

К.Ю. Гусев, Д.В. Жильцов, В.Л. Бурковский, П.Ю. Гусев  
**ПРОБЛЕМАТИКА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ  
МИКРОКЛИМАТА В МИКРОЭЛЕКТРОННОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

*Воронежский государственный технический университет,  
Воронеж, Россия*

*В настоящее время всё большее внимание при стратегическом планировании развития промышленности в России уделяется предприятиям, работающим в сфере микроэлектроники. Подтверждением тому является большое число проводимых конференций, форумов и встреч на самом высоком государственном уровне по проблемам развития микроэлектроники в России. Основная часть предприятий, выпускающих микроэлектронную продукцию, начинали свою работу еще в советское время. То есть на сегодня имеются производственные цеха, которые по своим размерам и характеристикам не совпадают с современными производственными линиями выпуска микроэлектронной продукции. В статье приводится влияние параметров микроклимата на качество выпускаемой продукции. Рассматриваются как характеристики воздуха, поступающего и удаляемого из помещений, так и электростатические характеристики, несомненно, оказывающие влияние на производство микроэлектроники и часто приводящие к браку, а также параметры воды, используемой в производстве. Результатом обзора существующего на сегодня в микроэлектронной промышленности уровня управления описанными выше параметрами является формулирование проблематики – отсутствие системного подхода при постановке технического задания, разработки всех стадий проекта и реализации строительства или реконструкции предприятий микроэлектронной промышленности в ключе управления параметрами микроклимата цеха, электростатическими параметрами и характеристиками промышленной воды и газа.*

**Ключевые слова:** управление, микроэлектронная промышленность, контроль параметров

### **Введение**

В настоящее время непрерывное увеличение объемов выпускаемой в мире продукции, повышенные требования точности производства и эксплуатации, а также требования, предъявляемые к ее качеству в различных областях и сферах промышленного производства, требуют необходимых технологических и эксплуатационных режимов работы инженерных систем зданий и сооружений.

Актуальность предъявляемых требований к инженерному оборудованию, обеспечивающему требуемые показатели качества климата и окружающей промышленный цех среды, а также адекватность и точность

измерений важна в связи с развитием технологий по производству новых видов продукции микроэлектронной техники, прецизионных приборов, средств вычислительной техники, технических средств автоматизации технологического оборудования. Даже незначительное изменение параметров микроклимата от заданных по технологии производства значений вызывает значительное отклонение физико-механических свойств конечных изделий, что приводит к браку.

К производственным цехам предприятий микроэлектронной промышленности предъявляют не только самые высокие требования к чистоте воздуха, но и высокие параметры качества у технологических жидкостей и газов. Прежде всего, это связано с совершенствованием технологий изготовления продукции электронной промышленности и уменьшением размеров используемых в её производстве элементов [1].

Применение чистых зон в производстве микросхем, прежде всего, связано с важностью осуществления практически всех технологических операций в условиях максимальной чистоты и при определённых параметрах воздушной среды, изменение значений которых недопустимо. Повышенные требования также предъявляются к системе заземления чистых помещений для исключения статического электричества.

### **Контроль параметров в эксплуатации**

В составе технологического процесса производства микроэлектронной продукции должны быть предусмотрены 100%-ные отбраковочные испытания выпускаемых микросхем в соответствии с Таблицей 1.

Мероприятия (Таблица 1.) являются обязательными для всех предприятий микроэлектронной промышленности. Из Таблицы видно, что особое внимание уделяется параметрам микроклимата при производстве и проведении испытаний продукции. [2]

Таблица 1 – Мероприятия проверки оборудования

Вид испытания	Метод и условия проведения испытания
1. Визуальный контроль кристаллов	Увеличение 80

2. Визуальный контроль сборки перед герметизацией	Увеличение 16-32
3. Испытание на воздействие изменений температуры среды	От минус 60 °С до повышенной предельной температуры среды, установленной в ТУ на микросхемы конкретных типов, но не менее +85 °С; 10 циклов
4. Испытание на воздействие линейного ускорения (кроме микросхем монолитной конструкции)	200000 м/с (20000 ); 100000 м/с (10000) - для гибридных микросхем
5. Электро-термотренировка	168 ч; 125 °С; электрический режим указывают в ТУ на микросхемы конкретных типов
6. Электрические испытания	
6.1. Проверка статических параметров при различных климатических условиях	Устанавливают в ТУ на микросхемы конкретных типов
6.2. Проверка динамических параметров при нормальных климатических условиях	Устанавливают в ТУ на микросхемы конкретных типов

В производственных помещениях может быть организован мониторинг параметров, то есть их текущий контроль, с помощью технических средств выполняемый непрерывно или с малой периодичностью (например, не реже одного раза в 30 мин или в час). Системы мониторинга могут контролировать и другие параметры, кроме концентрации частиц, например, перепад давления, температуру и влажность воздуха [3]. Это позволяет получать документальную картину

изменения основных параметров в критических точках помещения и выполнять анализ тенденций изменения. Все контрольно-измерительное оборудование должно быть калибровано.

