

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического
приборостроения»

На правах рукописи



Алёшкин Никита Андреевич

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА
В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

05.02.22 – Организация производства
(радиоэлектроника и приборостроение)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор,
Лауреат Премии Правительства Российской Федерации,
Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации
Семенова Елена Георгиевна

Санкт-Петербург – 2017

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ.....	12
1.1 Общая характеристика технологического процесса производства бортовой микроэлектроники.....	12
1.2 Особенности функционирования климатической динамической системы при производстве бортовой микроэлектроники.....	30
1.3 Анализ систем автоматического мониторинга и управления микроклиматом в помещениях для изготовления бортовой микроэлектроники	35
1.4 Анализ направлений совершенствования систем управления микроклиматом в чистых производственных помещениях на основе анализа патентной активности.....	41
1.5 Анализ рисков при реализации процесса автоматического управления климатической динамической системой при производстве микроэлектроники.	47
1.6 Обоснование направлений совершенствования производственного процесса изготовления бортовой микроэлектроники путем повышения качественных показателей климатической системы в чистых помещениях.....	62
1.7 Результаты и выводы по разделу 1	70
2 ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МОНИТОРИНГА С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ	71
2.1 Особенности автоматического управления климатической динамической системой в условиях априорной неопределенности	71
2.2 Математическая модель системы автоматического мониторинга климатических параметров в производственном помещении для изготовления бортовой микроэлектроники.....	76

2.3 Математическая модель процессов автоматического управления состоянием динамической системы на основе рекуррентного оценивания	90
2.4 Автоматическое управление климатической динамической системой на основе рекуррентного мониторинга с нечеткой логикой	96
2.5 Результаты и выводы по разделу 2.....	104
3 МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МОНИТОРИНГА С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ	106
3.1 Методика формирования функций принадлежности и базы лингвистических правил при использовании экспертного оценивания и данных рекуррентного мониторинга.....	106
3.2 Алгоритмы моделирования процедур адаптивного нечеткого управления климатическими параметрами технологического процесса производства микроэлектроники.....	128
3.3 Система нечеткого управления климатическими параметрами в технологическом процессе производства микроэлектроники	137
3.4 Модель функционирования климатической динамической системы и особенности ее реализации в среде компьютерной математики MatLab.....	142
3.5 Анализ качественных показателей процедур управления климатической динамической системой в чистых производственных помещениях на основе результатов статистического моделирования	146
3.6. Результаты и выводы по разделу 3.....	170
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	173
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	176
Приложение А	189
Приложение Б.....	197
Приложение В.....	199
Приложение Г	201
Приложение Д.....	207

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное усложнение радиоэлектронных устройств, фактор импортозамещения, жесткие ограничения на параметры производственных процессов (ПП) ведут к тому, что управление ПП осуществляется в условиях априорной неопределенности вследствие неточности описания моделей наблюдения и состояния объекта управления, погрешности и неполноты измерительной информации, дрейфа характеристик технологического оборудования и т.п. В этих условиях важное значение при управлении производством бортовой микроэлектроники приобретает дополнительная информация качественного характера в виде знаний и опыта технологов. Корректное представление и использование такой информации в модели управления позволяет эффективно учесть сложные внутренние взаимосвязи исследуемого технологического объекта.

Тенденции развития бортовой микроэлектроники, связанные с возросшей зависимостью качества изделий от чистоты воздуха помещений, как технологической среды – объективная реальность высокотехнологичных производственных комплексов. Это обусловило переход к увеличению номенклатуры и характеристик среды, подлежащих мониторингу и регулированию. Современная индустрия чистых производственных помещений (ЧПП) позволяет в процессе многократной фильтрации минимизировать проникновение в ЧПП опасных для производства микроэлектроники частиц. Вместе с тем, опыт эксплуатации ЧПП и анализ причин снижения выхода годных указывают на другие факторы производственной среды. Действительно, микроклимат ЧПП формируется системой кондиционирования в ходе обменных процессов воздушных потоков. При этом укрупнение неизбежных наночастиц происходит при изменении температуры и относительной влажности воздуха. Поэтому парирование причин образования недопустимо крупных частиц, недопущение реализации механизмов агломерации наночастиц и выработка

решений по устранению или минимизации их негативного влияния представляет как научный, так и практический интерес при проектировании ЧПП для изготовления бортовой микроэлектроники.

В трудах отечественных и зарубежных ученых в области автоматизации управления производством микроэлектроники описаны системы автоматического управления (САУ), способные реализовывать некоторый жесткий алгоритм и малоэффективные в условиях плохо прогнозируемой динамики климатических параметров, требующих реализации гибких стратегий управления и принятия оперативных адекватных и эффективных решений. Одним из таких процессов выступает процедура адаптивного управления климатической динамической системой (КДС) в ПП изготовления бортовой микроэлектроники. Анализ технологии производства микроэлектроники указывает, что при разработке моделей управления не все виды неопределенности учитываются и могут быть формализованы традиционно применяемыми методами, отсутствует целенаправленное ориентирование предлагаемых средств управления на реализацию адаптивных, устойчивых и энергосберегающих технологий управления ПП.

Таким образом, актуальной является научная задача повышения эффективности ПП изготовления бортовой микроэлектроники путем разработки методов и алгоритмов адаптивного управления, соответствующих тенденциям развития технологии прецизионного производства радиоэлектроники. При этом основное содержание методик и алгоритмов управления составляет адекватная математическая модель операций, предусмотренных технологией производства, призванных рациональным образом удерживать в заданных границах климатические параметры ПП.

На сегодняшний день не использованным резервом повышения качественных показателей производства бортовой микроэлектроники представляется результативное совершенствование технологий автоматического

управления ПП на основе синтеза интеллектуальных процедур принятия решения в условиях непрогнозируемых возмущений. Иными словами, система мониторинга и обработки наблюдений, сопровождающая ПП, должна обеспечивать максимальный учет дополнительной информации, которая может быть представлена как в количественной, так и в лингвистической форме.

Актуальность совершенствования существующих и создания перспективных средств управления производством микроэлектроники (бортовой авионики) подтверждается включением направлений «Технологии создания ракетно-космической и транспортной техники нового поколения», «Технологии создания высокоскоростных транспортных средств и интеллектуальных систем управления новыми видами транспорта» и «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем» в Перечень критических технологий РФ, утвержденный Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899, а также осуществлением Государственной программы Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы», утвержденной распоряжением правительства от 15 декабря 2012 года №2396-р.

Степень научной разработанности темы.

Вопросы организации производства получили развитие в работах Т.Р. Газизова, Ю.П. Морозовой, В.И. Жулева, С.Ю. Ягудина, С.Я. Бабаскина, С.В. Валдайцева, Ю.К. Фетисова, Е.Г. Семеновой, Г.И. Коршунова, Ш.Ш. Губаева, А.Е. Кучерявого, А.К. Казанцева, В.В. Ковалева, Н.М. Фонштейна, А.А. Харина, В.В. Царева, О.Г. Морозова, Ю.Б. Гимпилевича, Д.С. Чирова, А.В. Васильева и др.

Вопросы рекуррентного оценивания параметров динамических систем отражены в трудах Р. Калмана, И.А. Богуславского, М.Б. Невельсона, Ф.Н. Григорьева, В.В. Баранова, С.З. Кузьмина, Б.Г. Мельникова, М.Г. Степанова, А.В. Макшанова, А.А. Мусаева, О.А. Степанова,

В.С. Шибшаевича, М.С. Ярлыкова, Э. Сейджа, Дж. Мелса, Н.Т. Кузовкова, О.С. Салычева, Б.Ф. Жданюка и др.

Вопросам применения нечеткой логики в технологических процессах посвящены работы М.В. Буракова, М.Л. Кричевского, Ю.В. Фролова, О.Т. Андреева, Н.Г. Малышева, А.Н. Павлова и др.

Наличие большого объема исследований, тем не менее, не исключает недостаточной проработки теоретических вопросов устойчивого управления процессом изготовления бортовой радиоэлектроники и необходимость дальнейшего развития научных, методологических и системотехнических основ организации ПП, совершенствования математических моделей и методов управления микроклиматом в технологии производства, разработки критериев и методик мониторинга и оценки результативности, устойчивости производственно-технологических комплексов (ПТК).

Это подтверждает актуальность темы исследования и позволяет сформулировать цель, задачи, объект и предмет исследования.

Цель диссертационного исследования - повышение результативности управления климатическими параметрами в производственном процессе изготовления бортовой микроэлектроники с учетом внутренних и внешних возмущающих факторов.

Исходя из сформулированной цели, в работе были поставлены и решены следующие **научные задачи**:

- совершенствование научных и системотехнических основ организации устойчивого адаптивного управления климатическими параметрами в ПП изготовления бортовой микроэлектроники;
- разработка математической модели поведения климатических параметров ПП с учетом внутренних взаимосвязей и возмущающих факторов;
- разработка методов и средств мониторинга климатических параметров ПП на основе рекуррентной фильтрации наблюдений в условиях

нестационарных возмущений;

– разработка алгоритмов устойчивого автоматического управления микроклиматом в ПП на основе формирования управляющих воздействий при использовании нечеткого регулирования.

– разработка методики организации управления микроклиматом в ПП изготовления бортовой микроэлектроники, обеспечивающей реализацию ресурсосберегающих процедур и минимизацию технических рисков.

Предмет исследования – модели, методы и алгоритмы непрерывного устойчивого управления микроклиматом в ПП изготовления бортовой микроэлектроники.

Объект исследования – процесс влияния микроклимата производственных помещений на качественные параметры изготовления бортовой микроэлектроники.

Теоретической и методологической базой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, теории управления производственно-технологическими системами и комплексами. Методологическую основу составляют методы системного анализа и синтеза, логического и сравнительного анализа, методы наблюдения, количественного оценивания, аналитические, статистические и прогностические методы. Информационной основой исследования являются научно-методические материалы производственных предприятий, научно-исследовательских институтов и организаций, образовательных учреждений, научных и периодических изданий.

На защиту выносятся следующие результаты исследования:

– математическая модель поведения климатических параметров ПП с учетом внутренних взаимосвязей и возмущающих факторов;

– методика мониторинга микроклимата ПП на основе рекуррентной фильтрации наблюдений в условиях нестационарных возмущений;

- модель устойчивого автоматического управления микроклиматом в ПП на основе формирования управляющих воздействий при использовании аппарата нечеткого регулирования;

- методика организации управления микроклиматом в ПП изготовления бортовой микроэлектроники, обеспечивающая реализацию ресурсосберегающих процедур и минимизацию технических рисков;

- предложения по модернизации ПП изготовления бортовой микроэлектроники в условиях импортозамещения, микроминиатюризации и необходимости обеспечения заданных характеристик качества, надежности, энергопотребления.

Научной новизной обладают следующие результаты исследования:

- результаты анализа особенностей организации и управления ПП изготовления бортовой микроэлектроники, учитывающие особые требования к климатическим параметрам производственных комплексов;

- принципы построения системы мониторинга ПТК и адаптивного управления климатическими параметрами, обеспечивающие повышение технологических показателей ПП;

- математическая модель поведения климатических параметров при реализации ПП с учетом внутренних взаимосвязей и возмущающих факторов;

- модель системы устойчивого автоматического управления КДС при реализации ПП на основе рекуррентного оценивания с нечеткой логикой;

- методика ресурсосберегающего управления микроклиматом в ПП изготовления бортовой микроэлектроники.

Практической значимостью обладают:

- научно – методический аппарат моделирования процесса функционирования КДС при реализации ПП изготовления бортовой микроэлектроники с учетом требований по ресурсосбережению;

- методика организации ПП, основанная на рекуррентном нечетком

управлении КДС в условиях ограничений на параметры состояния;

– методика и алгоритмы оценки характеристик КДС в ПП при воздействии возмущающих климатических факторов;

– технические рекомендации по совершенствованию программно-технологического обеспечения систем управления климатом в ПП при изготовлении изделий бортовой микроэлектроники.

