

## SECTION 5. ELECTRONICS

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.1.5.1

### **5.1 Додаткове технічне забезпечення виробництва сучасної електронної техніки**

Наближення норм проектування електронних виробів до рівня мікроелектроніки зумовило необхідність забезпечити відповідні умови виробництва за температурою, вологістю, знепиленістю тощо. Найчастіше при створенні виробництва сучасної електронної техніки високого класу точності обмежуються інвестиціями в оновлення обладнання, але не враховують, що збільшення роздільної здатності малюнка супроводжується відтворенням частинок пилу, а на точності позиціонування позначаються температура, вологість у приміщенні та віброзахищеність обладнання.

Часто-густо в будівельно-монтажні проекти виробництва електроніки закладаються ослаблені вимоги до додаткового технічного забезпечення, зважаючи на обмежені фінансові можливості.

Але в кінцевому підсумку це суттєво позначається на ефективності виробництва: зниженні виходу придатних модулів, великих трудовитратах на виявлення і виправлення браку, зменшенні рівня надійності через неминуче пропускання дефектів або близьких до них ослаблень міжз'єднань.

Вимоги до додаткового технічного забезпечення сучасного виробництва часто не однозначні і тому суперечливі. Сьогодні ще не склалися загальноприйняті норми вимог до проектування високотехнологічних виробництв, відсутні відповідні стандарти. Ще гірше, коли закладаються дорогі проектні рішення, після реалізації яких виникають занадто складні умови виконання виробничих процесів.

Виробництво електроніки починається з друкованих плат, подібних за важливістю до цементу в будівництві. Це виробництво найскладніше за розмаїттям використовуваних у ньому фізичних і хімічних процесів, що вимагають високопрофесійної підтримки з боку персоналу з різнобічною

спеціалізацією. Це і найбільш капіталомістке виробництво з відносно повільною окупністю інвестицій, близько трьох років. Це і найбільш рухлива частина виробництва електроніки: покоління технологій друкованих плат змінюються кожні п'ять-шість років, що змушує за період повернення вкладених коштів створювати накопичення для подальшого оновлення виробництва.

У таких умовах важливо не помилитися з вибором проектних рішень, постачальників обладнання та додаткового технічного забезпечення виробництва. Технічні проекти, які у багатьох на очах, приділяють основну увагу складу обладнання для переоснащення виробництва, але, як правило, зовсім не обумовлюють додаткове технічне забезпечення виробництва.

Мало того, існуючі раніше нормативні документи, що встановлюють вимоги до санітарно-гігієнічних норм проектування виробництв, втратили свою чинність і безнадійно застаріли.

Для досягнення високого технічного рівня друкованих плат недостатньо укомплектувати виробництво прецизійним обладнанням, обов'язковим постає питання додаткового технічного забезпечення умов виробництва - створення герметичних зон з контрольованою атмосферою по запиленості, температурі і вологості.

Вимоги щодо обмеження запиленості стосуються ділянок фотошаблонів і фотолітографії, оскільки відтворюваність провідників і зазорів для плат 4-5 і вище класів точності стає порівнянною з розмірами пилинок у звичайній атмосфері. Недостатній рівень вакуумної гігієни призводить до обвального браку прецизійних плат або до великого обсягу ретуші на звичайних платах. Вимоги щодо стабільності температури і вологості відносяться до всіх ділянок, що відповідають за прецизійність розмірів і суміщення малюнка схем: фотошаблони, експонування, проявлення, свердління, суміщення шарів. Значення температури і вологості повинні не тільки вкладатися у вузький діапазон, але й бути однаковими на цих ділянках. Інакше зміни лінійних розмірів фотошаблонів, заготовок плат і обладнання призведуть до розсуміщення елементів багат шарових структур і появи браку або потенційних джерел відмов.

До умов додаткового технічного забезпечення сучасного виробництва відносять багато факторів, першорядними з яких є:

- ступінь чистоти повітря виробничих приміщень, оцінюваний концентрацією завислих часток;
- час відновлення чистоти приміщення до вихідного рівня після короткочасного перевищення допустимого значення;
- витрата повітря (кратність повітрообміну);
- швидкість повітряного потоку;
- однорідність швидкості повітряного потоку;
- односпрямованість повітряного потоку;
- надлишковий тиск повітря;
- номінальна температура повітря;
- точність підтримання заданого значення температури;
- відносна вологість повітря;
- рівень акустичних шумів;
- освітленість;
- аероіонізація повітря;
- рівень вібрації;
- напруженість електричних полів;
- напруженість магнітних полів.