Программа испытаний содержит перечень контролируемых параметров с указанием периодичности контроля, их предельно допустимых значений, а также уровней предупреждения (alert level) и тревоги (alarm level).

Пример приведен в Таблице 2.

Таблица 2 – Предельно допустимые значения при испытаниях

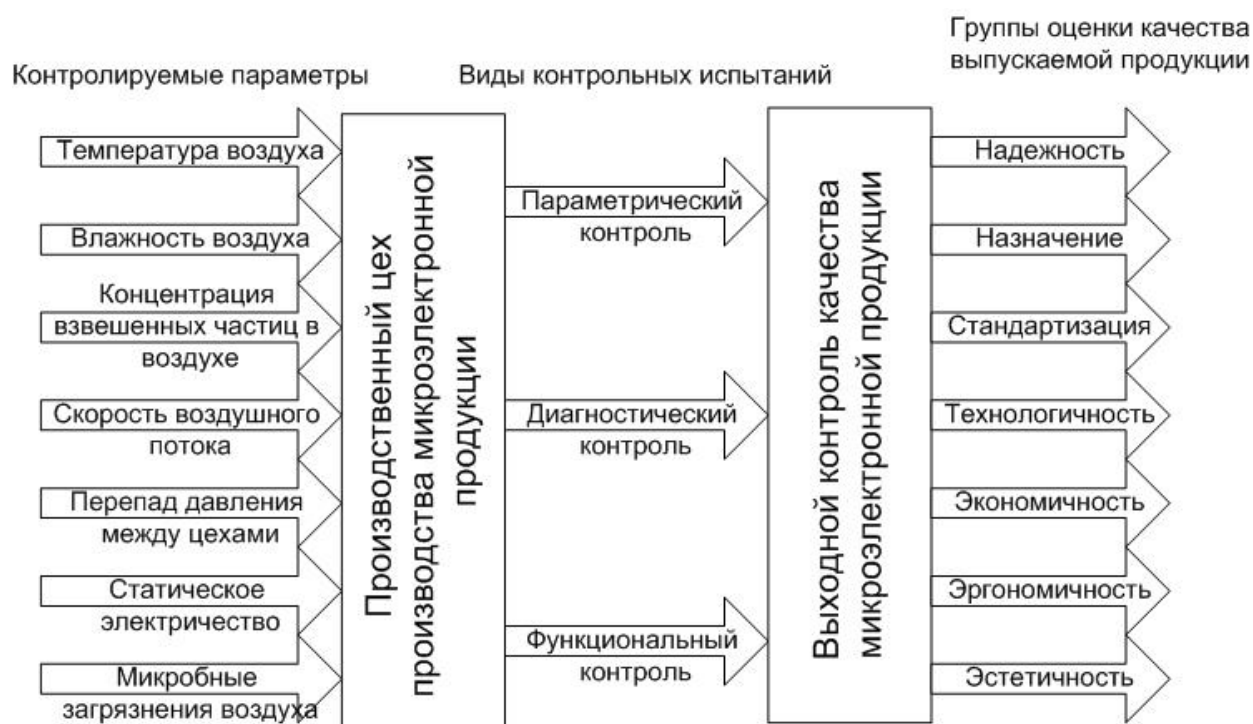
Контролируемые параметры	Допустимые значения параметров	Уровни	
		Предупреждения	Тревоги
Концентрация частиц	$C_n$	$0,3 C_n$	$0,5 C_n$
Перепад давления, $Па$	10-15	12	10
Перепад давления на фильтрах в кондиционерах	$AP$	$(1,5-2) AP$	$(2-3) AP$
Расход воздуха	$L$	$0,9 L$	
Скорость потока воздуха (для зон с однонаправленным потоком)	$u$	$\pm 15 \% \text{ от } u$	$\pm 20 \% \text{ от } u$
Температура воздуха, $^{\circ}C$	$22^{\circ}+2$	-	-
Влажность воздуха, %	30-65		-

Периодичность контроля устанавливается службой эксплуатации, либо нормативными документами. Такими нормативными документами для любых чистых помещений и производственных цехов микроэлектронной промышленности являются ГОСТ Р ИСО 14644-2.

Цель контроля параметров воздуха помещений производственных цехов - проверить соответствие помещения заданному классу чистоты. Эта работа выполняется как на этапе аттестации помещения после завершения пуско-наладочных работ, так и во время эксплуатации. Методы испытаний и контроля параметров чистых помещений изложены в различных стандартах и рекомендациях.