Апробация работы: Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на VIII международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы современной науки» (Москва, 2016 г.), Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке, технике, образовании» (Смоленск, 2016 г.), Международной научно-практической конференции «Новейшие достижения в науке и образовании» (Смоленск, 2016 г.), Международной научно-практической конференции «Теория и практика приоритетных научных исследований» (Смоленск, 2016 г.), Международной научно-практической конференции «Инновационные направления в науке, технике, образовании» (Смоленск, 2016 г.), Научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, секция «Радиолокация и радионавигация. Проектирование и технология производства РЭА» (АО «НПП «Радар ммс», Санкт-Петербург, 2016 г.), 69-й Международной студенческой научной конференции ГУАП (Санкт-Петербург, 2016).

Публикации: по результатам исследований, выполненных в диссертации, опубликовано 15 статей, в том числе 8 в ведущих рецензируемых научных изданиях, получено свидетельство о государственной регистрации «Базы данных состояний климатической системы в технологическом процессе производства микроэлектроники», рег. № 2016621383 от 13.10.2016г., свидетельство о государственной регистрации «Базы данных параметров математической модели системы автоматического управления микроклиматом в

чистом производственном помещении», рег. № 2016621384 от 13.10.2016 г.

Внедрение результатов исследования: внедрение основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе подтверждено актами об использовании, полученными автором от ОАО «НЦПЭ», АО «НПП «Радар ммс», ООО «ЛМТ», АО «НТЦ «Арикос», ГУАП.

Структура диссертационной работы: диссертация состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованной литературы из 127 наименований. Текст диссертации изложен на 187 страницах, содержит 90 рисунков и 47 таблиц. Общий объем диссертационной работы с учетом приложений составляет 210 страниц.

1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ БОРТОВОЙ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

1.1 Общая характеристика технологического процесса производства бортовой микроэлектроники

Электроника, как базовый элемент информационных и телекоммуникационных технологий, является важнейшей составляющей основных отраслей экономики.

Достижимые результаты в области разработки и изготовления радиоэлектронных компонентов неразрывно связаны с ведущими экономическими показателями:

- темпы роста валового продукта много ниже темпов роста объема производства радиоэлектроники;
- создание рабочего места, направленного на изготовление радиоэлектронной продукции, приводит к созданию до четырех рабочих мест в смежных отраслях;
- вложенные в производство радиоэлектроники инвестиции в среднем окупаются менее чем за два года.

Развитие радиоэлектроники в России является государственной задачей, так как оно полностью отвечает декларированным путям преобразования экономики, обеспечивает технико-экономическое совершенствование процесса разработки и производства аппаратуры, систем специального и общего назначения, укрепляет технологическую независимость (рисунок 1).

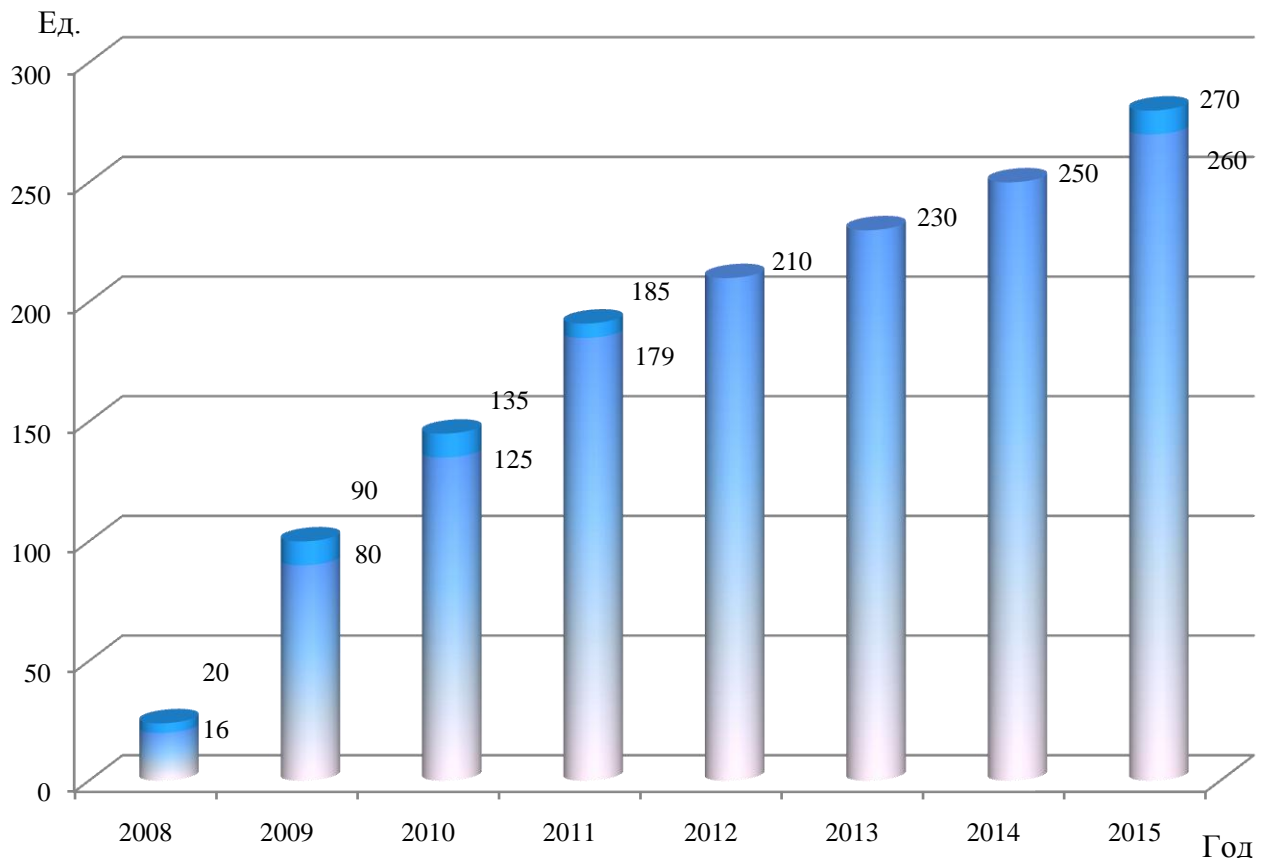


Рисунок 1 – Количество разработанных базовых технологий в области электронной компонентной базы и радиоэлектроники в 2008-2015 гг.

Современные требования к электронным приборам и оборудованию заставляют все эти процессы идти с все возрастающей скоростью, чтобы в возможно короткий срок ликвидировать причины отставания отечественных средств электроники (рисунок 2)[1].

Постоянное совершенствование процесса производства изделий микроэлектроники (в особенности бортовой авионики), повышение качества технологических процессов требуют увеличения плотности печатного монтажа, освоения инновационных технологий сборочно-монтажного производства, усиления технологического обеспечения надежности (рисунок 4) [1].

Повышение качества технологий, конструкций и условий производства бортовой микроэлектроники является одной из приоритетных задач отечественной промышленности (рисунок 4, рисунок 5) [1].

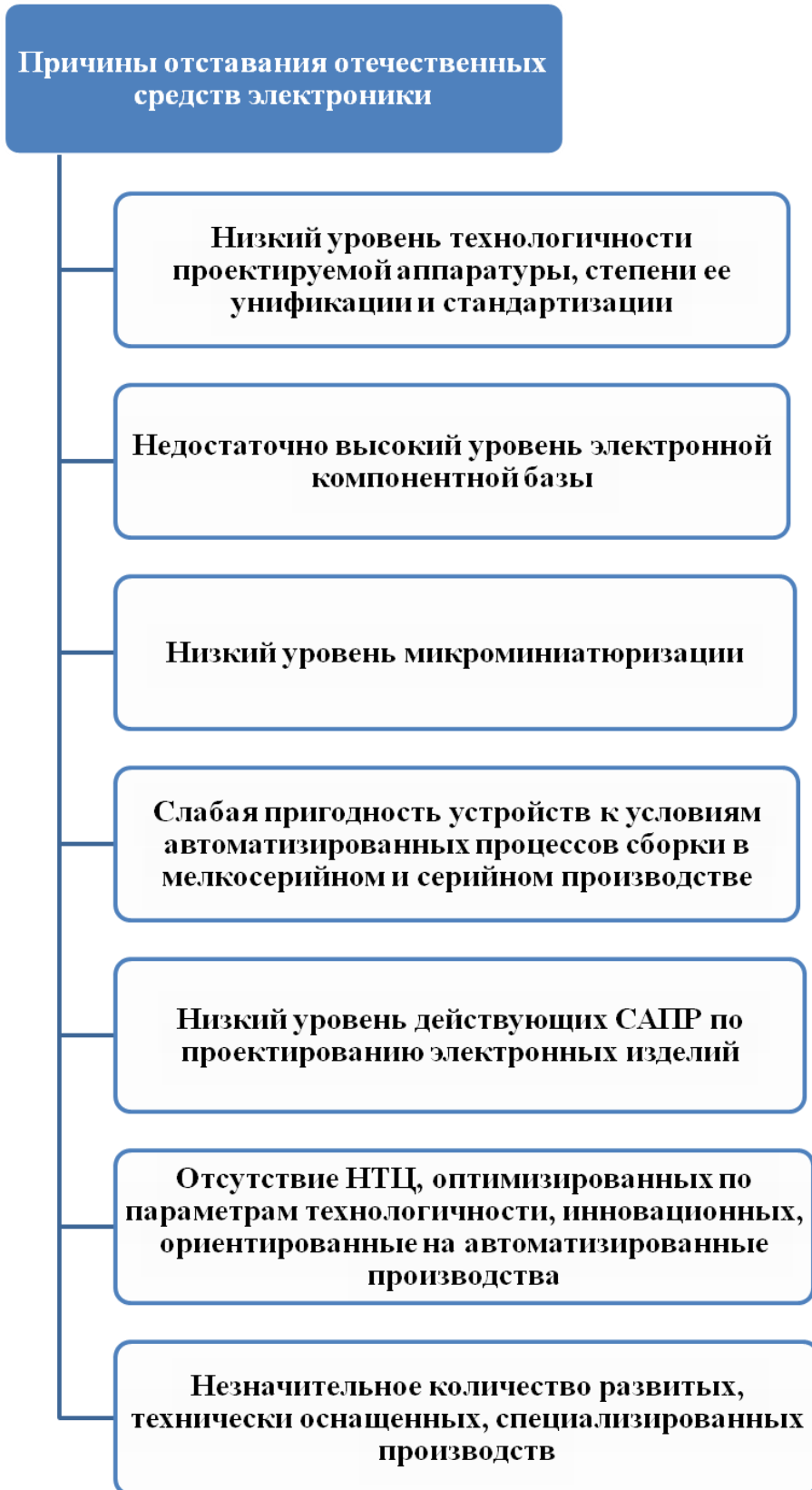


Рисунок 2 – Причины отставания отечественных средств электроники

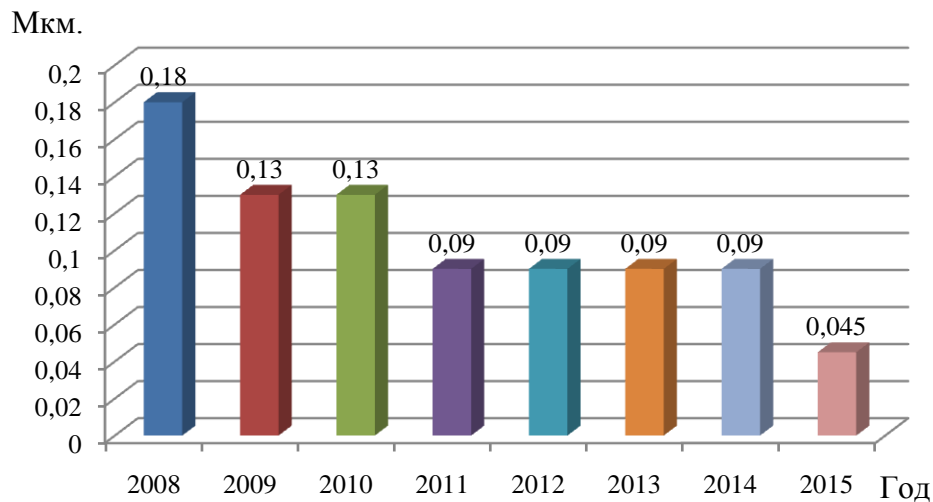


Рисунок 3 – Достигнутый технологический уровень электроники в 2008-2015 гг.

Сближение норм проектирования электронных изделий и уровня микроэлектроники обусловило необходимость в обеспечении соответствующих им условий производства по основным климатическим параметрам технологического процесса: температуре, влажности, давлению, уровню запыленности воздуха и др.

