технічного зору подана на рис. 3.1.

Зображення контрольованого елемента 1 фіксується телекамерою 2. блок формування вихідних даних 3 реалізує метод перетворення сірого зображення в бінарне.

Блок виділення характеристик об'єктів 4 підраховує чорні і білі елементи зображення, на основі яких вираховуються описані геометричні характеристики.

Отримані значення порівнюють із збереженими в пам'яті еталонами в реальному масштабі часу.

Блок аналізу даних 5 порівнює результати вимірювань об'єкту з розмірами еталону. Отримані дані аналізуються блоком

прийняття рішень 6, який визначає чи бракований елемент, чи придатний для використання.

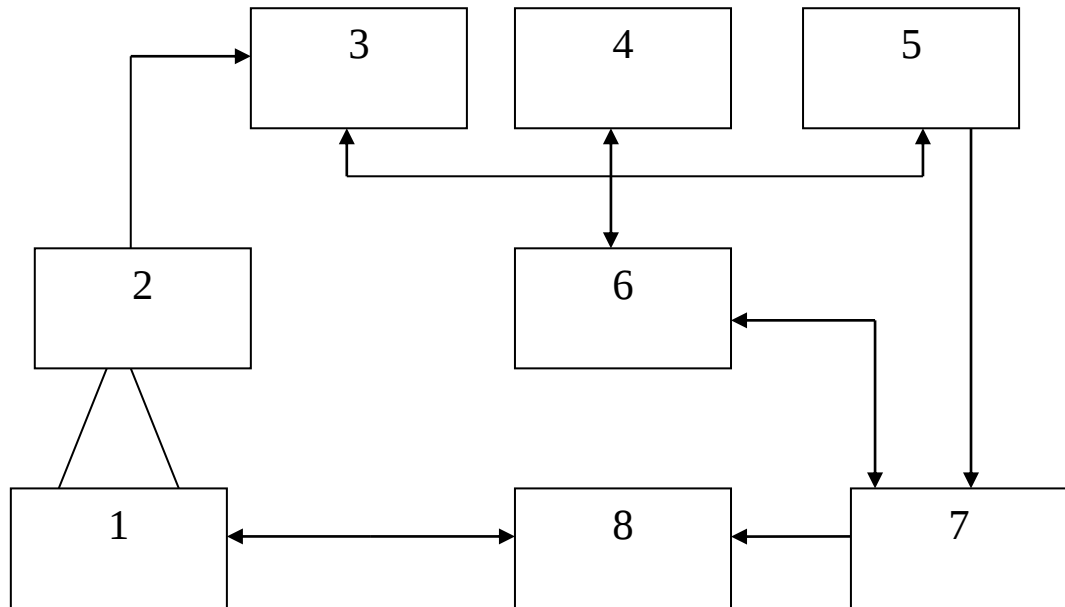


Рисунок 3.1 – Структура системи технічного зору

Існує можливість видачі обробленого зображення через блок спряження 7 на блок візуалізації даних і контролю 8. На монітор виводяться як і оброблені дані так і не оброблені відеосигнали, а також дані в цифровому вигляді.

При аналізі алгоритму роботи системи технічного зору і системи керування в цілому необхідно перш за все виділити наступні основні особливості, що визначають вибір тих чи інших алгоритмів в умовах сучасного промислового виробництва:

а) висока степінь детермінованості промислових об'єктів, що розпізнаються. В полі зору системи технічного зору знаходяться як

правило елементи з визначеними характеристиками, які змінюються дуже різко і у вузьких межах. Наявність такої детермінованості значно спрощує алгоритми обробки зображень;

б) необхідність функціонування в реальному масштабі часу в умовах змінної робочої обстановки. Робота в реальному масштабі часу накладає суттєві обмеження на час обробки інформації і відповідно на її об'єм.

При розробці алгоритму роботи системи технічного зору необхідно врахувати такі фактори:

- швидкодія алгоритму системи технічного зору повинна бути достатньою для обробки інформації реальному масштабі часу. На обробку даних з одного елемента необхідно затратити не більше 200 мс;

- необхідно передбачити контроль на відповідність еталону елемента;

- алгоритм обробки повинен носити універсальний характер, що дозволяє виробити загальний підхід до її розробки і реалізації;

- алгоритм системи повинен допускати просте внесення змін у його роботу. Необхідність цього пов'язана по-перше з тим, що йде постійна модернізація виробництва, а по-друге з тим, що будь-який автомат є багатоцільовою системою;

- якість отримуваних зображень повинна бути досить високою і допускати точні вимірювання;

- система технічного зору повинна бути нечутливою до завад і зміни освітленості;

- система технічного зору повинна мати невеликі розміри і малу масу.

