

# Инженерное обеспечение производства электроники

**Приближение норм проектирования электронных изделий к уровню микроэлектроники обусловило необходимость обеспечить соответствующие условия производства по температуре, влажности, обеспыленности и т. д. Зачастую при создании производства высокого класса точности ограничиваются инвестициями в обновление оборудования, но не учитывают, что увеличение разрешения рисунка сопровождается воспроизведением частиц пыли, а на точности позиционирования сказываются температура, влажность в помещении и виброзащищенность оборудования. Сегодня еще не сложились общепринятые нормы проектирования производственных помещений, поэтому и отсутствуют соответствующие стандарты. Часто в строительномонтажные проекты производства электроники закладываются ослабленные требования к инженерному обеспечению, сообразуясь с ограниченными финансовыми возможностями. Но в конечном итоге это значительно сказывается на эффективности производства: снижении выхода годных, больших трудозатратах на обнаружение и исправление брака, уменьшении уровня надежности из-за неизбежного пропуска дефектов или близких к ним ослаблений межсоединений.**

**Аркадий Медведев,  
д. т. н., профессор МАИ**

medvedevam@bk.ru

**Аркадий Сержантов,  
к. т. н.  
Петр Семенов**

## Введение

Теперь уже можно уверенно сказать, что в реконструкции российских предприятий электроники наметилась положительная тенденция. Сформировалась и направленность этой реконструкции — создание высокотехнологических производств малой и средней серии, способных конкурировать с зарубежными производителями. В данной области российские предприятия, сохранившие интеллектуальный потенциал своего персонала, имеют возможность занять национальную нишу на международном рынке разделения труда, соревнуясь с Западом по ценовым категориям, а с Юго-Восточной Азией — по техническому и интеллектуальному уровню проектов электронных изделий.

Приближение современных норм проектирования электронных изделий к уровню микроэлектроники обусловило необходимость в обеспечении соответствующих условий производства по температуре, влажности, обеспыленности и т. д. Зачастую, задавшись целью создать производство высокого класса точности, инвесторы ограничиваются обновлением парка оборудования, не осознавая, что вложения не окупятся без соответствующего инженерного обеспечения. Увеличение разрешения топологического рисунка сопровождается воспроизведением частиц пыли, на точности совмещения многослойных структур сказываются и температура, и влажность в помещении, а на точности позиционирования элементов межсоединений — виброзащищенность прецизионного оборудования.

Требования к инженерному обеспечению современного производства часто не однозначны и потому противоречивы. Сегодня еще не сложились общепринятые нормы требований к проектированию высокотехнологических производств, отсутствуют со-

ответствующие стандарты. Часто в строительномонтажные проекты производства электроники закладываются ослабленные требования, сообразуясь с ограниченными финансовыми возможностями. Еще хуже, когда закладываются дорогостоящие проектные решения «для полного счастья», после реализации которых возникают слишком сложные условия выполнения производственных процессов. Неоправданно большие объемы инвестиций, сказываются на цене продукта, а при недостаточных вложениях это приводит к большим издержкам: снижению выхода годных, большим трудозатратам на обнаружение и исправление брака, уменьшению уровня надежности из-за неизбежного пропуска дефектов или близких к ним ослаблений межсоединений.

Производство электроники начинается с печатных плат, подобных по значимости цементу в строительстве. Это производство наиболее сложное по разнообразию используемых в нем физических и химических процессов, требующих высокопрофессиональной поддержки со стороны персонала с разносторонней специализацией. Это и наиболее капиталоемкое производство с относительно медленной окупаемостью вложений, порядка трех лет. Это и наиболее подвижная часть производства электроники: поколения технологических печатных плат меняются каждые пять-шесть лет, что вынуждает за период возврата вложенных средств создавать накопления для последующего обновления производства.

В таких условиях важно не ошибиться с выбором проектных решений, поставщиков оборудования и инженерного обеспечения производства. Технические проекты, которые у многих на виду, уделяют основное внимание составу оборудования для переоснащения производства, но, как правило, совсем не оговаривают инженерное обеспечение производства.

Мало того, существовавшие ранее нормативные документы, устанавливающие требования к санитарно-гигиеническим нормам проектирования производств, утратили свою силу и безнадежно устарели. Новых документов нет. Поэтому предлагается начать обсуждение норм инженерного обеспечения производства электроники в надежде на то, что, в конце концов, это поможет создать российский стандарт и позволит покончить со сложившейся неопределенностью в данном вопросе. И начать это предлагается с печатных плат.