На сегодняшний день значительное количество организаций имеют возможность инициации наукоемких производств, но проблема, заключается не столько в оборудовании и материалах, сколько в технологиях создания радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), способной конкурировать с западными аналогами.

Зачастую, задаваясь целью создать производство высокого класса точности, разработчики ограничиваются инвестициями лишь в модернизацию производственного оборудования.

При этом не учитывается тот факт, что для качественно новых технологически изделий микроэлектронных компонент возникают более жесткие требования по парированию влияния концентрации аэрозольных частиц пыли, температуры, влажности, давления в производственном помещении, а также виброзащищенности оборудования и т.п. [32].

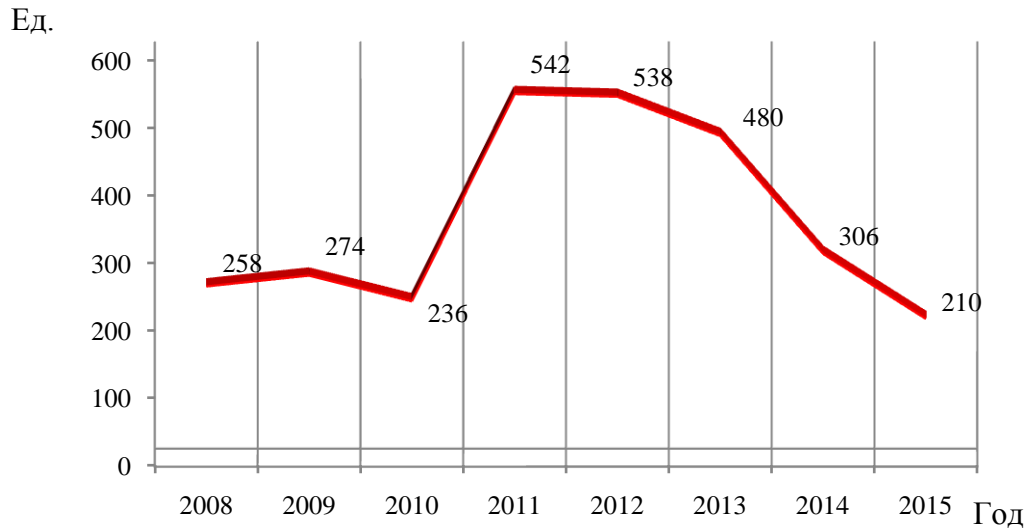


Рисунок 4 – Количество заключенных контрактов в рамках ФЦП
в 2008-2015 гг.

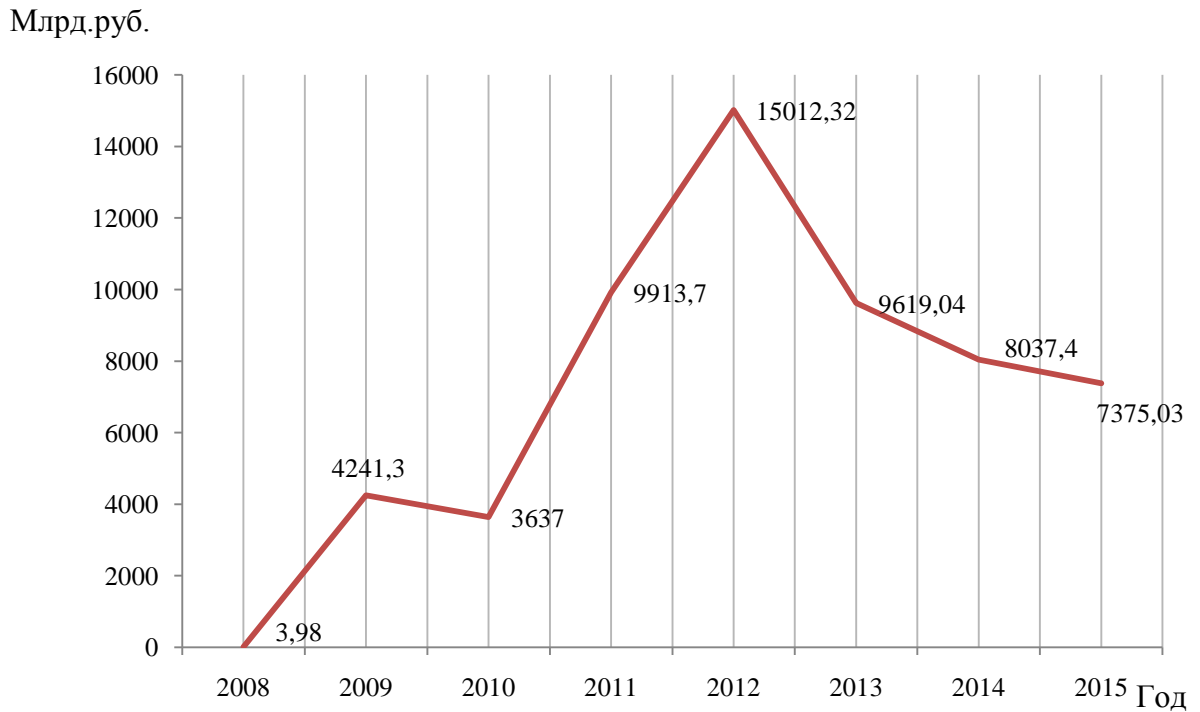


Рисунок 5 – Объем бюджетных средств, выделенных на НИОКР
в 2008-2015 гг.

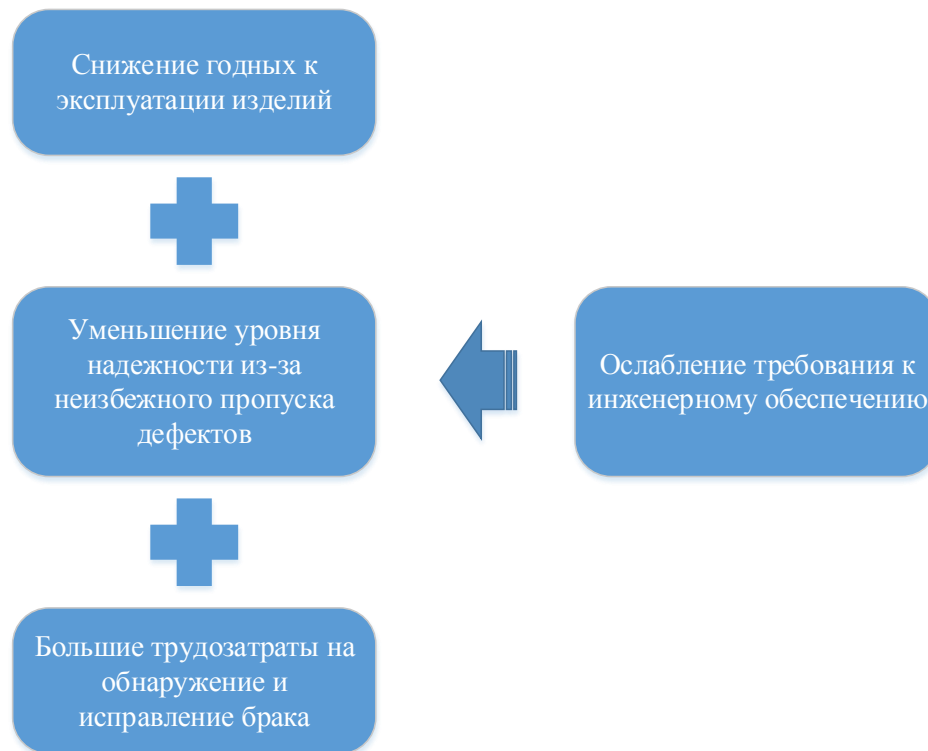


Рисунок 6 – Последствия несоблюдения технологических норм производства электроники

На сегодняшний день наметилась положительная тенденция к реконструкции российских предприятий электроники и ее направленность на создание высокотехнологических производств малой и средней серии, чтобы создать здоровую конкуренцию зарубежным производителям.

Производство РЭА наиболее сложное по разнообразию используемых в нем физических и химических процессов, требующих высокопрофессионального персонала с разносторонней специализацией.

Важной тенденцией последних лет является сокращение обеспечения трудовыми ресурсами гражданского производства перед ростом в пользу продукции, выпускаемой для применения в аэрокосмической отрасли (рисунок 7) [52].

Каждый год рост производства аэрокосмической техники опережал

прирост производства оборудования гражданского назначения. По примерным оценкам, объем производства гражданской техники сократился на 10–15%, а рост производства военной и аэрокосмической техники превысил 15%.

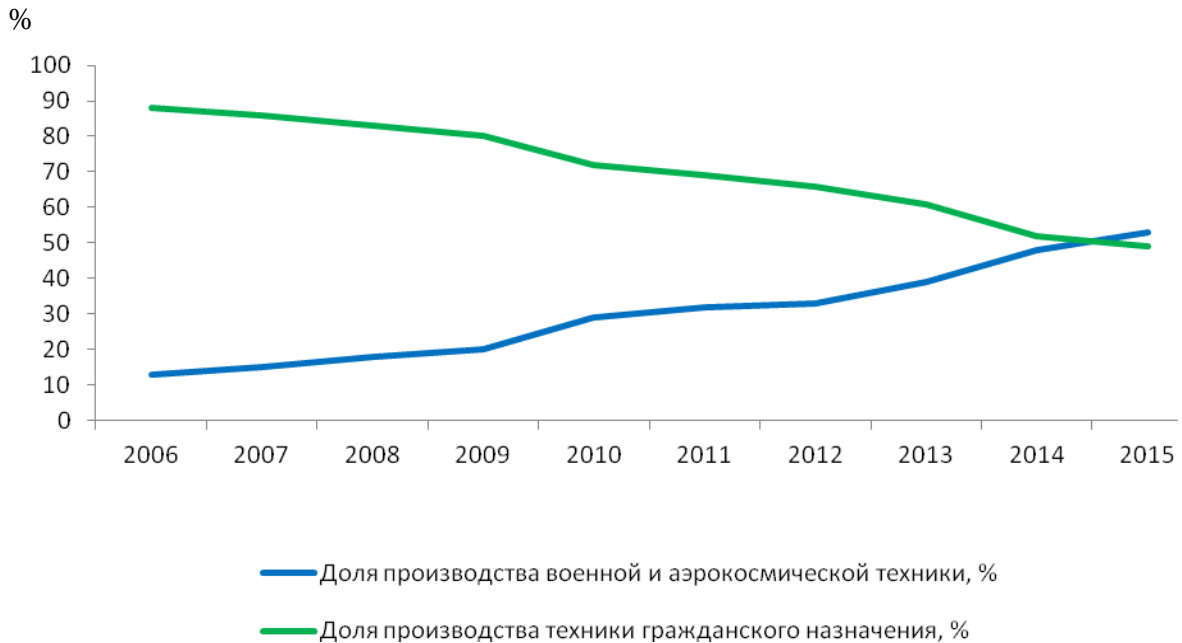


Рисунок 7 – Тенденция развития производства микроэлектроники для аэрокосмической отрасли перед гражданской

Изготовление изделий микроэлектроники, невозможно без контроля производственной среды [32, 67]. Надежность, качество и процент выхода годных изделий зависят от соответствия производственного помещения действующему стандарту. Помещения производства РЭА представляют собой герметичный контур (конструкцию «комната в комнате»), снабженный собственной независимой климатической динамической системой (КДС). Особые условия проектирования, строительства и эксплуатации чистых производственных помещений (ЧПП) требуют соответствия стандарту ГОСТ Р ИСО 14644 ч. 1-9 [8, 16-24]. На территории Российской Федерации действует обширная нормативная правовая база, на которую необходимо ориентироваться при проектировании и строительстве ЧПП (Приложение Б) [2, 5-24].

Однако большинство нормативных документов не содержат конкретной специфики (технических решений, характерных для различных отраслей промышленности), что ведет к ненормативным условиям производства, а, следовательно, нарушениям в части поддержания климатических параметров в заданных пределах и «промышленной чистоты» при производстве микроэлектроники.

На практике работы по созданию ЧПП ведутся, как правило, в соответствии с техническим заданием или техническими условиями, в основу которых не закладываются требования, отраженные в [8, 16-24], тем самым высокое качество, производимых в дальнейшем электронных компонентов ставится под угрозу.