Оскільки алгоритми обробки інформації в її повному об'ємі складні і вимагають великого об'єму пам'яті і часу, при створенні систем технічного зору потрібно зменшувати об'єм введених даних. Тому зображення повністю ідентифікують з допомогою декількох характерних точок. Такий підхід доволі точно враховує конкретну специфікацію елементів.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

4.1. Вплив шуму на організми і розробка заходів по його зниженню до допустимих величин для верстату чи обладнання, що проєктується

Різноманітні машини, механізми, апарати та інструменти, що використовуються у виробничих умовах у багатьох випадках є агрегатами, динамічно недостатньо зрівноваженими. Це, наприклад, двигуни внутрішнього згоряння, електродвигуни, вентилятори, компресори, верстати. Їх робота супроводжується шумом і вібрацією. Цей шум здійснює шкідливий вплив на здоров'я людей, понижує їх працездатність, веде до збільшення кількості нещасних випадків. Тому боротьба з виробничим шумом і їх шкідливим впливом на організм працюючих є однією з важливих проблем виробництва.

У виробничих умовах завжди має місце комплекс звуків різної інтенсивності і частоти, які знаходяться у невпорядкованому поєднанні і які прийнято називати шумом. З фізіологічної точки зору, шумом може бути названий будь-який небажаний звук (простий чи складний), який заважає сприйняттю корисних звуків (людської мови, сигналів), порушує тишу і здійснює шкідливий вплив на людину. Джерелом шуму у виробничих умовах є тверді, рідкі і газоподібні тіла. Їх коливання сприймаються органом слуху людини як звукові, якщо вони мають частоту в інтервалі (16-20) Гц до (16-20) кГц. Проте здатністю людського вуха є сприйняття високих частот з віком.

Шуми, які складаються із неупорядкованого поєднання звуків називаються статичними. Шуми з переважанням якогось тону – тональними. В залежності від середовища в якому поширюється звук, умовно розрізняють структурні і повітряні шуми. Структурні шуми виникають при безпосередньому контакті коливального тіла з частинами машини, трубопроводами і поширюються по них у вигляді хвиль.

Коливальні поверхні передають коливання прилягаючим до них частинкам повітря, утворюючи звукові хвилі. У тих випадках, коли джерело шуму не пов'язане з ніякими конструкціями, то випромінюваний шум носить назву повітряного.

По характеру зміни загальної інтенсивності у часі, шуми поділяються на імпульсні і стабільні. У імпульсного шуму здійснюється швидке наростання звукової енергії і швидкий спад. У стабільного шуму енергія у часі змінюється мало.

Діапазон звукового сприйняття людини складає приблизно 130 дБ. Шум інтенсивністю більше 130 дБ викликає біль у вухах. А при 140 дБ – порушення у слуховому апараті навіть при короткочасному впливові. Як і всі органи чуття, вухо в процесі сприйняття шуму в залежності від його характеру і сили адаптується із ним.

В процесі адаптації до сильних звукових подразників чутливість органів слуху до них знижується, а після припинення дії подразника – чутливість поновлюється. Якщо подразнення надмірно сильне і довготривале, настає стомлення. По своїй стомлюючій дії різні шуми не рівноцінні. Чим вище звук, тим вища його стомлююча дія. При впливі інтенсивного шуму звичайно виникає зниження слухової чутливості.

Досліди показують, що шум інтенсивністю більше 90 дБ навіть при відсутності високих частот викликає стомлюючу дію. Поряд із змінами у слуховому апараті шум здійснює негативний вплив і на деякі інші органи системи. Тривалий шум на нервову систему сповільнює швидкість нервових реакцій, понижує увагу і працездатність, викликає зсуви рівня кров'яного тиску, змінює ритм дихання, пульсу. Враховуючи шкідливий вплив шуму на організм людини, встановлені граничні рівні інтенсивності шуму на підприємствах і контроль за дотриманням норм.

Боротьба з шумом і його шкідливим впливом проводиться в трьох напрямках: зменшення шумоутворення конструктивними і технологічними заходами, зниження шуму шляхом обмеження його поширення засобами звукоізоляції і зменшення звукового впливу шуму засобами індивідуального захисту або зміною режимів праці і відпочинку.