**Обоснование инженерных норм**

Для достижения высокого технического уровня печатных плат недостаточно укомплектовать производство прецизионным оборудованием, обязательным становится дополнительное инженерное обеспечение условий производства — создание гермозон с контролируемой атмосферой по запыленности, температуре и влажности.

Требования по ограничению к запыленности относятся к участкам фотошаблонов и фотолитографии, так как воспроизводимость проводников и зазоров для плат 4–5 и выше классов точности становится соизмеримой с размерами пылинок в обычной атмосфере. Недостаточный уровень вакуумной гигиены приводит к обвальному браку прецизионных плат или к большому объему ретуши на обычных платах. Требования по стабильности температуры и влажности относятся ко всем участкам, отвечающим за прецизионность размеров и совмещение рисунка схем: фотошаблоны, экспонирование, проявление, сверление, совмещение слоев, прессование. Значения температуры и влажности должны не только укладываться в узкий диапазон, но и быть одинаковыми на этих участках. Иначе изменения линейных размеров фотошаблонов, заготовок плат и оборудования приведут к рассовмещению элементов многослойных структур и появлению брака или потенциальным источникам отказов.

- К условиям инженерного обеспечения современного производства относят много факторов, первостепенными из которых являются:
1. Степень чистоты воздуха производственных помещений, оцениваемая концентрацией взвешенных частиц.
  2. Время восстановления чистоты помещения до исходного уровня после кратковременного превышения допустимого значения.
  3. Расход воздуха (кратность воздухообмена).
  4. Скорость воздушного потока.
  5. Однородность скорости воздушного потока.
  6. Однонаправленность воздушного потока.
  7. Избыточное давление воздуха.
  8. Номинальная температура воздуха.
  9. Точность поддержания заданного значения температуры.
  10. Относительная влажность воздуха.
  11. Уровень акустических шумов.
  12. Освещенность.
  13. Аэроионизация воздуха.
  14. Уровень вибрации.
  15. Напряженность электрических полей.
  16. Напряженность магнитных полей.

**Чистые помещения и чистые зоны**

В производстве печатных плат трудно выделить чистые зоны, как это практикуется в микроэлектронном производстве (рис. 1). Специфика производства печатных плат (ПП) и электронных модулей (ЭМ) (габариты и объемы продукции) диктуют в первую очередь требования к чистым помещениям — основной среде производства [1, 2].

Источников загрязнений помещений с вакуумной гигиеной так много, что одно их перечисление заняло бы немало места. В первую очередь это, конечно, внешняя среда. Вот почему предприятия микроэлектроники строят в зонах с природной чистотой (пример то-

му — Зеленоград под Москвой), а чистые помещения изолируются от внешней среды. Но и изолированность не избавляет чистые помещения от угрозы загрязнений: внутренние источники запыленности требуют постоянной фильтрации воздуха. Персонал (рис. 2), его одежда, стены и полы, продукты и отходы производства, технологические материалы, документация и инструмент, естественный приток воздуха — все это мощные источники загрязнений.

Международный стандарт ИСО 14644 («Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды») и аутентичный ему межгосударственный стандарт ГОСТ ИСО 14644 [3–6] содержат исчерпывающую информацию по



Рис. 1. Выделение чистых зон в чистых помещениях характерно для микроэлектроники, но не приемлемо для производства ПП и ЭМ

Таблица. Классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам для чистых помещений и чистых зон

Класс чистоты		Предельно допустимое число частиц в 1 м³ воздуха размером, равным и превышающим, мкм					
ИСО 14644-1	ГОСТ Р 50766-95	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	5,0
ИСО-1	Р 1	10	2				
ИСО-2	Р 2	100	24	10	4		
ИСО-3	Р 3 (1)	1000	237	102	35	8	
ИСО-4	Р 4 (10)	10 000	2370	1020	352	83	
ИСО-5	Р 5 (100)	100 000	23 700	10 200	3520	832	29
ИСО-6	Р 6 (1000)	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8320	293
ИСО-7	Р 7 (10 000)				352 000	83200	2930
ИСО-8	Р 8 (100 000)				3 520 000	832 000	29 300
ИСО-9	Р 9 (1 000 000)				35 200 000	8 320 000	293 000