У виробництві друкованих плат важко виділити чисті зони, як це практикується в мікроелектронному виробництві. Специфіка виробництва друкованих плат (ДП) та електронних модулів (ЕМ) (габарити та обсяги продукції) диктують насамперед вимоги до чистих приміщень - основного середовища виробництва.

Джерел забруднень приміщень з вакуумною гігієною так багато, що одне їх перерахування зайняло б чимало місця. Насамперед це, звичайно, зовнішнє середовище. Ось чому підприємства мікроелектроніки будують у паркових зонах із природною чистотою, а чисті приміщення ізолюються від зовнішнього

середовища. Але й ізольованість не позбавляє чисті приміщення від загрози забруднень: внутрішні джерела запиленості вимагають постійної фільтрації повітря. Персонал, його одяг, стіни та підлога, продукти та відходи виробництва, технологічні матеріали, документація та інструмент, природний приплив повітря - усе це потужні джерела забруднень. Для очищення таких приміщень застосовуються бокси мікробіологічної безпеки та спеціалізоване повітроочисне обладнання, які дають змогу контролювати фільтрацію повітря до такого ступеню, що воно практично повністю позбавляється забруднювальних речовин - від пилу до мікробів.

Вимоги щодо стабільності температури та вологості стосуються всіх виробничих приміщень, де виконуються операції, відповідальні за забезпечення точності позиціювання елементів, чи то точність поєднання елементів між'єднань у багат шарових структурах друкованих плат, чи то точність позиціювання свердління, чи точність установлення компонентів на друковану плату. Значення температури і вологості повинні не тільки укладатися у вузький діапазон, а й бути однаковими для всіх приміщень, де точність позиціонування - основна умова виробництва.

#### Вимоги до чистих виробничих приміщень

##### 1. Ділянка технологічної підготовки інформації.

Допускається незначне пилоутворення. Уся документація, що надходить у виробництво, має бути виконана на щільному папері з низьким рівнем пилу, ламінованому або упакованому в полімерну плівку (файли). Написи для поправок і довідок на паперові документи наносити кульковою ручкою. Для запобігання руйнуванню упаковки стелажі і бокси не повинні мати гострих граней і задирок.

##### 2. Дільниця виготовлення фотошаблонів.

Вимагається неактивне штучне освітлення. Окремо виділений бокс для фотоплоттера - темна кімната з подачею знепиленого повітря. Шлюз для входу-виходу персоналу. Повітряний душ для знепилювання одягу персоналу. Забарвлення стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими

матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Антистатичний захист. Для запобігання руйнуванню фотоемульсійного шару фотошаблонів стелажі та бокси не повинні мати гострих граней і задирок. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 20 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура:  $21 \pm 1$  °С. Волога –  $50 \pm 5\%$ .

### 3. Ділянка фотолітографії та трафаретного друку.

Вимагається неактивне штучне освітлення. Фарбування стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Шлюз для входу-виходу персоналу. Повітряний душ для знепилювання одягу персоналу. Антистатичний захист. Магістраль стисненого повітря має бути прокладена по опалювальних приміщеннях для запобігання утворенню конденсату. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 40 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура:  $21 \pm 1$  °С. Волога –  $50 \pm 5\%$ . Антистатичний захист.

### 4. Ділянка свердління і фрезерування.

Необхідно передбачити звукопоглинальні підшивні стелі з вогнетривких матеріалів. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Основи свердильних верстатів мають бути віброізованими або розміщені в материковому ґрунті (на нульовій позначці). Магістраль стисненого повітря має бути прокладена по опалювальних приміщеннях для запобігання утворенню конденсату. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура:  $21 \pm 2$  °С. Волога –  $65 \pm 15\%$ .

### 5. Хіміко-гальванічна ділянка.

Підлога повинна мати наливне хімічно стійке покриття. Для стікання води і можливих проливів рідин підлога повинна мати ухил до трапа. Стіни повинні бути ґрунтовані та пофарбовані хімічно стійкою фарбою. на висоту не менше ніж 2 м, верхня частина стін і стеля повинні бути покриті емалевими фарбами. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 40 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура:  $21 \pm 5$  °С. Волога –  $65 \pm 15\%$ .