Найбільш ефект дають конструктивні і технологічні заходи. До них відносять: удосконалення кінематичних схем, використання амортизуючих матеріалів, які запобігають передачі коливань від одних деталей – іншим. Важливу роль у боротьбі з вібраціями і шумом є правильний режим експлуатації обладнання, відповідний огляд і своєчасний поточний контроль.

Найбільш ефективними засобами боротьби з шумом є звукоізолюючі пристрої, які використовуються для повної ізоляції джерела від зовнішнього середовища.

Для захисту працюючих від прямого впливу звукової енергії, що випромінюється джерелом шуму, використовують відбиваючі екрани. Для індивідуального захисту робітників від шуму використовують

вставки, навушники, шоломи (для високого рівня шуму), спеціальне взуття на товстій підошві від вібрації.

4.2. Заходи по зниженню запиленості виробничих приміщень до гранично допустимих концентрацій

Виділенням пилі в повітрі супроводжується багато технологічних процесів. Вона може здійснювати негативний вплив на хід виробничого процесу і бути причиною псування продукції. В наслідок чого підприємства втрачають значну кількість цінної продукції. Запиленість здійснює негативний вплив також і на здоров'я працюючих. Промисловий пил, що викидається разом із вентиляційним повітрям, впливає на санітарний стан міст і населених пунктів, а отже, і на здоров'я населення. Деякі види пилі можуть бути причиною вибухів.

Найбільш важливі фізичні і хімічні властивості пилі обумовлюються їх дисперсністю, формою частинок і хімічним складом. Для гігієнічної оцінки пилі найбільш важливою ознакою є її дисперсність. З розміром пилових частинок пов'язана тривалість перебування їх у підвішеному стані у повітрі, глибина проникання у дихальні шляхи, фізико-хімічна активність і інші властивості. Пилові частинки розміром більше 200 мк, підлягаючи законам тяжіння не відчувають великого опору повітря і швидко осідають із зростаючим прискоренням. Пилові частинки розміром (0.1 – 200) мк, відчуваючи опір повітря, осідають з постійною незначною швидкістю.

Частинки пилі менше 0.1 мк практично не осідають і знаходяться в постійному хаотичному русі у повітрі. Таким чином, чим менший розмір пилових частинок, тим довше вони знаходяться у підвішеному стані у повітрі і тим більша можливість попадання їх в дихальні шляхи.

Від хімічного складу пилі залежить її біологічна активність, а саме та чи інша дія на організм людини: токсична, подразнююча хімічна активність пилі збільшується з підвищенням її дисперсності. Велике значення має розчинність пилі, якщо пил не токсична і дія її на тканину зводиться до механічного подразнення, то хороша розчинність такої пилі у тканинній рідині є сприятливим фактором. У випадку токсичності пилі, хороша розчинність є негативним фактором.

Пил здійснює шкідливий вплив головним чином на дихальні шляхи, викликаючи захворювання їх верхніх відділів та легень, а також діє на шкіру і очі.

При вдиханні пилових частинок розміром 5 мк і більше, вони повністю затримуються у верхніх дихальних шляхах, в першу чергу в порожнині носа. Це викликає травмування і подразнення слизової оболонки. Фільтруюча особливість носової порожнини тому сильно знижується, а в подальшому зовсім зникає.

Заходи по боротьбі з пилом на підприємствах і з її шкідливим впливом на організм людини повинні проводитись по наступним напрямкам:

а) корінна раціоналізація технологічного процесу, яка повністю попереджає утворення пилі;

б) максимальна герметизація апаратури, обладнання, транспортерів;

- в) заміна робіт з використанням сухих матеріалів роботами з використанням зволжених матеріалів;
- г) встановлення спеціальної пилевидаляючої вентиляції від місць утворення пилі;
- д) ізоляція апаратури, яка особливо створює пил, від ділянок інших робіт;
- е) систематичне прибирання приміщень вологим способом;
- є) забезпечення робочих протипиловим спецодягом, респіраторами, шоломами і окулярами;
- ж) створення на підприємствах умов для виконання працівниками заходів з особистості гігієни;
- з) професійний відбір осіб для роботи в цехах, де має місце запиленість повітря, які пройшли попередній і періодичний медичний огляд;
- и) встановлення особливого режиму і відпочинку (скорочений робочий день).

4.3. Вимоги до виробничого освітлення і його нормування

Світло діє на очі і через них на центральну нервову систему, кору великих півкуль мозку і на організм людини в цілому. Як природне так і штучне освітлення викликає підсилення діяльності дихальних органів, при цьому збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. При хорошому освітленні знімається напруження очей, пришвидшується темп роботи. світло збуджує діяльність організму.