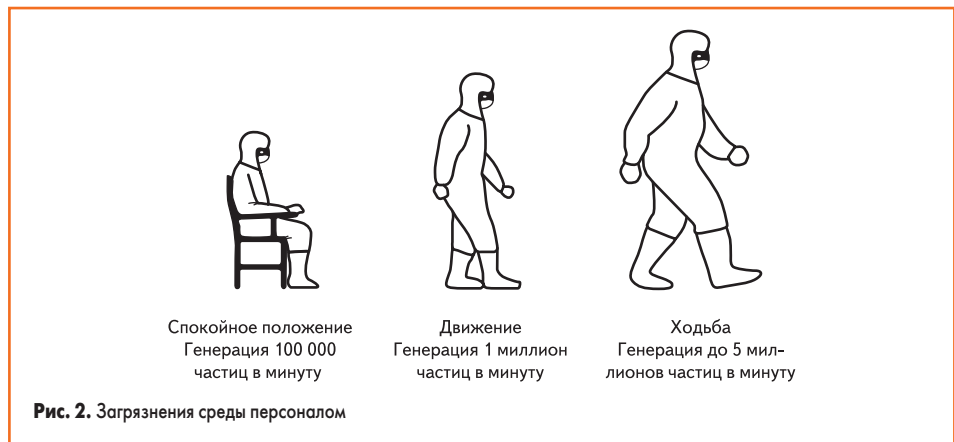


Рис. 2. Загрязнения среды персоналом

обеспечению чистоты воздуха по концентрации взвешенных частиц в чистых помещениях:

- Часть 1. Классификация чистоты воздуха (таблица).
- Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия стандарту.
- Часть 3. Метрология и методы испытаний.
- Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию.
- Часть 5. Эксплуатация.
- Часть 6. Термины и определения.
- Часть 7. Специальные устройства обеспечения чистоты.

В приложении В (справочное) к стандарту ГОСТ ИСО 14644-4-2002 приведены примеры требований к чистым помещениям в производстве медицинской продукции и микроэлектроники. Но современные требования вакуумной гигиены к производству ПП и ЭМ нигде не оговорены.

Чистое помещение — дорогостоящее сооружение, стоимость которого возрастает с увеличением уровня чистоты. Поэтому класс чистоты назначают, сообразуясь с заданной точностью воспроизведения рисунка по ГОСТ 23751.

## Требования по стабильности температуры и влажности

Эти требования относятся ко всем производственным помещениям, где выполняются операции, ответственные за обеспечение размерной точности и точности позиционирования элементов, будь то точность совмещения элементов межсоединений в многослойных структурах печатных плат, позиционирования сверления, точность установки компонентов на печатную плату. Значения температуры и влажности должны не только укладываться в узкий диапазон, но и быть одинаковыми для всех помещений, где точность позиционирования — основное условие производства.

## Требования к чистым производственным помещениям

### 1. Участок технологической подготовки информации

- 1.1. **Наименование операции:** обработка файлов, разработка технологической документации.
- 1.2. **Размещаемое оборудование:** персональный компьютер, оргтехника, стеллажи и боксы для хранения документации.
- 1.3. **Требования к помещениям:** отделка помещения — общие санитарные условия. Допускается незначительное пылеобразование. Вся документация, поступающая в производство, должна быть выполнена на плотной мало пылящей бумаге, ламинированной или упакованной в полимерную пленку (файлы). Надписи для поправок и справок на бумажные документы наносить шариковой ручкой. Для предотвращения разрушения упаковки стелла-

жи и боксы не должны иметь острых граней и заусенцев.

### 2. Участок изготовления фотошаблонов

- 2.1. **Наименование операции:** обработка файлов, прорисовка фотошаблонов.
- 2.2. **Размещаемое оборудование:** персональный компьютер, фотопринтер (в отдельном помещении), проявочный процессор (в отдельном помещении), рабочий стол с микроскопом, стеллажи и боксы (фильмостаты) для временного хранения фотошаблонов.