#### 6. Ділянка мокрих процесів.

Підлога повинна мати наливне хімічно стійке покриття. Для стікання води і можливих проливів рідин підлога повинна мати ухил до трапа. Стіни мають бути ґрунтовані та пофарбовані хімічно стійкою фарбою на висоту не менше ніж 2 м, верхня частина стін і стеля мають бути покриті емалевими фарбами. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 65 ± 15%.

#### 7. Ділянка пресування.

Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Індивідуальний приплив знепиленого повітря на робочому місці. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 70 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 50 ± 5%.

#### 8. Ділянка гарячого лудіння.

Підлоги з вогнестійким покриттям. Загальна витяжка з контрольованим припливом повітря. Антистатичний захист. Магістраль стисненого повітря має бути прокладена опалювальними приміщеннями для запобігання утворенню конденсату. Засоби пожежогасіння. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 60 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 65 ± 15%.

#### 9. Ділянка тестування.

Забарвлення стін і покриття підлоги пиловідштовхувальними неблікуючими матеріалами, що не виділяють пилу і допускають вологе прибирання. Антистатичний захист. Тип потоку повітря – змішаний, кратність повітрообміну - 10 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>2</sup> площі приміщення. Температура: 21 ± 5 °С. Волога – 50 ± 5%.

Загальні уявлення про заходи додаткового технічного забезпечення прецизійного виробництва електроніки включають одяг персоналу, циркуляцію повітря, термостабілізацію, керування вологістю, зниження рівнів шуму та вібрацій, вимог до електростатики.

Одяг усього допоміжного персоналу має бути з антистатичних матеріалів (білі халати бавовняно-паперові, батистові).

Персонал на дільниці фотолітографії - халати і шапочки синтетичні (не пилящі) з антистатичною обробкою, що не люмінесціюють, тапочки шкіряні. Персонал на хіміко-гальванічній дільниці - халати і тапочки кислототривкі, рукавички хірургічні, косинки (шапочки).

Персонал на механічній дільниці - халати, капці, шапочки (косинки) без спеціальних вимог.

Повітророзподільні пристрої в чистих приміщеннях служать для подачі фільтрованого повітря та створення однорідного повітряного потоку. Швидкість повітрообміну з погляду знепилювання залежить від конфігурації приміщення, обладнання та його розташування, тепловиділень, типу повітряного потоку (ламінальний або турбулентний, вертикальний або горизонтальний), режиму роботи, матеріалів, що використовуються у виробництві. Кратність обміну повітря визначається балансом пиловиділення та ефективністю фільтрації. Джерел пиловиділення у виробництві друкованих плат досить багато. Навіть працюючий персонал, ізольований захисним одягом, є джерелом рясного виділення пилу різного калібру.

Рециркуляція повітря проектується так, щоб не тільки очищати повітря фільтрами, а й потоками повітря не піднімати пил. Для цього вертикальний односпрямований потік спрямовується донизу, проходить чисте приміщення і перфоровану підлогу, потім йде вгору по вертикальних повітропроводах і через стельові фільтри повертається до приміщення. Цим шляхом він проходить через регульований повітроохолоджувач або повітронагрівач, парові або ультразвукові зволожувачі.

Підтримка надлишкового тиску в чистих приміщеннях необхідна для захисту приміщення від забруднення з боку прилеглих зон, захисту потоку, що рухається, від небажаних забруднень, запобігання перехресного забруднення між зонами, підтримання потрібних значень температури і вологості. Чисте приміщення для мікроелектроніки зазвичай працює в діапазоні надлишкових

тисків 40-60 Па відносно прилеглого коридору й інших приміщень будівлі та обладнане напівгерметичним повітряним шлюзом на вході в чисту зону.

Кожне чисте приміщення має свій клас чистоти – чітко регламентовані вимоги щодо рівня вмісту в повітрі різноманітних домішок та частинок. Класи чистоти розрізняються за кількістю та розміром частинок забруднення на одиницю об'єму. Цей параметр - один із найважливіших у класифікації чистих кімнат – регламентується стандартом ДСТУ ISO 14644-1:2009 [262].