Залогом достижения высокого уровня производства и обеспечения конкурентоспособности продукции является укомплектование производственных помещений инженерным оборудованием, обеспечивающим необходимую точность, а также системами управления процессами регулирования параметров производства - конструирование ЧПП, оснащенного системой контроля температуры, влажности, давления, концентрации пыли в воздухе. Технология изготовления микроэлектроники связана с увеличением степени интеграции, требующей значительного внимания к параметрам КДС внутри ЧПП. Вследствие того, что размеры наночастиц, попадающих на поверхность микроэлектронных изделий, изготавливаемых в ЧПП, соразмерны с элементами этих изделий, наиболее вероятен риск ухудшения качества продукции и ее последующий выход из строя. Требования предъявляемые к составу внутреннего воздуха ЧПП соизмеримы с требованиями, предъявляемыми к иным технологическим средам.

На рисунке 8 представлена микрофотография полупроводникового изделия с находящейся на его поверхности загрязняющей частицей, которая, в свою очередь, может вызвать электрическое замыкание и выход указанного

изделия из строя [56, 96].

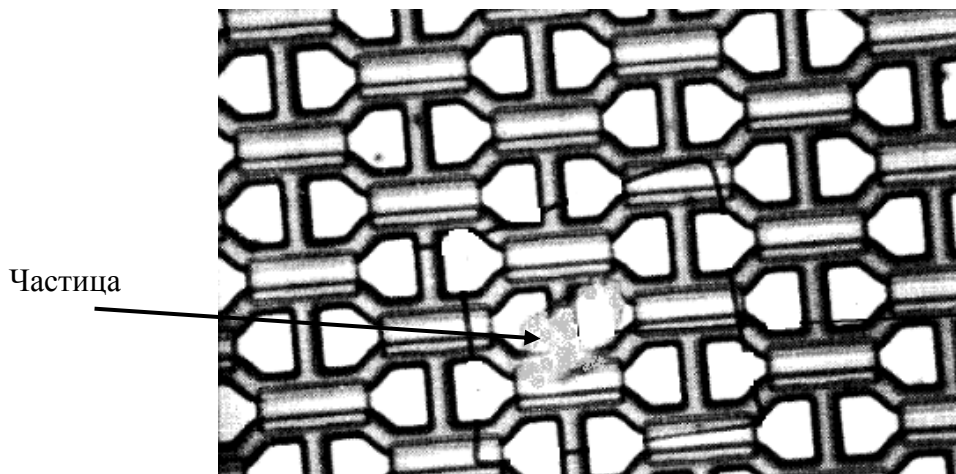


Рисунок 8 – Частица загрязнения на полупроводниковом приборе [66]

Учитывая изложенное, за базис принимаются требования электронной гигиены в ЧПП, как правило, по следующим позициям:

- к микроклимату ЧПП (влажность, температура, направленность воздушных потоков, перепад давления в смежных помещениях, концентрация пыли);
- к производственному оборудованию и технологической оснастке (наличие вибрации, шумов измерений и др.);
- к производственному персоналу (одежда, правила поведения в рабочих помещениях).

При организации ЧПП необходима координация всего технологического оборудования и учет факторов микроклимата, а также контроль множества параметров и характеристик.

В процессе подготовки и освоения технологий производства нанометровых схем перед конструкторами и технологами ставятся новые задачи. Зачастую, причиной снижения выхода годных является наличие в зоне производства микроселектронных компонент частиц пыли недопустимого количества и размера. Поэтому для поддержания в ЧПП заданных значений

климатических параметров необходима система кондиционирования и фильтрации воздуха (СКФВ), которая осуществляет процесс очистки, теплообмена и терморегуляции, увлажнения и снижения уровня влажности, а также рециркуляции воздуха.

Присутствие в системе скачков температуры приводит к изменениям в размерах обрабатываемых компонент, скорости и эффективности химических реакций и испарения применяемых материалов, структуре выпускаемой микроэлектроники. Так, например, увеличение температуры на 1°C ведет к линейному расширению полупроводниковой пластины диаметром 100 мм на 0,24 мкм. Тенденции развития микро- и нанoeлектроники таковы, что требуемый уровень термостабилизации уже сегодня составляет $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$.

Помимо вопросов термостабилизации необходимо обеспечить поддержание параметра влажности воздуха в задаваемых границах. Избыточное количество влаги оказывает отрицательное воздействие при осуществлении практически всех технологических процессов. Вследствие того, что молекулы воды имеют очень малый размер, они легко попадают внутрь материалов электронных компонент через микротрещины и, являясь химически активным элементом, начинают вступать в соединение со многими веществами, образуя кислоты, щелочи, соли и пр.

По многим физическим свойствам процесс коагуляции наночастиц схож с явлением кристаллизации, то есть процессом, при котором кристаллы образуются из пара, суспензии или вещества в аморфном или кристаллическом состоянии.

Коагуляция наночастиц возникает при достижении ряда определенных условий, будь то перенасыщение пара или значительное снижение температуры жидкостей, когда незамедлительно возникает множество мелких кристаллов.

Под коагуляцией наночастиц понимается слипание частиц коллоидной системы при их перемешивании и перемещении в процессе теплового

движения.

Результатом коагуляции являются вторичные частицы, образуемые посредством скопления более мелких частиц. Как следствие, коагуляция приводит к укрупнению частиц воздушной среды и уменьшению их количества.

Наночастицы постоянно реагируют на случайные молекулярные колебания скорости в среде ЧПП, поэтому все время пребывают в нерегулярном движении, которое провоцирует их взаимное столкновение. Это явление - основной постоянно действующий механизм коагуляции мелких частиц. Оно приводит к броуновской ассимиляции и способствует осаждению наночастиц на более крупные образования.

В производстве микроэлектроники размер топологического элемента или толщина пленки определяют соответствующий класс чистоты ЧПП и необходимый уровень контроля загрязнений.

Класс чистоты ЧПП определяется исходя из количества частиц пыли, а также из размера частиц ($\sim 1/10$ минимального размера топологического элемента).

Поскольку процесс производства микроэлектроники сопровождается возмущающими микроклимат воздействиями, для каждой чувствительной к колебаниям микроклимата операции технологического цикла (отвечающей за точность размеров и устойчивость в процессе монтажа фотошаблонов, экспонирование, проявление, сверление, прессование микроэлектронных компонент) задаются нормы отклонения текущих величин от граничных значений параметров микроклимата воздушной среды.

В технологических операциях, связанных с термической обработкой на поверхностях элементов могут образовываться неровности (эрозия), приводящая к ухудшению параметров готового изделия.

Граничные значения параметра «Влажность воздуха» в ЧПП установлены в [8, 17, 18], поскольку при минимальной влажности увеличивается уровень

статического заряда. Следует заметить, что при влажности воздушной среды ниже санитарной нормы, наблюдается падение работоспособности персонала. При низкой влажности, менее 30%, персонал ощущает дискомфорт, тогда как при превышении допустимого значения влажности, более 65%, создаются комфортные условия для роста бактерий и плесени, что также недопустимо в точном приборостроении.

В [8, 17-19] устанавливаются допустимые величины поддержания температуры воздушной среды: $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,3$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 5,0$. Интервал точности для параметра «Температура» задается в зависимости от конкретной операции технологического цикла, однако, значения параметра должны содержаться в пределах 20 – 24 °С. Требования к контролируемым параметрам микроклимата ЧПП приведены в Приложении А [99-101].

Допустимые значения для параметра «Влажность воздуха» установлены в следующих границах: $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 15\%$.

Как и для параметра «Температура» значения точности регулирования относительной влажности воздушной среды ЧПП выбираются в зависимости от технологических операций, но не должны превышать 65%.

Все операции технологического цикла производства бортовой микроэлектроники должны отвечать более жестким требованиям устойчивости климатических параметров и «попадать» в узкий диапазон, задаваемый для конкретной операции. Изменения в размерах фотошаблонов, заготовках печатных плат приведут к появлению брака и отсутствию точности совмещения элементов многослойных структур. Условия инженерного обеспечения современного производства перечислены на рисунке 9.

В производстве микроэлектроники зачастую трудно выделить чистые зоны (рисунок 10) [67]. Специфика ее производства (габариты и объемы продукции) диктует в первую очередь требования к ЧПП — основной среде производства [8-10, 16-24, 31].

Международный стандарт ИСО 14644 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» и межгосударственный стандарт ГОСТ Р ИСО 14644 [8, 16-24] содержат исчерпывающую информацию по обеспечению чистоты воздуха и степени концентрации взвешенных частиц в ЧПП.

В части 1 указанного стандарта представлена классификация чистоты воздуха (табл.1).

В таблице 2 представлены основные процессы, протекающие в чистых помещениях.



Рисунок 9 – Условия инженерного обеспечения современного производства

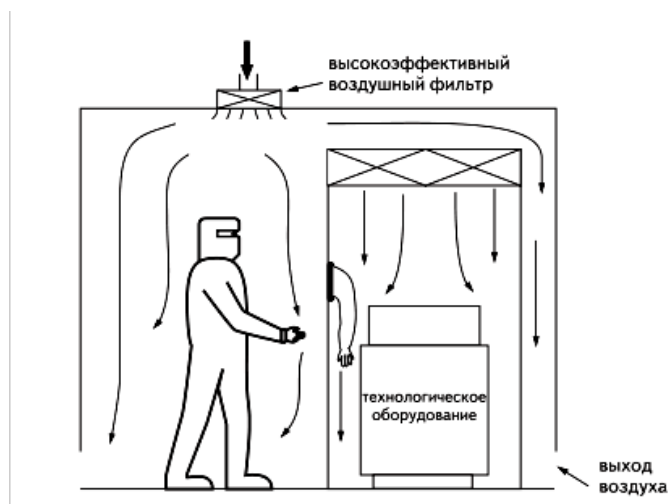


Рисунок 10 – Выделение чистых зон в чистых помещениях [66]

Таблица 1 – Классы чистоты по взвешенным в воздухе частицам для ЧПП [8]

Класс чистоты по ISO 14644	Предельно допустимая концентрация частиц (частиц/м ³ воздуха), размер которых равен или превышает указанный в таблице					
	≥ 0,1 мкм	≥ 0,2 мкм	≥ 0,3 мкм	≥ 0,5 мкм	≥ 1 мкм	≥ 5 мкм
ISO 1	10	2				
ISO 2	100	24	10	4		
ISO 3	1000	237	102	35	8	
ISO 4	10000	2370	1020	352	83	
ISO 5	100000	23700	10200	3520	832	29
ISO 6	1000000	237000	102000	35200	8320	293
ISO 7				352000	83200	2930
ISO 8				3523000	832000	29300
ISO 9				35200000	8320000	293000

К производственным помещениям, в которых изготавливаются микроэлектронные изделия бортовой радиоавионики, предъявляются жесткие требования по климатическим параметрам. Вопросы подтверждения соответствия ЧПП при выполнении операций с повышенной чувствительностью к изменениям климатических параметров нашли отражение в [72-84, 99-101].

Таблица 2 – Основные операции, выполняемые в чистых помещениях.

Класс чистоты по ISO 14644	ПРОДУКЦИЯ И РАБОТЫ
ISO 1	-
ISO 2	Фотолитография и другие критические зоны
ISO 3	Производство интегральных микросхем с субмикронной геометрией
ISO 4	Производство интегральных микросхем с расстоянием между проводниками менее 2 мкм
ISO 5	Асептическое производство инъекционных препаратов, требующее отсутствия микроорганизмов и частиц
ISO 6	Производство оптических элементов высокого класса. Сборка миниатюрных подшипников
ISO 7	Сборка прецизионного гидравлического и пневматического оборудования, клапанов с сервоприводами, высокоточных механизмов, трансмиссий высокого качества
ISO 8	Оптическое производство, сборка электронных компонентов, сборка гидравлических и пневматических устройств
ISO 9	Вспомогательные помещения склады прецизионного оборудования, помещения для переобувания

Приведем меры, используемые для инженерного обеспечения прецизионного производства микроэлектроники [99-101].

Очистка воздуха. Устройства приточной и вытяжной вентиляции в ЧПП предназначены для подачи отфильтрованного и выброса отработанного воздуха, а также для поддержания однородности воздушного потока.