Створення сприятливих умов праці, які виключають швидке стомлення зору, виникнення нещасних випадків і сприяючих підвищенню продуктивності праці, можливо тільки освітлювальною установкою, яка відповідає наступним вимогам:

а) Освітленість на робочому місці повинна відповідати зоровим умовам роботи згідно гігієнічних норм. Збільшення освітленості робочої поверхні покращує видимість об'єктів за рахунок підвищення їх яскравості, збільшує швидкість їх розрізнення, що відбивається на рості продуктивності праці. Однак існує межа при якій подальше збільшення освітленості майже не дає ефекту, тому потрібно покращувати якісні характеристики освітлення.

б) необхідно забезпечити достатньо рівномірний розподіл яскравості на робочій поверхні, а також в межах навколишнього простору. Якщо в полі зору знаходяться поверхні, що значно відрізняються між собою по яскравості, то при переведенні погляду з яскраво освітленої на слабо освітлену поверхню очі змушені переадаптовуватись, що веде до стомлення зору. Для підвищення рівномірності природного освітлення великих цехів здійснюється комбіноване освітлення.

в) На робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні. Наявність різких тіней створює нерівномірний розподіл яскравості в полі зору, викривлює розміри і форму об'єктів, в результаті підвищується втомлюваність, знижується продуктивність праці. Особливо шкідливі рухомі тіні. Які сприяють збільшенню травматизму. Тіні потрібно видаляти чи пом'якшувати.

г) В полі зору повинен бути відсутній прямий чи відбитий блиск. Блиск – підвищена яскравість поверхонь, яка викличе

порушення зорових функцій. Прямий блиск створюється поверхнями джерел світла, відбитий – поверхнями з великим коефіцієнтом відбивання. Обмеження прямого блиску досягається зменшенням яскравості джерел світла, правильним вибором захисного кута світильника.

д) Величина освітленості повинна бути постійною у часі, коливання освітленості, особливо якщо вони часті і мають велику амплітуду, кожен раз викликають переадаптацію очей і ведуть до значної стомлюваності. Постійність освітлення у часі досягається стабілізацією джерел живлення, жорстким кріпленням світильника.

е) слід обирати оптимальну направленість світлового потоку, що дозволяє в одних випадках роздивитися внутрішню поверхню деталей, а в інших – розрізнити рельєфність елементів робочої поверхні.

є) Необхідно вибирати необхідний спектральний склад світла. Ця вимога особливо важлива для забезпечення правильної кольоропередачі, а в окремих випадках для підсилення контрастів кольорів. Правильну кольоропередачу забезпечує природне освітлення і штучні джерела світла зі спектральною характеристикою, близькою до сонячної. Для створення контрастів кольорів використовують монохроматичне світло, яке підсилює одні кольори, а ослаблює інші.

ж) освітлювальна установка не повинна бути джерелом додаткових небезпек і шкідливостей. Необхідно звести до мінімуму тепловиділення, випромінюваний шум і пожежонебезпеку.

В діючих нормах штучного освітлення у виробничих приміщеннях задаються як кількісні (величина мінімальної освітленості, допустима яскравість в полі зору), які важливі для створення нормальних умов праці.

Величина мінімальної освітленості встановлюється згідно умов зорових робіт, які визначаються найменшим розміром об'єкту розрізнення.

У якості нормованої величини для природного освітлення прийнята відносна величина – коефіцієнт природної освітленості, який являє собою виражене в процентах відношення освітленості в даній точці всередині приміщення E_v до одночасної зовнішньої горизонтальної освітленості E_n , створеної розсіяним світлом всього небосхилу.

4.4. Перша допомога людині, яка уражена електричним струмом

Проходячи через організм, електричний струм спричиняє термічну, електролітичну і біологічну дію. Термічна дія виражається в опіках окремих частин тіла, нагріванні кровоносних судин, нервів. Електролітична дія виражається у розкладанні крові і інших органічних рідин, що викликає значне порушення їх фізико-хімічного складу.

Біологічна дія є особливим специфічним процесом, властивим тільки живій тканині. Вона виражається у збудженні живих тканин організму, що супроводжується скороченням м'язів, в тому числі м'язів серця і легень. Перша допомога при нещасних випадках від електричного струму складається із двох етапів: вивільнення потерпілого від дії струму і надання йому медичної допомоги.