В производственных помещениях предприятий микроэлектроники, контролируются следующие параметры (Рисунок):

- концентрация частиц в воздухе,
- температура и относительная влажность воздуха,
- целостность финишных фильтров,
- время восстановления чистоты воздуха после внесения в него загрязнений,
- чистота поверхностей,
- расход воздуха и кратность воздухообмена (для неоднаправленного потока),
- статическое электричество и выделение ионов,
- герметичность чистого помещения



Контролируемые параметры и группы качества выпускаемой продукции

Выделяют основные три вида выходного контроля продукции [4]:

- *параметрический контроль* используется для микросхем с низкой интеграцией и включает измерения основных характеризующих параметров используя постоянный ток;
- *функциональный контроль* используется для тестирования микросхем с высоким уровнем интеграции и включает

статистические и динамические измерения на основе контрольной тестовой Таблицы;

- *диагностический контроль* наиболее эффективен при тестировании гибридных схем, которые могут заменить поврежденные элементы, расположенные на общей подложке.

Автоматизированные системы, используемые для управления интегральными схемами, характеризуются следующими основными параметрами: быстродействие, максимальное количество выводов, максимальное количество разрядов кода интеграции, выдаваемых одной командой цикла управления одной, количество рабочих станций при возможной одновременной работе, состав и программное обеспечение

### **Система управления, автоматике и контроля микроклиматом (СУАК)**

Модернизированная система вентиляции и кондиционирования экономична, так как автоматизация значительно снижает эксплуатационные расходы всей производственной системы. Улучшаются показатели безопасности и происходит снижение коэффициента энергопотребления. Кроме того, значительно сокращается количество квалифицированных специалистов, осуществляющих техническое обслуживание системы. Предварительная система вентиляции может автоматически собрать данные по деятельности каждого компонента. Важным преимуществом является то, что автоматическая система вентиляции и кондиционирования воздуха включает в себя функции удаления различных продуктов сгорания и дыма.

Проверить актуальность и адекватность системы при анализе и разработке проектной документации, или после монтажа и проведения комплекса пуско-наладочных работ, или даже через месяцы работы невозможно. Оценить уровень адаптации систему управления возможно только после непрерывной работы в проектном режиме функционирующей системы хотя бы в течение всех климатических сезонов, оценить, как система функционировала и регулировала параметры цеха в условиях резкого изменения температур, как она обрабатывает и сигнализирует загрязнение фильтрующих элементов. Однако современные средства моделирования позволяют проводить анализ разрабатываемых систем, как на имитационных моделях, так и на математических. В рамках предлагаемого комплексного подхода к решению задачи контроля и управления микроклиматическими параметрами предлагается проводить предпроектный многокритериальный анализ разрабатываемых систем управления, автоматике и контроля микроклиматом посредством моделирования. Для реализации адекватной модели рассмотрим основные функции и состав системы [5].

СУАК в целом должна эффективно и оперативно выполнять следующие основные функции:

- поддержание фиксированных значений объема подачи воздуха по в помещение цеха микроэлектронной промышленности от приточной системы независимо от степени загрязнения фильтрующих элементов;
- поддержание постоянной температуры воздуха в помещении, приточного воздуха, а также вытяжного в зависимости от алгоритма управления;
- контроль уровня засоренности и запыленности фильтрующих элементов;
- непрерывный контроль и защита от размораживания водяных калориферов;
- непрерывный контроль и защита от перегрева электронагревателей;
- управление уровнем производительности вентилятора;
- визуализация текстовых сообщений о состоянии системы в диспетчерской;
- автоматическое выключение системы в случае аварийной ситуации с формированием выходного аварийного сигнала;
- автоматическая остановка системы по внешней команде от пожарной сигнализации [6].

### **Деионизированная вода**

Деионизированная (деионизованная) вода — это глубоко обессоленная сверхчистая вода, не содержащая ионов примесей. В зависимости от назначения деионизованная вода имеет удельное сопротивление 1 МОм•см и более. Деионизацию осуществляют с помощью ионообменных смол с предварительным использованием обратного осмоса. Деионизованная вода применяется в электронном приборостроении, энергетике, при выращивании кристаллов, производстве печатных плат.

В связи с быстрым развитием микроэлектроники растёт потребность в получении особо чистой воды. Ультрачистая вода используется в производстве печатных плат, телевизионных трубок, интегральных микросхем, полупроводников, микропроцессоров, транзисторов и ЖК дисплеев. Большинство изделий изготавливают методом химической обработки поверхности монокристаллической кремниевой пластины. После каждой стадии производства поверхность пластины должна быть обработана так, чтобы с неё смылись вещества, которые использовались на предыдущей стадии. Это могут быть флюсы, клей, паяльная паста и другие

соединения, используемые как в пайке, так и в ведении в кремниевую пластину электрически активных примесей. Для отмывки пластины и получения тем самым химически чистой поверхности требуется ультрачистая вода. Так, в технологии производства интегральных микросхем кремниевая пластина подвергается как минимум 50 циклам обработки деионизованной ультрачистой водой. В среднем на отмывку одной пластины тратится около 5000 л ультрачистой воды.