На скорость воздухообмена при обеспыливании оказывает влияние конфигурация ЧПП, его оснащенность и расположение оборудования, тип воздушного потока (ламинарный, турбулентный), вид технологической операции, а также режим работы.

Кратность обмена воздуха определяется балансом пылевыведения и эффективностью фильтрации.

Установленные в ЧПП высокоэффективные фильтры призваны не только очищать воздух, но и создавать воздушные потоки, таким образом, чтобы они поддерживали показатель запыленности воздушной среды на необходимом уровне.

Процесс вентиляции ЧПП заключается в следующем: однонаправленный

ламинарный воздушный поток проходит через помещение и перфорированный пол, после чего осуществляется забор отработанного воздуха по вертикальным воздуховодам и его переработка в камере смешения с наружным воздухом, то есть очищение через фильтры и воздухоподготовка, далее воздух поступает в помещение (рисунок 11) [66, 67, 74, 82]. Воздухоподготовка состоит из операций очистки, охлаждения или нагревания, а также насыщения влагой паровыми или ультразвуковыми увлажнителями. Также необходимо поддерживать избыточное давление в ЧПП дабы избежать попадания загрязнений из прилегающих зон, защиты ламинарного потока от случайных примесей пыли, недопущения смешения воздушных сред соседних помещений, а также поддержания в заданных границах параметров температуры и влажности. В ЧПП поддерживается избыточное давление по сравнению с прилегающим шлюзом и соседних помещений в здании, в которых отсутствует герметичный контур и коридор при входе в зону ЧПП.

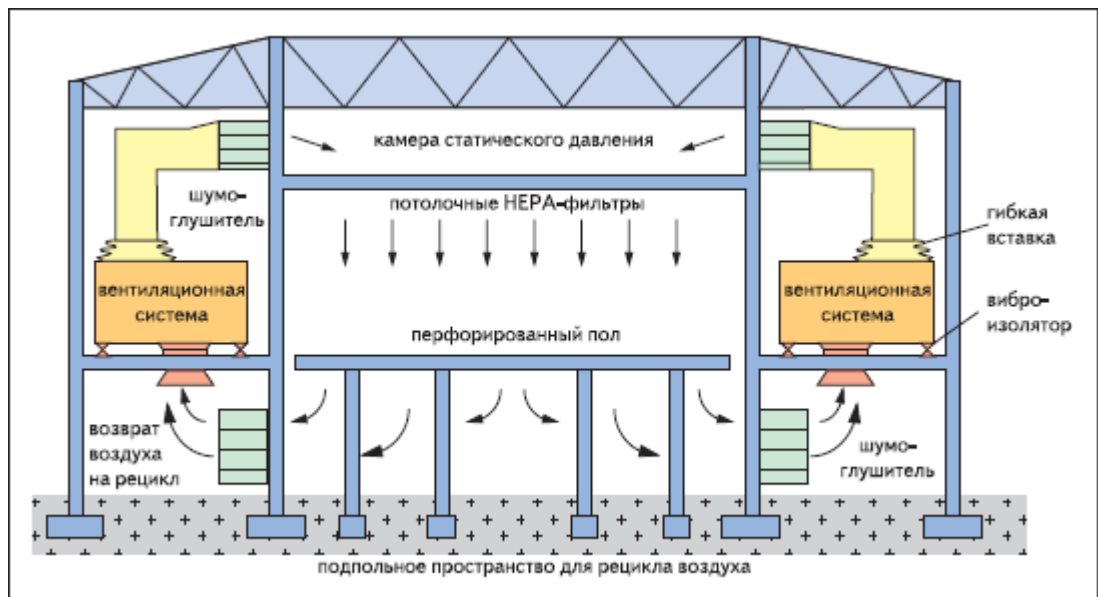


Рисунок 11 – Схема обмена воздуха в чистых помещениях [66]

Термостабилизация. Процедура термостабилизации является одной из важнейших в вопросах обеспечения нормативного значения температуры в ПП

изготовления микроэлектроники. Однако при оборудовании термостабилизированного помещения стоимость обеспечения рассматриваемого мероприятия будет существенной. Это связано с тем, что подобные помещения необходимо гораздо чаще охлаждать от тепловыделений мощного энергетического оборудования. Так, стабилизация температуры на уровне ± 1 °C обходится в несколько раз дороже, чем ± 2 °C. Как правило, при проектировании ЧПП оборудуются отдельные производственные зоны, что позволяет избежать дополнительных затрат на отделку капитальных стен, потолков и полов. Для этого в контур ЧПП встраиваются комнаты с шлюзами с изолированным воздухообменом.

Управление влажностью. Уровень влажности в ЧПП контролируется соответствующими датчиками, сигнал от которых поступает в контролирующее устройство или на пульт оператора, определяющего дальнейшее воздействие исполнительного устройства (парогенератора). Если уровень влажности - повышенный, следует выполнить уменьшение выходной температуры на охладителе воздуха, что приведёт к конденсированию избытка влаги на испарителях. Если же уровень влажности в ЧПП – пониженный, необходимо задействовать увлажнители, снабженные деионизованной водой. Важным аспектом при регулировании влажностного режима является удержание других параметров микроклимата в заданных границах.

Вытяжная вентиляция. Системы приточно-вытяжных вентиляций, как правило, подразделяются в зависимости от типов удаляемых веществ на токсичные, тепловые, органические, кислотные и общеобменные.

С целью удаления кислотных паров используется вертикальный или горизонтальный скруббер. В то же время, необходимо осуществление процедуры абсорбции, а затем последующего выпаривания, сбора и утилизации различных летучих веществ и растворителей.

Для нейтрализации токсичных выбросов необходимо применение

высокотемпературной обработки в месте их локализации. Соблюдение процедур обработки отработанного воздуха позволит минимизировать выбросы в атмосферу [99-101].

Электростатический заряд в воздухе и на поверхности.

Электростатическим называется заряд, который образуется на поверхности и не имеет возможности быстро стекать, что, в свою очередь, вызывает его накопление на поверхности материала.

Большинство операций ПП изготовления микроэлектроники могут быть забракованы при возникновении аккумулярованного электростатического заряда. Последний может привести к различного рода последствиям: воспламенение паров растворителей, слипание тонких слоев электронных компонент и материалов, удержание и накопление на поверхности элементов частиц пыли и воздуха, разрушение полупроводников электронных компонент, остановка работы микроэлектронных приборов, остановка ПП.

В таблице 3 отражена зависимость статического электричества от параметра влажности в ЧПП, перечислены основные источники статического заряда.

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

Таблица 3 – Источники статического электричества

<u>Объекты (события)</u>	<u>Относительная влажность</u>	
	<u>RH=20%</u>	<u>RH=80%</u>
Ходьба по ковру	<u>35 000 В</u>	<u>1 500 В</u>
Ходьба по виниловому покрытию	<u>12 000В</u>	<u>250 В</u>
Поднятие полиэтиленового короба	<u>20 000 В</u>	<u>600 В</u>
Удаление припоя (с помощью станции)	<u>8 000 В</u>	<u>1 000 В</u>
Распыление	<u>15 000 В</u>	<u>500 В</u>
Работа за рабочим столом	<u>6 000 В</u>	<u>100 В</u>
Человек, сидящий на синтетическом стуле	<u>18 000 В</u>	<u>1 500 В</u>

Объем затрат на развитие и модернизацию производственного оборудования в ЧПП соизмерим с вложениями на инженерное обеспечение подобного производства. Однако гарантировать заданный выход годных и надежность изготавливаемой продукции без проведения указанных мероприятий практически невозможно.

1.2 Особенности функционирования климатической динамической системы при производстве бортовой микроэлектроники

В таких отраслях, как бортовая радиоавионика, микроэлектроника, приборостроение требуется создание особых зон с контролируемыми климатическими параметрами. В системах управления, включаемых в ЧПП промышленных предприятий, соответствующих определенным стандартам качества, процессы принятия оптимальных решений часто протекают в условиях неопределенности и основываются на экспертизе и мониторинге внешних и внутренних возмущающих факторов.

В силу рассмотренных в 1.1 обстоятельств ЧПП оборудуются КДС с комплексом датчиков для мониторинга его текущего вектора состояния, исполнительными агрегатами и механизмом управления последними по некоторому алгоритму.

На рисунке 12 представлены задачи, решаемые КДС в процессе производства изделий микроэлектроники.



Рисунок 12 – Задачи климатической динамической системы

Мониторинг и диагностика протекающих в КДС процессов в условиях непрогнозируемых возмущений не позволяет выйти на оптимальное решение в рамках классического описания систем автоматического управления (САУ). Без формализации задачи оценивания текущего вектора состояния искомое решение также недостижимо через выполнение известных процедур рекуррентной фильтрации с использованием, например, калмановского подхода [115, 116, 118]. Распространенный и неплохо зарекомендовавший себя механизм ПИД-регулирования в отмеченных условиях априорной неопределенности и при наличии перекрестного влияния отслеживаемых параметров также не обеспечивает заданных качественных показателей функционирования КДС, а, следовательно, и ПП в целом.

Действительно, после получения оценок текущего вектора состояния и определения степени их соответствия нормативу необходимо осуществить переход к формированию управляющих воздействий для исполнительных

органов, обеспечивающих поддержание (восстановление) требуемых значений климатических параметров.

Например, если бы речь шла о фиксации значения температуры, то задачу можно было бы решать включением на максимальный режим нагревательных элементов. В рассматриваемой же ситуации предъявляются жесткие требования не только к диапазону возможных значений собственно температуры, но и удержанию в заданных узких границах остальных параметров.

Поэтому САУ КДС должна воплощать принципы построения, обеспечивающие высокую степень устойчивости к возмущениям, оптимизируя работу исполнительных устройств (климатического оборудования), удерживающих рассматриваемые параметры в заданном интервале, путем сокращения расходов на эксплуатацию, например, за счет реализации энергосберегающих мероприятий. САУ должна свободно интегрироваться в централизованную систему регулирования и контроля за инженерными, технологическими и информационными процессами, например, в систему диспетчеризации. Одновременно САУ должна обеспечивать надежность функционирования КДС и защиту отдельных ее узлов от преждевременных сбоев и ошибок при возникновении внутренних и внешних возмущений.

Применение энергосберегающих мероприятий, технологий рециркуляции воздушных потоков, а также энергосберегающего оборудования является залогом осуществления стратегии, нацеленной на снижение энергопотребления, в системах обеспечения микроклимата [81].

В качестве энергосберегающего оборудования, используемого в системах кондиционирования и приточно-вытяжных вентиляциях, часто применяются теплонасосные установки и рекуперативные или регенеративные утилизаторы отработанного воздуха.

В качестве энергосберегающих мероприятий можно отметить изменение нормы климатических параметров в зависимости от дня недели и времени

суток. Возможно использование прерывистого отопления или охлаждения ЧПП, учет теплоаккумулирующих свойств материалов, из которых сконструировано помещение, его объема и расположения ограждающих конструкций и т. п.

Перечисленные организационно - технические решения позволяют рационально использовать энергоресурсы в ПП. Объединение в едином комплексе устройств и технологий, направленных на сокращение энергопотребления до уровня, при котором сохраняются оптимальные параметры микроклимата в ЧПП, требует воплощения соответствующей идеологии в САУ КДС.

Методика, рассматриваемая в рамках диссертационного исследования предполагает максимальное сочетание на единой платформе как энергосберегающих технологий и оборудования, так и организационных мер и технических решений в системах обеспечения микроклимата. Использование подобной единой платформы позволяет исследовать и получить оптимальные варианты сочетания мероприятий, технологий, инженерного оборудования в системах обеспечения микроклимата при различных внутренних и внешних возмущениях, возникающих в ЧПП, что, в свою очередь, создает условия для повышения качества производимой продукции.

Одной из причин возникающих трудностей при реализации изложенных принципов является увязка логики функционирования отдельных элементов с системой обеспечения микроклимата в целом. Например, программируемые контроллеры «прошитые» на предприятии - изготовителе, обеспечивают удержание рассматриваемых параметров САУ в рамках заводских настроек, что не обязательно соответствует оптимальному режиму работы КДС.

Логичны два варианта, при которых управление КДС будет результативным:

– при определённых параметрах воздуха подаваемого в контур ЧПП и внутренней воздушной среды САУ выбирает адекватный ситуации,

установленный заранее алгоритм управления КДС;

– САУ в реальном времени просчитывает различные решения и выбирает из них те, которые по заданному критерию меньше всего противоречат поставленной цели.