### 2.3. Требования к помещениям.

- 2.3.1. Общие требования: неактивное искусственное освещение. Отдельно выделенный бокс для фотопринтера — темная комната с подачей обеспыленного воздуха. Шлюз для входа-выхода персонала. Воздушный душ для обеспыливания одежды персонала. Окраска стен и покрытие пола пылеотталкивающими не выделяющими пыли и допускающими влажную уборку. Антистатическая защита. Для предотвращения разрушения фотоэмульсионного слоя фотошаблонов стеллажи и боксы не должны иметь острых граней и заусенцев.
- 2.3.2. Требования к классу чистоты в общих помещениях участка фотошаблонов по ГОСТ ИСО 14644-1-2002: класс 7 ИСО.
- 2.3.3. Тип и объем потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 20 куб. м на 1 м<sup>2</sup> площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов<sup>1</sup>).
- 2.3.4. Требования к температурному режиму: 21 ± 1 °С.
- 2.3.5. Требования к режиму влажности: 50 ± 5%.

### 3. Участок фотолитографии и трафаретной печати

- 3.1. **Наименование операции:** нанесение пленочного фоторезиста, экспонирование, удаление пыли с фотошаблонов, нанесение жидкой паяльной маски и маркировки, визуальный контроль рисунка.
- 3.2. **Размещаемое оборудование:** установки экспонирования, ламинаторы, установки трафаретной печати, рабочее место оптического контроля изображений, стеллажи для хранения задела, транспортные тележки.
- 3.3. **Требования к помещениям.**
  - 3.3.1. Общие требования. неактивное искусственное освещение. Окраска стен и покрытие пола пылеотталкивающими не выделяющими материалами, не выделяющими пыли и допускающими влажную уборку. Шлюз для входа-выхода персонала. Воздушный душ для обеспыливания одежды персонала. Антистатическая защита. Магистраль сжатого воздуха должна быть проложена по отапливаемым помещениям для предотвращения образования конденсата.
  - 3.3.2. Требования к классу чистоты помещений: класс 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.

3.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 40 куб. м на 1 м<sup>2</sup> площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

3.3.4. Требования к температурному режиму: 21 ± 1 °С.

3.3.5. Требования к режиму влажности: 50 ± 5%. Антистатическая защита.

3.3.6. Требования к воде для охлаждения теплообменника в установке экспонирования Print Process Exprostat AEX-II H:

3.3.6.1. Температура поступающей воды: +8 °С.

3.3.6.2. Ориентировочный расход воды: 1,5 м<sup>3</sup>/ч.

(Рекомендуется использовать установку охлаждения воды ВМТ-20, с замкнутой системой подачи воды).

### 4. Участок сверления и фрезерования

- 4.1. **Наименование операции:** обработка файлов, штифтование/расштифтовывание пакетов, сверление, фрезерование, заточка сверл.
- 4.2. **Размещаемое оборудование:** персональный компьютер, установка штифтования, установка удаления штифтов, сверлильный станок, установка вскрытия реперных знаков на внутренних слоях, станок автоматического оптического формирования базовых отверстий, станок заточки сверл, сверлильно-фрезерный станок, рабочее место визуального контроля.

### 4.3. Требования к помещениям.

- 4.3.1. Общие требования: отделка помещения — общие санитарно-гигиенические требования. Необходимо предусмотреть звукопоглощающие подшивные потолки из негорючих материалов. Общая вытяжка с контролируемым притоком воздуха. Основания сверлильных станков должны быть виброизолированными или размещены в материковом грунте (на нулевой отметке). Магистраль сжатого воздуха должна быть проложена по отапливаемым помещениям для предотвращения образования конденсата.
  - 4.3.2. Требования к чистоте помещений: класс 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.
  - 4.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 10 куб. м на 1 м<sup>2</sup> площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).
  - 4.3.4. Требования к температурному режиму: 21 ± 2 °С.
  - 4.3.5. Требования к режиму влажности: 65 ± 15%.
- ### 5. Химико-гальванический участок
- 5.1. **Наименование операции:** химическая (прямая) и электрохимическая металлизация.
  - 5.2. **Размещаемое оборудование:** линии химической металлизации и гальваники, рабочее место технологического контроля качества гальванических покрытий.
  - 5.3. **Требования к помещениям.**
    - 5.3.1. Общие требования: пол должен иметь наливное химически стойкое покрытие. Для стока воды и возможных проливов жидкостей полы должны иметь уклон к трапу. Стены должны быть грунтованы и окрашены химически стойкой краской

<sup>1</sup> Кратность воздухообмена определяется расчетным путем с учетом тепловой нагрузки, наличия вытяжек, класса чистоты, численного персонала, типа одежды с учетом эмиссии частиц, требуемого перепада давления и др. Здесь приведены ориентировочные значения объема подаваемого воздуха на 1 м<sup>2</sup> площади в 1 ч при высоте помещения 3,0 м.