Вивільнення потерпілого від дії електричного струму може бути здійснено декількома способами. Найбільш простий спосіб – це

відключення відповідної частини електроустановки. Якщо відключення здійснити по якійсь причині неможливо, то при напрузі до 1000 В можна перерубати провoda або відтягнути потерпілого від струмоведучої частини. При напрузі більше 1000 В слід використовувати діелектричні рукавиці, боти. Перша допомога потерпілому від електричного струму залежить від його стану. Якщо потерпілий при свідомості, але до цього був непритомний чи довший час знаходився під струмом, йому необхідно забезпечити повний спокій до прибуття лікаря або негайно відвезти у лікарню. Коли потерпілий втратив свідомість, але зберіглося дихання треба рівно і зручно положити його на м'яку поверхню, розтягнути пояс і одяг, забезпечити доступ свіжого повітря. Слід давати нюхати нашатирний спирт, побризкати водою, розтирати тіло. При відсутності ознак життя необхідно зробити штучне дихання і масаж серця.

Штучне дихання повинне бути здійснене негайно після звільнення потерпілого від дії струму і виявлення його стану. Воно повинно проводитись методами, відомими під назвою «з рота в рот» і «з носа в ніс». Ці методи полягають в тому що той хто надає допомогу вдуває повітря через свої легені в легені потерпілого через його рот чи ніс. В одну хвилину потрібно робити 10-12 вдювань. При відновленні в потерпілого самостійного дихання деякий час слід продовжувати штучне дихання до приведення потерпілого у свідомий стан. Зовнішній масаж серця повинен штучно підтримувати в організмі кровообіг і діяльність серця.

4.5. Розрахунок рівня шуму на ділянці та захисного заземлення для цеху, що проєктується

У складальному цеху працює 10 одиниць обладнання, шум від кожного з них становить $L_1 = 75$ дБ. Тоді сумарний рівень шуму обрахуємо з формули:

$$L = L_1 + 10 \ln(n), \quad (4.1)$$

де n – кількість обладнання, шт.

Тоді:

$$L = 75 + 10 \ln 10 = 85 \text{ дБА.}$$

Порівнявши визначену величину шуму з ДСТУ, бачимо, що є перевищення шуму на робочому місці на 5 дБА. Тому працівникам потрібно використовувати засоби індивідуального захисту від шуму – вставки.

Здійснимо розрахунок захисного заземлення для цеху з виробничими установками, які живляться від мережі напругою 380 В.

В якості заземлювачів використовуються сталі труби довжиною $l=3$ м і діаметром $d=0,04$ м, які з'єднані між собою сталевією смугою шириною $b=0,04$ м. Коефіцієнт використання заземлювачів $\eta_z=0,59$, а з'єднувальної смуги $\eta_c=0,62$. відстань між заземлювачами рівна $a=3$ м. Заглиблення верхнього кінця труби і з'єднувальної смуги $h=0,7$ м. Питомий опір ґрунту, в якому розміщені заземлювачі $\rho=50$ Ом·м. Схема розрахунку заземлюючого пристрою показана на рис. 4.1