Если в первом случае адекватным решением будет разработка многовариантной системы алгоритмов и процедур, то во втором случае САУ должна быть наделена способностью к самостоятельному синтезу адаптивных процедур управления, когда будет определена последовательность управляющих воздействий, обеспечивающих удержание заданных параметров микроклимата при возникновении возмущающих воздействий внешней среды, в зависимости от величины отклонения от целевой функции.

В этом случае САУ, оценивая информацию, по состоянию микроклимата, от датчиков, установленных в ЧПП, синтезирует последовательные управляющие воздействия, тем самым вырабатывая определенный алгоритм достижения цели. В этом случае алгоритм реагирования САУ на возмущения и цель (необходимые параметры микроклимата) могут быть откорректированы в зависимости от характера и интенсивности внешних воздействий.

Таким образом, очевидна тенденция к применению интеллектуальных систем управления [50, 57, 74, 93] параметрами микроклимата, имеющих в своем составе аппарат адаптации и базу знаний, использование которых призвано обеспечить прецизионное оценивание текущего вектора состояния ЧПП, прогнозирование его динамики, адекватное этому регулирующее воздействие на исполнительные механизмы САУ КДС, апостериорную идентификацию состояния микроклимата ЧПП. Надежное функционирование этой цепочки призвано гарантировать устойчивость управления ПП при изготовлении бортовой микроэлектроники к воздействию внешних факторов.

1.3 Анализ систем автоматического управления микроклиматом в помещениях для изготовления бортовой микроэлектроники

Для осуществления анализа САУ климатическими параметрами следует определить принципы организации системы непрерывного мониторинга состояния ПТК бортовой микроэлектроники.

По мере развития технологии производства электроники САУ КДС претерпевали естественную эволюцию (рисунок 13).

Традиционная система отработки рассогласования между текущим и желаемым состоянием динамической системы представляет собой замкнутую автономную САУ. При наличии некоторой модели возмущений, позволяющей количественно описать поведение окружающей среды, исследователь приходит к замкнутой формализованной САУ.

Если в системе регулирования заложены принципы адекватного учета изменений текущих условий функционирования, то такая САУ становится адаптивной. Идеальными свойствами наделена интеллектуальная САУ с функциями самообучения. Однако при этом остается открытым вопрос ее технической реализации. Наиболее рациональным подходом к вопросу синтеза интеллектуальной САУ представляется комплексирование рекуррентного фильтра, обеспечивающего прецизионное оценивание и прогнозирование параметров состояния, и регулятора, возможности которого в формировании управляющего воздействия были бы максимально гибкими.

Определяя в качестве главных элементов вектора контролируемых параметров КДС – температуру, влажность, запыленность ЧПП при производстве бортовой микроэлектроники, следует указать на необходимость применения энергосберегающих технологий, поскольку стоимость интеллектуальной САУ КДС будет одним из определяющих факторов при

выборе того или иного варианта ее аппаратно-программной реализации.

Поэтому в состав САУ может быть включен модуль, который, основываясь на информации, полученной от соответствующих датчиков, будет осуществлять мониторинг состояния микроклимата помещения и реализовывать адаптивную процедуру, в соответствии с которой САУ «знает», что суббота и воскресенье – нерабочие дни, и что у рабочего дня есть начало и окончание.

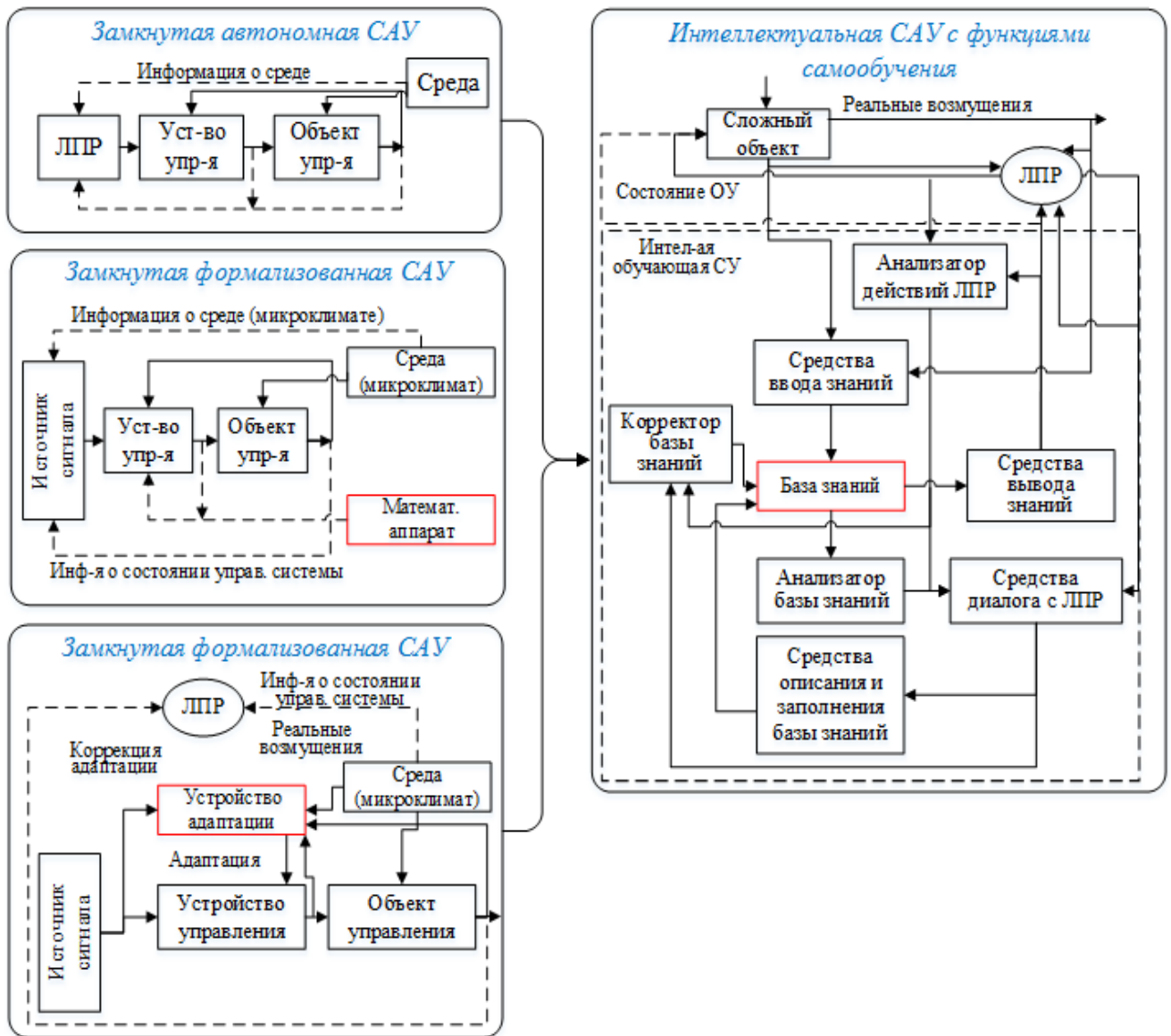


Рисунок 13 – Эволюция систем автоматического управления

Используя «Базу знаний», которая позволяет системе вести статистику, оценивать повторяемость событий, «запоминать» частоту и интенсивность возмущающих воздействий, САУ может осуществлять планирование суточной (недельной) производительности вентиляционной установки, определять мощность калорифера, выработку парогенератора, тем самым осуществляя подготовку и адаптацию системы к изменениям микроклимата, что позволяет оптимизировать расходы на энергоресурсы. При достижении цели САУ регистрирует наиболее оптимальный вариант в «базе знаний», и, в дальнейшем, при возникновении аналогичных возмущающих воздействий, дестабилизирующих параметры микроклимата, переходит к выбранному адекватному действию.

Прогнозировать состояние система управления может с помощью математической модели реальной КДС, которая наделена функциями распознавания изменяющихся условий наружного воздуха. Подобная модель должна быть выстроена в соответствии с математическими методами и адекватно реагировать на непрогнозируемые возмущения наружного климата, то есть система постоянно должна осуществлять подстройку значений модели в соответствии с текущими параметрами инженерного оборудования.

При этом возможно применение «провоцирующих» алгоритмов, позволяющих своевременно обнаружить факт последствий наступившего возмущения. Рекуррентная система обладает способностью оценивания и запоминания производных высших порядков, анализ которых позволит определить факт возникновения возмущений и обеспечить выработку управляющих воздействий с адекватным упреждением.

Таким образом, основным преимуществом интеллектуальной САУ перед традиционной является возможность адаптации КДС к возникающим возмущающим воздействиям. Следует заметить, что процедура адаптации не запрограммирована в памяти системы управления, она нечеткая, неявная и по

необходимости корректируется КДС.

Данные мониторинга, занесенные в «Базу знаний», приводят к тому, что с течением времени САУ – эволюционирует. Информация, полученная опытным путем, по истечении определенного времени, трансформируется в закономерности изменения воздействий, которые оказывают существенное влияние на параметры микроклимата ЧПП.

Выявленные закономерности позволяют САУ прогнозировать параметры микроклимата и энергозатраты на их поддержание при различных вариантах схемных решений САУ. При этом после исполнения алгоритма САУ сравнивает спрогнозированные параметры микроклимата с реально достигнутыми значениями.

Следовательно, необходима разработка технически более сложной КДС, чем традиционные системы вентиляции и кондиционирования производственных помещений, но в то же время более экономичной, гибкой и эффективно функционирующей.

По мнению Дж. Саридиса [120] интеллектуальное управление это предмет пересечения таких областей как управление, искусственный интеллект и исследование операций (рисунок 14)[34, 57, 81].



Рисунок 14 – К определению интеллектуального управления

Анализ литературы [42, 66, 67, 99-101, 104] позволяет сделать следующие выводы, касающиеся основных свойств разрабатываемой САУ:

1. Инерционность переходных процессов нагрева и охлаждения воздуха, контроля за его увлажнением и запыленностью в КДС оказывают влияние на запаздывание установления температуры воздуха помещения, требуемых значений влажности и содержания пыли в воздухе.

2. Зависимости переходных процессов в КДС в условных значениях являются практически симметричными при выполнении процедур нагрева и охлаждения воздуха и имеют характерный не случайный вид. Данное обстоятельство указывает на возможность проведения регрессионного анализа опытной информации с целью выявления функциональных зависимостей между внутренними и внешними воздействиями и параметрами системы управления процессом, разработки математической модели рассматриваемого параметра микроклимата.

Таким образом, при проектировании САУ необходимо учитывать то, что

для сложных динамических объектов либо отсутствуют точные математические модели, либо для них характерны чрезмерная сложность, высокая размерность пространства состояний и принимаемых управленческих решений, иерархичность и многообразие критериев качества, высокий уровень шумов и внешних возмущений.

Как видно из рисунка 15 [68], классические методы управления адекватно применяются при детерминированном объекте управления и статичной внешней среде. Для систем с неполной или недостоверной информацией, а также при высокой сложности объекта управления необходимо применение адаптивных САУ, основанных на принципах когнитивного управления и как рациональный вариант – на нечетком регулировании [41, 50, 68, 86, 91, 92, 106, 126].

Следует заметить, что проблема ЧПП носит комплексный характер.

Невозможно повысить качество производимой продукции, создавая ЧПП, опираясь лишь на соответствие этого помещения определенному классу чистоты, но в котором будет отсутствовать необходимое технологическое оборудование и программно-алгоритмическое обеспечение.