на высоту не менее 2 м, верхняя часть стен и потолок должны быть покрыты эмалевыми красками.

- 5.3.2. Требования к классу чистоты помещения: общие санитарно-гигиенические требования.
- 5.3.3. Требования к температурному режиму:  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- 5.3.4. Требования к режиму влажности:  $65 \pm 15\%$ .

#### 6. Участок мокрых процессов

**6.1. Наименование операции:** проявление, травление, раздубливание фоторезиста, мокрая механическая подготовка поверхности, химическая подготовка поверхности, удаление металлорезиста, отмывка от технологических загрязнений.

**6.2. Размещаемое оборудование:** линия механической подготовки поверхности, линии струйной обработки: проявление фоторезиста, проявление паяльной маски, микротравление, травление рисунка, рабочее место визуального контроля.

#### 6.3. Требования к помещениям.

6.3.1. Общие требования: пол должен иметь наливное химически стойкое покрытие. Для стока воды и возможных проливов жидкостей полы должны иметь уклон к трапу. Стены должны быть грунтованы и окрашены химически стойкой краской на высоту не менее 2 м, верхняя часть стен и потолок должны быть покрыты эмалевыми красками. Общая вытяжка с контролируемым притоком воздуха.

6.3.2. Требования к чистоте помещений: класс 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.

6.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 10 куб. м на  $1\text{ м}^2$  площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

6.3.3. Требования к температурному режиму:  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ .

6.3.4. Требования к режиму влажности:  $65 \pm 15\%$ .

#### 7. Участок прессования

**7.1. Наименование операции:** сборка пакета МПП и прессование, хранение препрега, при необходимости — сушка слоев.

**7.2. Размещаемое оборудование:** установка сборки и склеивания слоев с ламинарным встречным потоком обеспыленного воздуха, вакуумный пресс, рабочее место входного контроля материалов и результатов прессования.

#### 7.3. Требования к помещениям.

7.3.1. Общие требования: отделка помещения — обычная. Общая вытяжка с контролируемым притоком воздуха. Индивидуальный приток обеспыленного воздуха на рабочем месте сборки слоев.

7.3.2. Требования к чистоте помещений: класс 7 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.

7.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 70 куб. м на  $1\text{ м}^2$  площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

7.3.4. Требования к температурному режиму:  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ .

7.3.5. Требования к режиму влажности:  $50 \pm 5\%$ .

#### 8. Участок горячего лужения

**8.1. Наименование операции:** подготовка, флюсование, лужение, отмывка.

**8.2. Размещаемое оборудование:** сушильный шкаф, линия флюсования, установка горячего лужения, установка отмывки плат, рабочее место визуального контроля.

#### 8.3. Требования к помещениям.

8.3.1. Общие требования: отделка помещения — обычная. Полы с огнестойким покрытием. Общая вытяжка с контролируемым притоком воздуха. Антистатическая защита. Магистраль сжатого воздуха должна быть проложена по отапливаемым помещениям для предотвращения образования конденсата. Средства пожаротушения.

8.3.2. Требования к чистоте помещений: класс 9 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.

8.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 60 куб. м на  $1\text{ м}^2$  площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

8.3.4. Требования к температурному режиму:  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ .

8.3.5. Требования к режиму влажности:  $65 \pm 15\%$ .

#### 9. Участок изготовления микрошлифов

**9.1. Наименование операции:** вырезка образцов, формовка образцов спеканием, шлифовка, полировка, анализ качества металлизации под микроскопом, распечатка результатов металлографического анализа.

**9.2. Размещаемое оборудование:** отрезной станок (вырубной штамп), таблеточный пресс, установка шлифовки и полировки, металлографический микроскоп, объединенный с инспекционной системой (персональный компьютер, принтер).

**9.3. Требования к помещениям:** отделка помещения — по общим санитарно-гигиеническим нормам. Допускается незначительное пылеобразование.

#### 10. Участок тестирования

**10.1. Наименование операций:** электротестирование, автоматическая оптическая инспекция (АОИ), линейные и координатные измерения (контроль обеспечения точности позиционирования элементов многослойных структур).

**10.2. Размещаемое оборудование:** тестеры с «летающими» щупами, матричные тестеры электрического контроля, системы автоматического оптического тестирования, автоматизированная машина координатных и линейных измерений, рабочий стол диагностического анализа (ампервольтометры (тестеры), тераомметры, миллиомметры, микроскопы).