Ультрачистая вода, применяемая для отмывки кремниевых пластин, не должна содержать никаких загрязнителей, к которым обычно относятся ионы натрия и хлора. Нельзя допустить, чтобы после испарения промывной ультрачистой воды на пластине остались какие-либо примеси, присутствующие в ультрачистой воде. Они могут привести к дефектам пластины, коррозии, снижению сопротивления изоляции, искажению рисунка слоёв и другим проблемам.

### **Заключение**

Развитие микроэлектронной промышленности в стране является одним из приоритетных направлений стратегического развития. Комплектующие и готовые изделия, производимые микроэлектронной промышленностью, являются частью длинной цепочки как тяжелой, так и в легкой промышленности, без определенных комплектующих и изделий, мы не можем себе представить современный цифровой мир. Таким образом, в результате была сформулирована актуальная проблематика развития систем контроля и управления параметрами микроклимата в микроэлектронной промышленности – отсутствие системного подхода при постановке технического задания, разработки всех стадий проекта и реализации строительства или реконструкции производственных цехов и предприятий.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Смеляков А. Л., Тихонов А. Ф., Мугаттарова А. М. Автоматическое регулирование перепада избыточного давления между смежными помещениями // Механизация строительства. – 2015. – №. 12. – С. 48-50.
2. Побат С. В. Автоматизация процессов инженерных систем теплоснабжения и кондиционирования промышленных предприятий: дис. – автореферат диссертации к. т. н. Москва, 2010.
3. ГОСТ 18725-83. Микросхемы интегральные. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3, 4).
4. Уайт В. Проектирование чистых помещений. – Клинрум, 2004.



5. Фесенко Э. О. Автоматизация промышленных систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Вестник современных исследований. – 2018. – №. 2.2. – С. 58-59.
6. Востоков В. В., Васюков А. Н. Технологии создания «чистых помещений» в ЛПУ РФ // Медицинский алфавит. – 2012. – Т. 3. – №. 16. – С. 43-52.
7. Горлов М. И. Статическое электричество и полупроводниковая электроника // Природа. – 2006. – №. 12. – С. 27-36.

K.Y. Gusev, D.V. Zhiltsov, V.L. Burkovsky, P.Y. Gusev  
**THE PROBLEMS OF MONITORING AND CONTROL OF  
MICROCLIMATE PARAMETERS IN THE MICROELECTRONICS  
INDUSTRY**

*Voronezh state technical University, Voronezh, Russia*

*Currently, more and more attention in the strategic planning of industrial development in Russia is paid to enterprises working in the field of microelectronics. This is confirmed by a large number of conferences, forums and meetings at the highest state level on the development of microelectronics in Russia. The main part of the enterprises producing microelectronic products began their work in the Soviet period. That is, today there are production shops, which in their size and characteristics do not coincide with modern production lines of microelectronic products. The article presents the influence of microclimate parameters on the quality of products. Both the characteristics of the air entering and leaving the premises and the electrostatic characteristics undoubtedly affecting the production of microelectronics and often leading to marriage, as well as the parameters of the water used in the production are considered. The result of the review of the current level of control in the microelectronic industry described above parameters is the formulation of problems – the lack of a systematic approach in the formulation of technical specifications, the development of all stages of the project and the construction or reconstruction of the microelectronic industry in the key management parameters of the microclimate shop, electrostatic parameters and characteristics of industrial water and gas.*

**Keywords:** control, microelectronic industry, control of parameters

## REFERENCES

1. Smelyakov A. L., Tikhonov A. F., Mugattarov A. M. Automatic control of excess pressure differential between adjacent areas // Mechanization of construction. – 2015. – no. 12. – pp 48-50.
2. Pobat S. V. automation of processes of engineering systems of heat supply and air conditioning of industrial enterprises: dis. – abstract of the thesis Moscow, 2010.

3. GOST 18725-83. Integrated circuits. General technical conditions (as Amended by N 1, 2, 3, 4).
4. White V. the Design of clean rooms. – Cleanroom, 2004.
5. Fesenko E. O. automation of industrial ventilation and air conditioning systems. Bulletin of modern research. – 2018. – no. 2.2. – pp 58-59.
6. Vostokov V. V., Vasyukov A. N. Technologies for creating "clean rooms" in the health care facilities of the Russian Federation // Medical alphabet. – 2012. – Vol. 3. – no. 16. – pp 43-52.
7. Gorlov M. I. Static electricity and semiconductor electronics // Nature. – 2006. – no. 12. – pp 27-36.