Термостабілізація. Під час визначення рівня стабільності температури доводиться зважати на вартість цієї вимоги: стабільність  $\pm 1$  °C обходиться в кілька разів дорожче, ніж  $\pm 2$  °C. Це насамперед пов'язано з тим, що термостабілізоване приміщення частіше доводиться охолоджувати від тепловиділень енергетично потужного обладнання. Як правило, проектувальники чистих приміщень будують виробничі зони так, щоб зменшити витрати на оздоблення капітальних стін, стель і підлог. Для цього вони вбудовують у периметр наявних приміщень чисті кімнати зі шлюзами та ізолюваним повітрообміном.

Керування вологістю. Відносна вологість повітря у відповідних зонах приміщення контролюється спеціальними датчиками. За підвищеної вологості знижують вихідну температуру на охолоджувачі повітря для зменшення вмісту вологи (надлишок вологи конденсується на випарниках). Для компенсації зниження температури потоку повітря теплообмінник другого підігріву підтримує необхідний температурний режим. Для підвищення вологості повітряного потоку вмикають ультразвукові зволожувачі, забезпечені деіонізованою водою з питомим опором близько 1 МОм.

Витяжна вентиляція. Зазвичай витяжні системи підрозділяють за типами речовин, що видаляються, на кислотні, органічні, токсичні, теплові та загальнообмінні. Для уловлювання кислотних парів використовують горизонтальний або вертикальний скруббер. Викиди розчинників і летучих потребують обробки шляхом абсорбції, подальшого випарювання, концентрації та утилізації (спалювання) на місці. Токсичні викиди зазвичай нейтралізуються



шляхом високотемпературної обробки безпосередньо на місці їх походження. Належним чином організована обробка повітря може звести до мінімуму кількість викидів в атмосферу.

Рівень шуму та вібрації. Обладнання, що працює, є джерелом шуму та вібрації. І те і інше створює перешкоди в забезпеченні точності позиціонування і суміщення. Свердлильні верстати, що працюють, у яких шпинделі переміщуються вгору-вниз зі швидкістю до трьох ударів за секунду, можуть заважати один одному та іншому прецизійному обладнанню, якщо відсутня віброізоляція.

Міські споруди часто грішать наявністю низькочастотної вібрації від вітрових потоків, що огинають будівлю, руху транспорту (найгірше метро), руху повітряних потоків по коробах внутрішньої вентиляційної системи. Позбутися низькочастотної вібрації дуже важко, низькочастотні шуми проникають через більшість типів звукоізоляції.

Магнітні та електромагнітні поля. Величина магнітного поля Землі біля поверхні становить 0,5 Гс. Безпечний рівень магнітного поля для життя і здоров'я людини становить 5 Гс. Особливо чутливі до магнітних полів електронні системи керування обладнанням, вимірювальні прилади. Для ділянок тестування і лабораторного аналізу, метрологічних лабораторій магнітне випромінювання має бути на рівні 0,05 Гс і нижче. Джерелом магнітного випромінювання можуть бути силові кабелі, індуктори, трансформатори тощо. Під час проектування виробничих приміщень доводиться це враховувати.

Електростатичний заряд у повітрі та на поверхні. Статична електрика виникає під час поділу поверхонь, або як трибоелектричність, або спорідненість частинок пилу до того чи іншого електричного заряду, який вони набувають мимовільно.

Акумуляований електростатичний заряд є джерелом проблем на більшості операцій технологічних процесів виробництва електроніки. Він може стати причиною займання парів розчинників, спричиняти злипання тонких шарів матеріалів і плівок, накопичувати на поверхні пил і дрібні частинки з повітря

(особливо чутливими до цього є літографічні процеси), спричиняти ушкодження або навіть руйнування тонких напівпровідникових структур електронних компонентів, вносити збої в роботу мікроелектронного обладнання. Зазвичай мінімальна енергія загоряння для суміші повітря і вуглеводнів (зокрема, парів розчинників) становить 0,2 мДж за електростатичного розряду в кілька кіловольт.

Додаткове технічне забезпечення сучасного виробництва електроніки - неодмінний атрибут, що гарантує відтворення високих норм проектування, надійності апаратури і низький рівень браку.

Доводиться рахуватися з тим, що вкладення в розвиток основного виробництва співставні з обсягами витрат на додаткове технічне забезпечення цього виробництва. Але без цього важко гарантувати надійність електронних виробів і високий вихід виготовленої продукції.