#### 10.3. Требования к помещениям.

10.3.1. Общие требования: окраска стен и покрытие пола пылеотталкивающими не бликующими материалами, не выделяющими пыли и допускающими влажную уборку. Антистатическая защита.

10.3.2. Требования к чистоте помещений: класс 8 ИСО по ГОСТ ИСО 14644-1.

10.3.3. Тип потока воздуха: тип потока воздуха — смешанный, кратность воздухообмена: 10 куб. м на  $1\text{ м}^2$  площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

10.3.3. Требования к температурному режиму:  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ .

10.3.4. Требования к режиму влажности:  $50 \pm 5\%$ .

#### 11. Склад материалов и химикатов

**11.1. Наименование операций:** раздельное хранение кислотных, щелочных и органических химических реактивов. Расфасовка жидких и сыпучих материалов на объемы сменных расходов. Складирование фольгированных материалов, фотоматериалов, фоторезистов, фотоэмульсий.

**11.2. Размещаемое оборудование:** стеллажи, тележка, тара.

**11.3. Требования к помещениям:** пол должен иметь наливное химически стойкое покрытие. Для стока воды и возможных проливов жидкостей полы должны иметь уклон к трапу. Стены должны быть грунтованы и окрашены химически стойкой краской на высоту не менее 2 м, верхняя часть стен и потолок должны быть покрыты эмалевыми красками. Температура:  $15\text{--}25^\circ\text{C}$ . Требования к режиму влажности:  $65 \pm 15\%$

#### 12. Заготовительный участок

**12.1. Наименование операций:** нарезка листового и рулонного материала.

**12.2. Размещаемое оборудование:** гильотинные ножницы, разделочные столы, стеллажи.

**12.3. Требования к помещениям:** отделка помещения — по общим санитарно-гигиеническим нормам. Допускается пылеобразование. Температура:  $15\text{--}25^\circ\text{C}$ . Требования к режиму влажности:  $65 \pm 15\%$ .

### Общие представления о мерах инженерного обеспечения прецизионного производства электроники

#### Одежда персонала

Весь вспомогательный персонал должен быть одет из антистатических материалов (белые халаты х/б, батист).

Персонал на фотолитографии — халаты и шапочки синтетические (не пылящие) с антистатической обработкой, не люминесцирующие, тапочки кожаные. Персонал на химии и гальванике — халаты и тапочки кислотоупорные, перчатки хирургические, косынки (шапочки).

Персонал на механическом участке — халаты, тапочки, шапочки (косынки) без специальных требований.

Склад — так же, как персонал на химии + бахилы или резиновые сапоги на время разлива (расфасовки) агрессивных жидкостей.

#### Очистка воздуха

Воздухораспределительные устройства в чистых помещениях служат для подачи фильтрованного воздуха и организации однородного воздушного потока. Скорость воздухообмена с точки зрения обеспыливания зависит от кон-



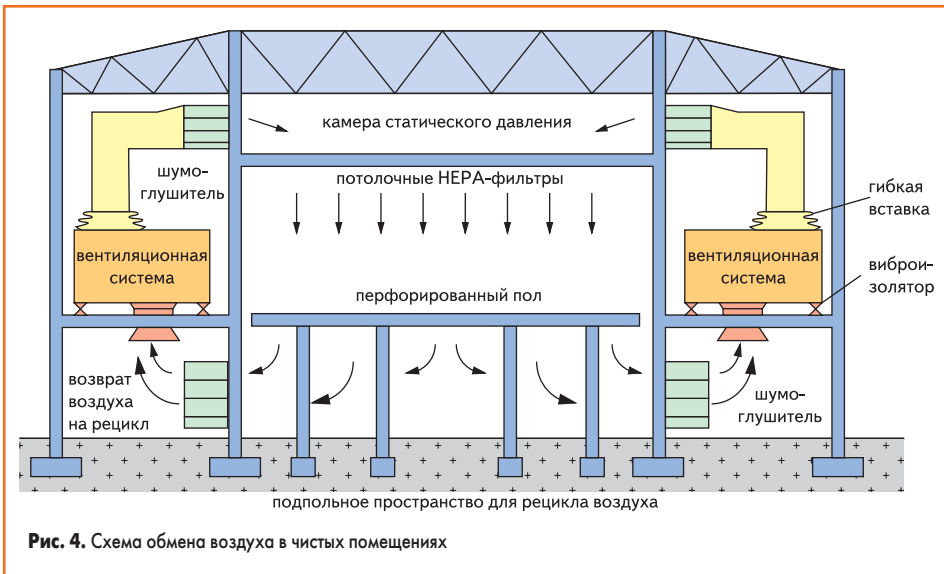
фигурации помещения, оборудования и его расположения, тепловыделений, от типа воздушного потока (ламинарный или турбулентный, вертикальный или горизонтальный), режима работы, используемых в производстве материалов. Кратность обмена воздуха определяется балансом пылевыведения и эффективностью фильтрации. Источников пылевыведения в производстве печатных плат довольно много, чтобы их перечислять. Даже работающий персонал, изолированный защитной одеждой, является источником обильного выделения пыли различного калибра (рис. 3).