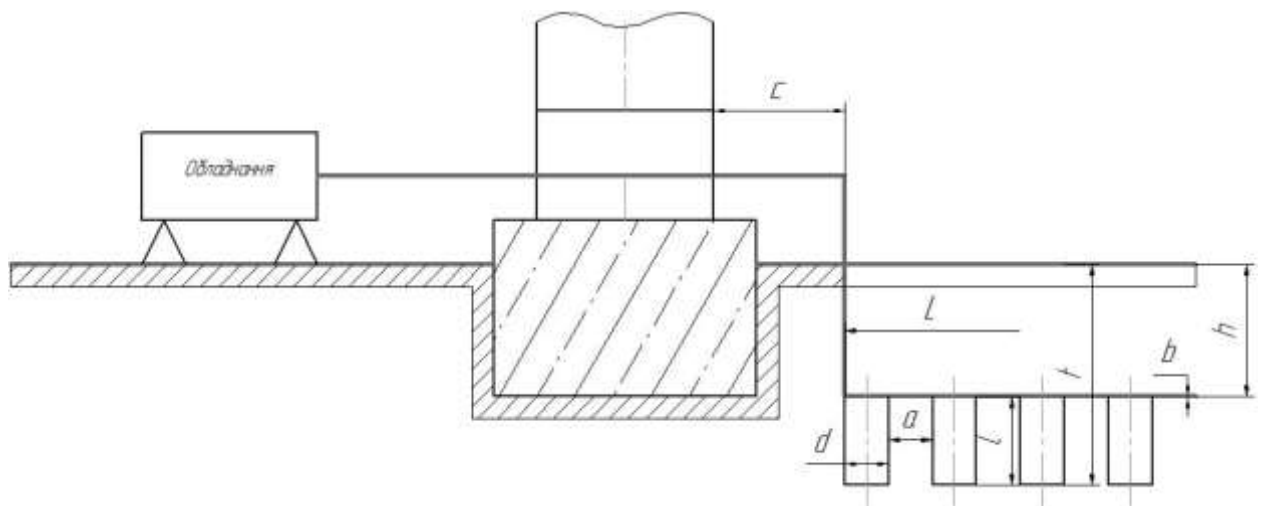


Рисунок 4.1 – Схема заземлюючого пристрою

Визначимо опір розтікання струму однієї труби:

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right) \quad (4.2)$$

$$R_T = 16,9 \text{ Ом}$$

де $t = H + \frac{1}{2}l$, $t = 2,2 \text{ м}$

Визначимо необхідну кількість заземлювачів-труб

$$n = \frac{R_T}{R_n \cdot \eta_z} \quad (4.3)$$

$$n = 7,2$$

Приймаємо $n = 7$ труб.

Визначаємо довжину з'єднувальної смуги:

$$L = 1,05 \cdot a(n-1) \quad (4.4)$$

$$L = 18,9 \text{ м.}$$

Визначаємо опір розтікання з'єднувальної смуги

$$R_l = \frac{\rho}{2\pi \cdot L} \cdot \ln \frac{2 \cdot L^2}{b \cdot H} \quad (4.5)$$

$$R_l = 4,1 \text{ Ом}$$

Визначаємо загальний опір розтікання струму заземленого пристрою:

$$R = \frac{R_T \cdot R_c}{R_T \cdot \eta_c + R_c \cdot \eta_z \cdot n} \quad (4.6)$$

$$R = 2,5 \text{ Ом}$$

Із зроблених розрахунків можна зробити висновок, що опір заземлюючого пристрою не перевищує норм по ПУЕ.

Висновки

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність автоматизації процесів встановлення радіоелементів на друковану плату на основі аналізу відомих технічних рішень.

Були проведені розрахунки для визначення оптимальної структури технологічного процесу здійснений вибір варіанту компоновки проєктованої виробничої системи. Розрахунок продуктивності та надійності системи дав можливість оцінити, вибрати найбільш доцільне технологічне обладнання та оснастку. Розроблені циклограми та алгоритми роботи наочно показали функціонування як системи в цілому, так і на окремих етапах.

У кваліфікаційній роботі було запропоноване використання системи технологічного зору для контролю за встановленням радіоелементів на друковану плату. Такий підхід дозволив забезпечити високу точність процесів складання, стійке функціонування системи в широкому діапазоні освітлення, простоту переналадки на обробку зображень елементів нових типів.

Перелік посилань

1. Елементна база радіоелектронної апаратури. Ч. 1 : навч. посіб. / уклад.: Ю. М. Поплавко, Ю. І. Якименко, О. В. Борисов та ін. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 248 с.
2. Крилик Л. В., Селецька О. О. Монтаж радіоелектронних приладів. Спеціальна технологія : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2017. 115 с.
3. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с.
<http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
4. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
5. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
6. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.

7. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
8. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
9. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
10. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.

11. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
12. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
13. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
14. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>

15. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
16. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
17. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
18. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
19. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
20. Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. : Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані

- технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп'ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп'ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с
21. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
22. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
23. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
24. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.

25. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
26. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
27. Буров Є., Митник М. Комп'ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
28. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитишин, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>
29. I. Strutynska, H. Kozbur, L. Dmytrotsa, O. Sorokivska, L. Melnyk and R. Grytseliak, "Regarding to the Concept of Small and Medium-Sized Enterprises Digitalization in Ukraine: Problems and Solutions," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2021, pp. 276-279, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548382.
30. Валяшек В.Б. Навчальний посібник з курсу: “ Оптимізаційні методи та моделі “ для спеціальностей “Облік і аудит, Фінанси і кредит, Маркетинг, Економічна кібернетика” / Кривень В.А., Валяшек В.Б., Цимбалюк Л.І., Козбур Г.В. – Тернопіль : видавництво ТНТУ, 2015. – 83 с.

31. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293>
32. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>