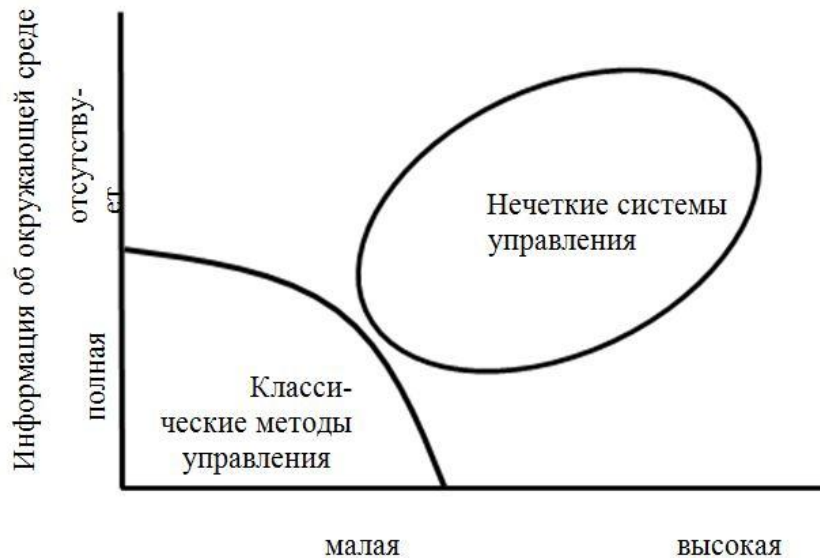


Рисунок 15 – Области применения технологий управления

САУ КДС должна адекватно реагировать на возмущающие факторы, генерируя оптимальные управляющие воздействия; в полной мере обеспечивать соответствие требованиям, приведенным в [8, 12, 17-19], отвечать показателям надежности и безотказности работы, а также требованиям восстановления в заданные сроки характеристик до определенных регламентом значений.

1.4 Анализ направлений совершенствования систем управления микроклиматом в чистых производственных помещениях на основе анализа патентной активности

Необходимость совершенствования систем управления ПП обусловлена повышением требований к качеству производства изделий бортовой радиоэлектроники. За последние годы наметилась явная тенденция к развитию и модернизации как радиоэлектроники в целом, так и предприятий, осуществляющих производство электронной компонентной базы.

Исследования технического уровня и тенденций развития объектов хозяйственной деятельности, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности (эффективности использования по назначению) на основе патентной и другой информации называются патентными [11].

При проведении патентных исследований проводятся следующие мероприятия:

- сопоставительный анализ использованных технических решений, защищенных действующими патентами;
- определение стран поиска и классификация предмета поиска;
- поиск и отбор патентной документации для последующего анализа,
- исследование технического уровня объектов и анализ научно-технической деятельности ведущих организаций (фирм),

- анализ патентно-лицензионной ситуации,
- анализ новизны и правовой защиты,
- выявление источников информации о технических решениях,
- анализ о патентной чистоте объекта в целом.

Исследование патентной активности в области САУ параметрами микроклимата ЧПП позволили сопоставить технические характеристики разрабатываемой САУ и обнаруженных аналогов. То есть из всей совокупности показателей качества объектов исследования были проанализированы те, которые зависят именно от технических решений, а именно указывают на техническое совершенство продукции, вне зависимости от принципов изготовления. Сформированная база накопленных и используемых в мире технических решений выступает в качестве основы для сравнения, а значит и прогноза технического уровня планируемой к разработке системы.

Анализ текущей ситуации в сфере автоматического управления указывает на то, что патентная активность в нашей стране в период с 1970-2016 годы, в сравнении с такими странами как США, Китай, Япония, Южная Корея и Германия является незначительной (рисунок 16).

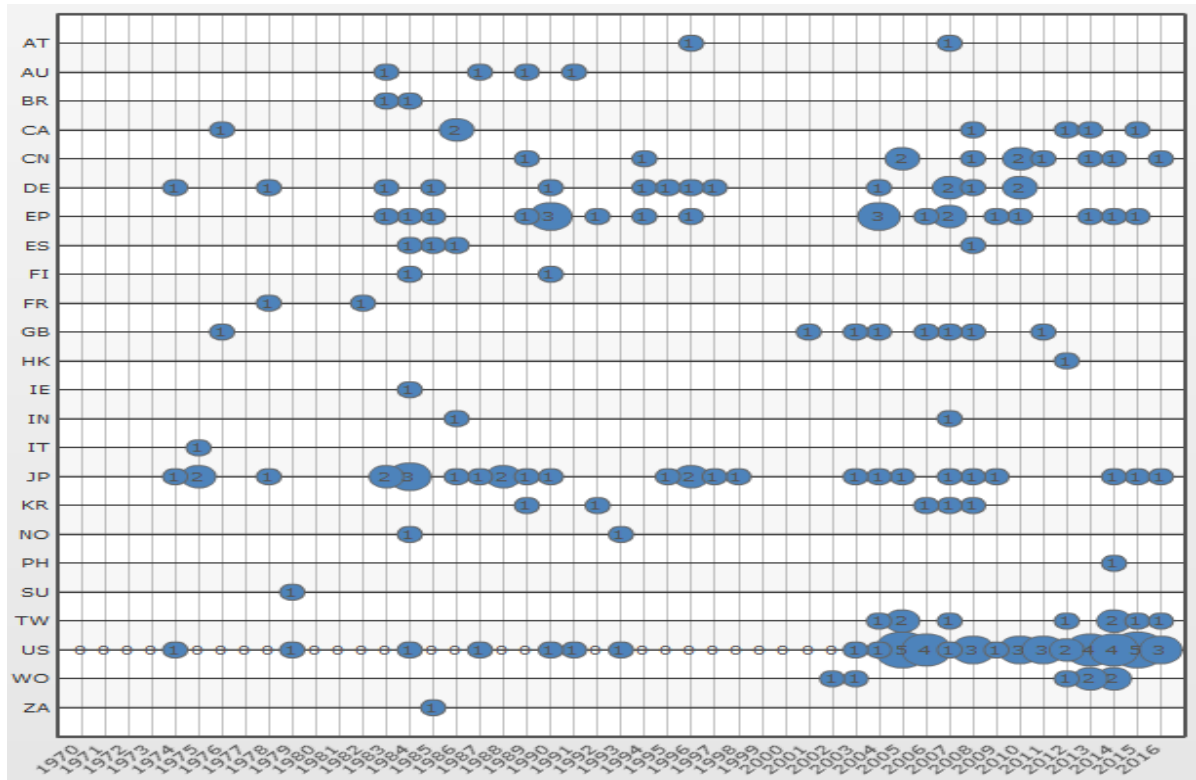


Рисунок 16 – Динамика распределения изобретений в приоритетных странах по годам публикаций

Анализ патентной активности показал, что исследования в области модернизации устройств автоматического контроля и регулирования параметров микроклимата ПП и способов повышения результативности адаптивного управления параметрами КДС характерно как для производства микроэлектроники, так и для организаций, осуществляющих свою деятельность в сфере биотехнологий, транспорта, ИТ-технологий, защиты окружающей среды, химической и пищевой промышленности (рисунок 17).

С целью систематизации патентных документов, относящихся к объектам патентных прав, а именно изобретений и полезных моделей разработана международная патентная классификация (МПК), обязательная к использованию всеми патентными ведомствами. В международных источниках МПК называется IPC (international patent classification).

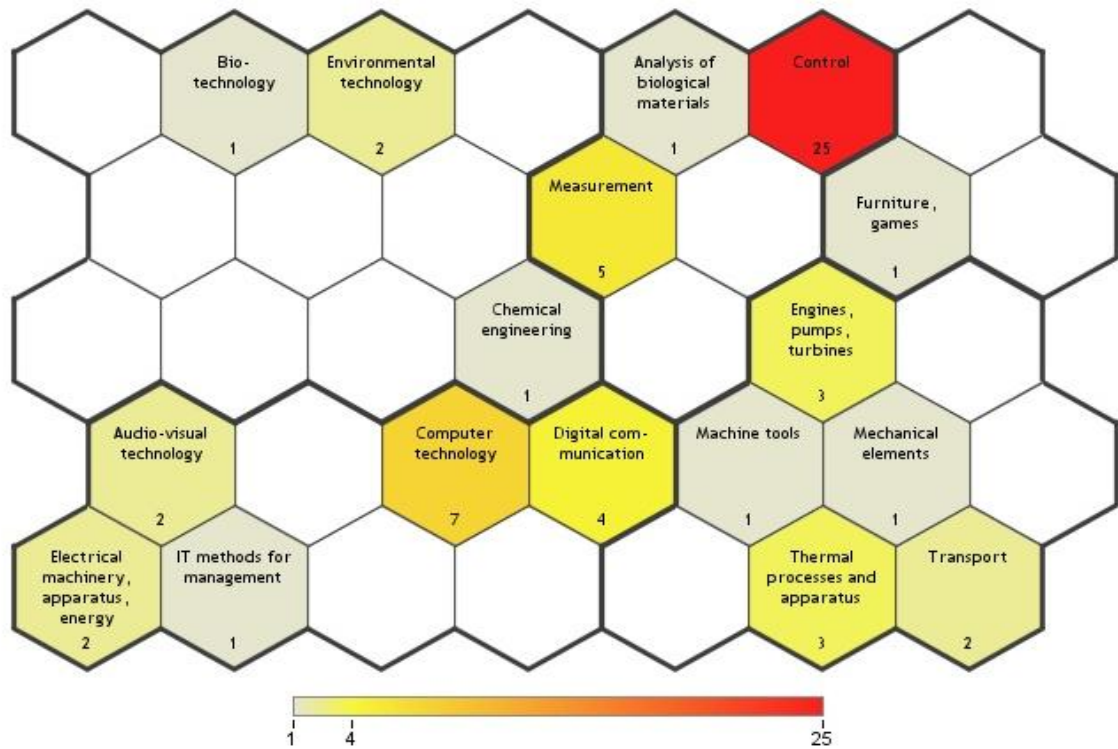


Рисунок 17 – Количество действующих патентов в области автоматического управления микроклиматом

МПК представляет собой иерархическую пятиуровневую классификационную систему, охватывающую все известные области науки и техники, в которых создаются объекты промышленной собственности. При этом система совмещает как функциональный, так и отраслевой принципы классифицирования.

В соответствии действующей редакцией МПК САУ содержатся разделе G – Физика, подразделе 05 – управление, регулирование, классе B – Регулирующие и управляющие системы общего назначения (рисунок 18).

G	05	B
Физика		
Управление, регулирование		
Регулирующие и управляющие системы общего назначения; функциональные элементы таких систем; устройства для контроля или испытания таких систем или элементов		

Рисунок 18 – Определение подкласса МПК САУ

Для успешного проведения патентного поиска необходимо точно установить МПК исследуемого объекта. Для этого определяют индексы основной группы, которые обуславливают область техники для проведения поиска (рисунок 19 (а), (б)).

При этом выявлены следующие рубрики МПК:

- G05B 11/00 – Автоматические регуляторы;
- G05B 15/00 – Системы, управляемые вычислительными устройствами;
- G05B 13/00 – Самонастраивающиеся системы управления;
- G05B 17/00 – Системы с использованием моделей или моделирующих устройств.

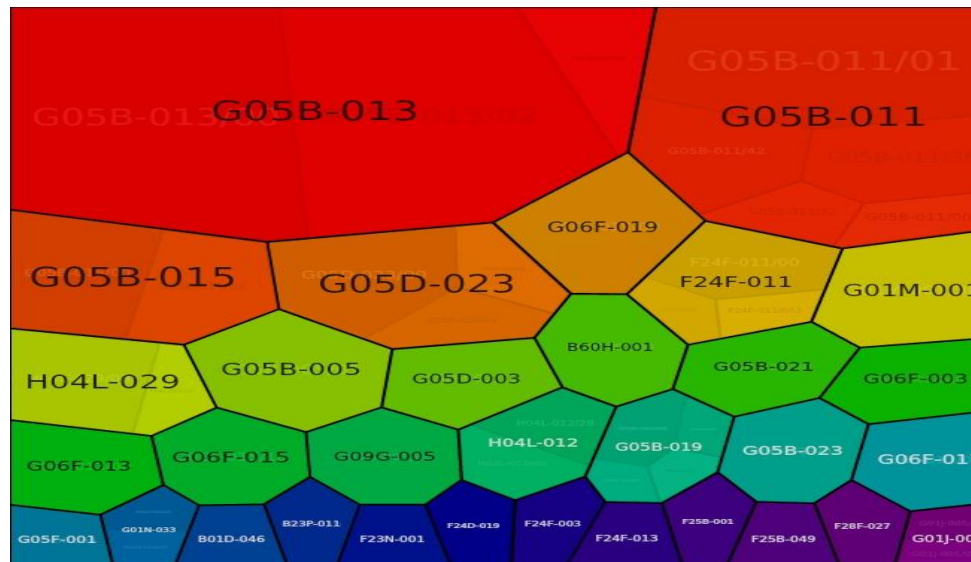


Рисунок 19 (а) – Подклассы международной патентной классификации, в соответствии с которыми проводились патентные исследования

Следует заметить, что в рамках исследования и последующего выбора объектов - аналогов были учтены не только условия функциональной однонаправленности и потребительских свойств, но также и воплощенные в объекте качества и величины показателей этих качеств, что позволило выделить именно мировые достижения в области САУ климатических параметров (рисунок 20, 21.).