Рециркуляция воздуха проектируется так, чтобы не только очищать воздух фильтрами, но и потоками воздуха не поднимать пыль. Для этого вертикальный однонаправленный поток направляется вниз, проходит чистое помещение и перфорированный пол, затем идет вверх по вертикальным воздухопроводам и через потолочные фильтры возвращается в помещение (рис. 4). По пути он проходит через регулируемый воздухоохладитель или воздухонагреватель, паровые или ультразвуковые увлажнители.

Поддержание избыточного давления в чистых помещениях необходимо для защиты помещения от загрязнения со стороны прилегающих зон, защиты движущегося потока от нежелательных загрязнений, предотвращения перекрестного загрязнения между зонами, поддержания требуемых значений температуры и влажности. Чистое помещение для микроэлектроники обычно работает в диапазоне избыточных давлений относительно прилегающего коридора и других помещений здания поддерживается в диапазоне 40–60 Па с полугерметичным воздушным шлюзом на входе в чистую зону. Гардеробная помещения для переодевания часто играют роль подобных воздушных фильтров (рис. 5).

**Термостабилизация**

При назначении уровня стабильности температуры приходится считаться со стоимостью этого требования: стабильность  $\pm 1^\circ\text{C}$  обходится в несколько раз дороже, чем  $\pm 2^\circ\text{C}$ .



Это в первую очередь связано с тем, что термостабилизированное помещение чаще приходится охлаждать от тепловыделений энергетически мощного оборудования. Как правило, проектировщики чистых помещений строят производственные зоны так, чтобы уменьшить затраты на отделку капитальных стен, потолков и полов. Для этого они встраивают в периметр существующих помещений чистые комнаты со шлюзами и изолированным воздухообменом (рис. 6).

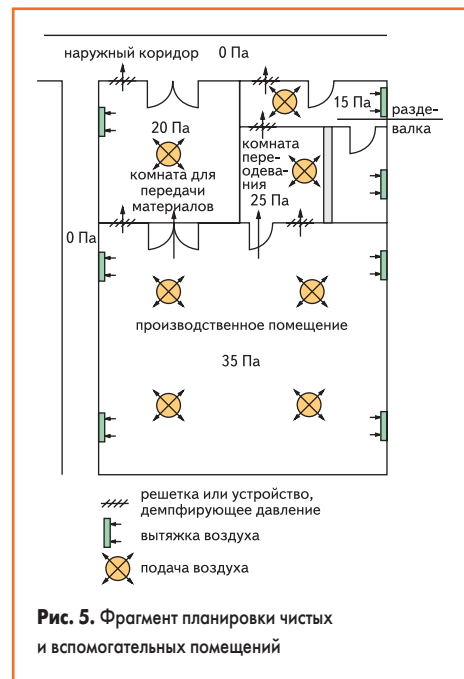
**Управление влажностью**

Относительная влажность воздуха в ответственных зонах помещения контролируется специальными датчиками. При повышенной влажности понижают выходную температуру на охладителе воздуха для уменьшения влагосодержания (избыток влаги конденсируется на испарителях). Для компенсации понижения температуры потока воздуха теплообменник второго подогрева поддерживает требуемый температурный режим. Для повышения влажности воздушного потока включают ультразвуковые увлажнители, снабженные деионизованной водой с удельным сопротивлением порядка 1 МОм.

**Вытяжная вентиляция**

Обычно вытяжные системы подразделяются по типам удаляемых веществ на кислотные, органические, токсичные, тепловые и общепромышленные. Для улавливания кислотных паров используют горизонтальный или вертикальный скруббер. Выбросы растворителей и ле-

тухих требуют обработки путем абсорбции, последующего выпаривания, концентрации и утилизации (сжигания) на месте. Токсичные выбросы обычно нейтрализуются путем высокотемпературной обработки непосредственно на месте их происхождения. Надлежащим образом организованная обработка воздуха может свести к минимуму количество выбросов в атмосферу.



**Уровень шума и вибрации**

Работающее оборудование является источником шума и вибрации. И то и другое создает помехи в обеспечении точности позиционирования и совмещения. Работающие сверлильные станки, у которых шпиндели перемещаются вверх-вниз со скоростью до трех ударов в секунду, могут мешать друг другу и другому прецизионному оборудованию, если отсутствует виброизоляция.

Слоистые («вафельные») бетонные полы хорошо предотвращают передачу вибраций. Но и на таких полах необходимо виброизолировать шумящее оборудование с помощью пружин и рессор, гибких соединений или изолированных фундаментов.

Городские постройки часто грешат наличием низкочастотной вибрации от огибающих здание ветровых потоков, движения транспорта (хуже всего метро), движения воздушных потоков по коробам внутренней вентиляционной системы. Избавиться от низкочастотной вибрации очень трудно, низкочастотные шумы проникают через большинство типов звукоизоляции.

**Магнитные и электромагнитные поля**

Величина магнитного поля Земли у поверхности составляет 0,5 Гс. Безопасный уровень магнитного поля для жизни и здоровья человека составляет 5 Гс. Особенно чувствительны к магнитным полям электронные системы управления оборудованием, измерительные приборы. Для участков тестирования и лабораторного анализа, метрологических лабораторий магнитное излучение должно быть на уровне 0,05 Гс и ниже. Источником магнитного излучения могут служить силовые кабели, индукторы, трансформаторы и т. п. При проектировании производственных помещений приходится это учитывать.

**Электростатический заряд в воздухе и на поверхности**

Статическое электричество возникает при разделении поверхностей, или как трибоэлектричество, или средство частиц пыли к тому или другому электрическому заряду, который они приобретают самопроизвольно. Если образовавшийся на поверхности заряд не имеет возможности быстро стекать, он накапливается на поверхности материала и называется электростатическим.

Аккумулированный электростатический заряд является источником проблем на большинстве операций технологических процессов производства электроники. Он может стать причиной воспламенения паров растворителей, вызывать слипание тонких слоев материалов и пленок, накапливать на поверхности пыль и мелкие частицы из воздуха (особенно чувствительны к этому литографические процессы), вызывать повреждение или даже разрушение тонких полупроводниковых структур электронных компонентов, вносить сбой в работу микроэлектронного оборудования.

Обычно минимальная энергия возгорания для смеси воздуха и углеводородов (в частности, паров растворителей) составляет 0,2 мДж при электростатическом разряде в несколько киловольт.

**Заключение**

Инженерное обеспечение современного производства электроники неперенный атрибут, гарантирующий воспроизводство высоких норм проектирования, надежности аппаратуры и низкий уровень брака.

Приходится считаться с тем, что вложения в развитие основного производства соизмери-

мы с объемами затрат на инженерное обеспечение этого производства. Но без этого трудно гарантировать надежность производимых продуктов и уверенно высокий выход годной продукции.

**Литература**

1. Уайт В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. Пер. с англ. М., Клинрум. 2002
2. Проектирование чистых помещений. Под ред. В. Уайта. Пер. с англ. М., Клинрум. 2004.
3. ГОСТ ИСО 14644-1-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха.
4. ГОСТ Р 51752-2001 Чистота промышленная. Обеспечение и контроль при разработке, производстве и эксплуатации продукции.
5. ГОСТ Р ИСО 14644-2-2001 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 2. Требования к контролю и мониторингу для подтверждения постоянного соответствия ГОСТ Р ИСО 14644-1-2000.
6. ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию ГОСТ 12.1.005-88. «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
7. МУ 3.3.2.056 «Определение класса чистоты производственных помещений и рабочих мест». М., Госкомсанэпиднадзор России. 1996.
8. ГОСТ 25991 «Боксы и кабины пылезащитные с ламинарным потоком воздуха».
9. Federal Standard USP 209E «Airborne particulate cleanliness classes in cleanrooms and clean zones». September 11, 1992.