Объект из группы аналогов, который превосходит остальные хотя бы по одному из показателей, должен иметь дополнительный технический результат.

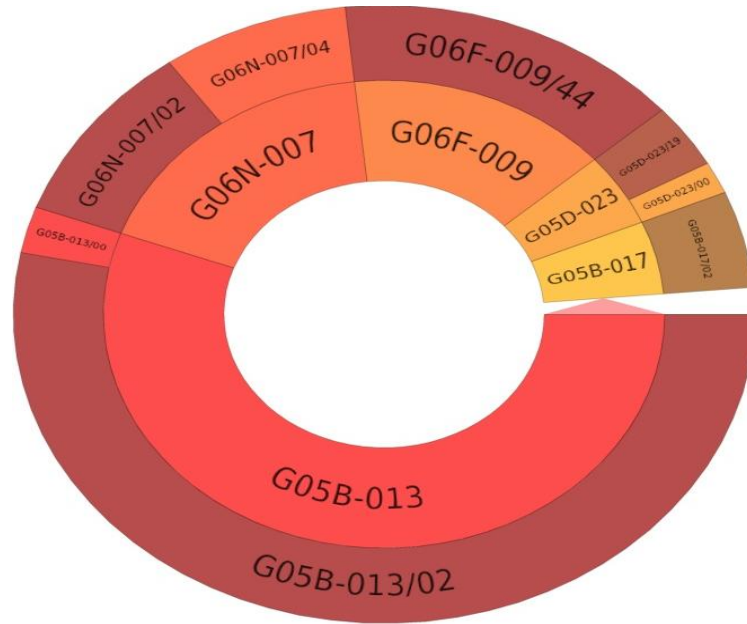


Рисунок 19 (б) – Подклассы международной патентной классификации, в соответствии с которыми проводились патентные исследования

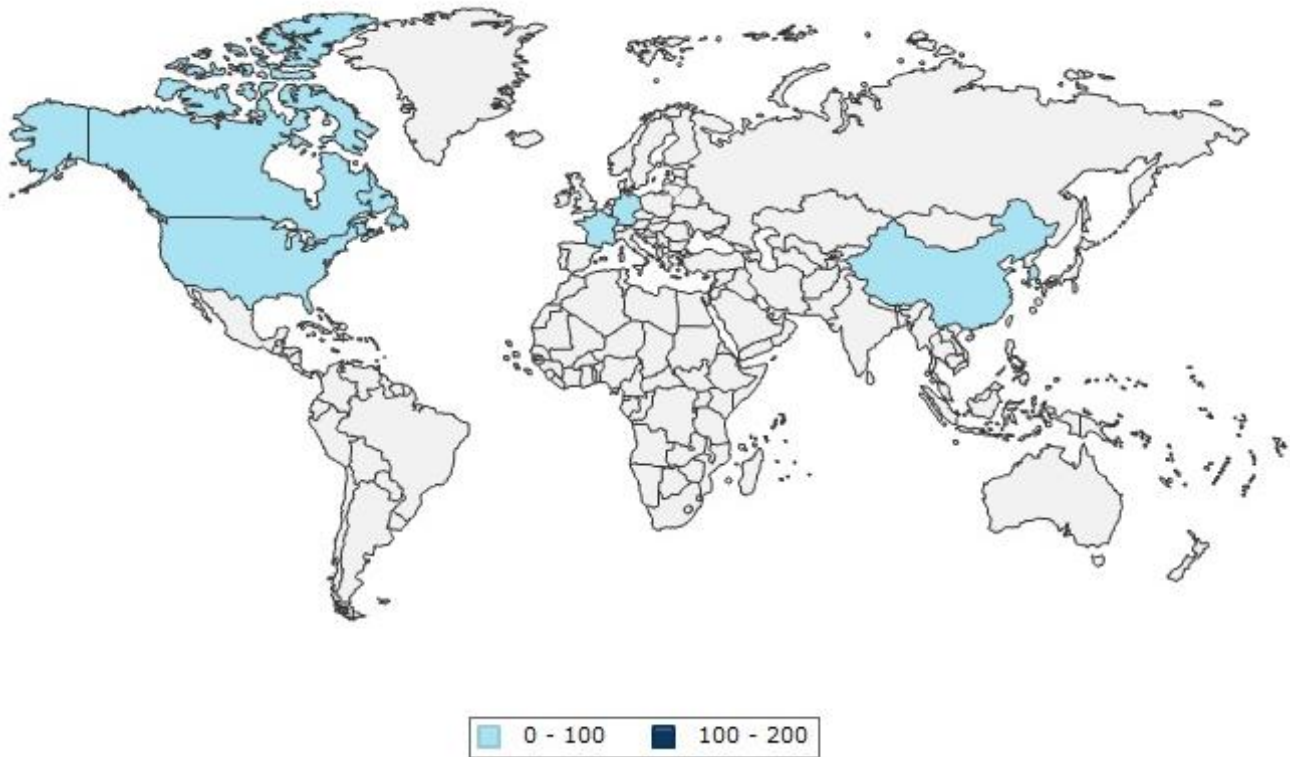


Рисунок 20 – Распределение результатов построения патентного ландшафта по приоритетным странам

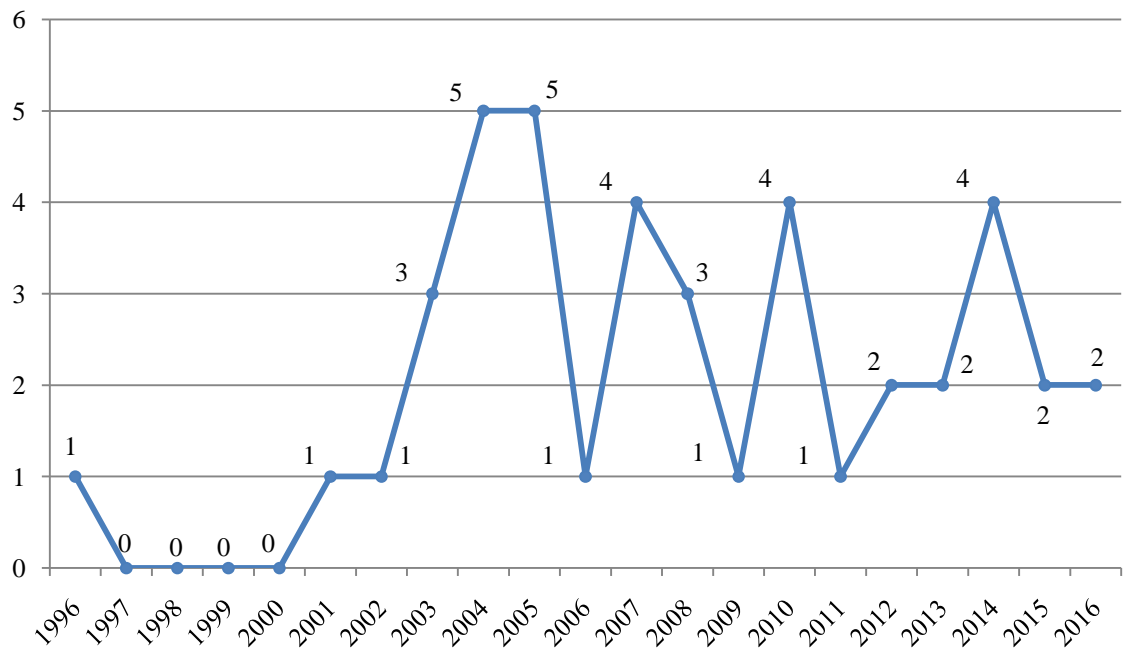


Рисунок 21 – Динамика полученных патентов в мире, связанных с системами автоматического управления

На основе проведенного патентного исследования можно сделать вывод о том, что решение задачи, связанной с повышением качества управления параметрами микроклимата в ПП при изготовлении микроэлектроники является приоритетной задачей для отечественной промышленности. Представляется особенно необходимым совершенствование технологий автоматического управления ПП на основе синтеза интеллектуальных процедур принятия решения в условиях непрогнозируемых возмущений.

1.5 Анализ рисков при реализации процесса автоматического управления климатической динамической системой при производстве микроэлектроники

В настоящее время в России активно внедряются инженерные методы предварительного исследования объектов повышенного риска, обеспечивающие безопасность эксплуатации инженерных и технических систем путем

разработки методик и процедур по определению надёжности технических систем и оценке риска. При проведении указанных работ первоначально определяются возможные виды рисков и угроз [52].

Основная идея заключается в формировании превентивных мер воздействия на ситуации, связанные с возникновением рисков и угроз в ПП изготовления бортовой микроэлектроники в обеспечение выполнения требований п. 8.5.3.1 ГОСТ РВ 0015-002-2012. Согласно ГОСТ Р 51814.2-2001 [12] для определения потенциальных дефектов и причин их возникновения целесообразно использование метода FMEA (Failure modes and effects analysis) [25], одним из основных достоинств которого является выявление неблагоприятных последствий до того, как они окажут воздействие на процесс. Оценка рисков (угроз) проводится экспертной группой, а также путем фиксации закономерностей их возникновения при реализации мониторинга наблюдаемого процесса с последующей идентификацией его параметров. Достоинство экспертных методов состоит в том, что используется интеллект и опыт специалиста, его способность находить решение слабо формализованных задач. Оперативный мониторинг позволяет оценить справедливость априорных предпочтений и внести адаптивную коррекцию в механизм текущего управления состоянием динамической системы.

Мнение экспертного сообщества может быть эффективно учтено при построении САУ с необходимым запасом устойчивости на основе реализации процедур нечеткого регулирования, адекватный синтез функций принадлежности для которых является предметом серьезных исследований при внедрении технологии адаптивного управления.

Процесс получения экспертных оценок состоит из следующих этапов: отбор специалистов, потенциальных экспертов; составление опросных листов; разработка способов и процедур сбора мнений экспертов; подведение итогов опроса; проведение анализа полученных данных.

В случае значительного количества экспертов сложно утверждать о согласованности их мнений, а также констатировать понижение уровня доверия оценке группы специалистов из-за уменьшения роли мнения меньшинства, отличающегося от большинства. В случае незначительного числа экспертов групповая оценка в большей степени зависит от мнения каждого специалиста. Основное качество, которым должен обладать каждый эксперт – профессионализм в исследуемой области. Вместе с тем, эксперт должен иметь опыт работы с информацией по смежным отраслям, обладать аналитическим мышлением, ориентироваться в перспективных направлениях развития отраслей промышленности. [5, 52, 150].

Экспертов подбирают с учетом наличия у них следующих качеств: креативности, эвристичности, интуиции, независимости, всесторонности.

Для отбора экспертов используют разные методы (составление анкет, анализ достоверности их оценок – приложение В).

В случае несогласованности ответов встает вопрос о необходимости повторных экспертиз для достижения согласованного мнения [52, 127].

Для планирования, накопления полной информационной базы, а также принятия решений, направленных на сокращение числа отказов оборудования и остановок ПП, в исследовании было принято решение провести анализ рисков и угроз ПП на некоторый определенный момент времени. В результате чего стала возможной разработка перечня упреждающих действий, призванных предотвратить возникновение неблагоприятных ситуаций в ПП изготовления бортовой микроэлектроники.

В рамках исследования необходимо обосновать согласованность мнений экспертов, для чего был рассчитан коэффициент конкордации (приложение В). На первом этапе осуществляется сбор экспертных мнений путем заполнения анкет. Эксперты расставляют ранговые номера каждому рассматриваемому параметру, тем самым определяется оценка степени значимости. Ранги

расставляются в порядке важности, то есть эксперт присваивает наивысшую оценку определенному фактору и выставляет ранг 1. Если же эксперт признает равнозначными несколько факторов одновременно, им выставляется одинаковый ранговый номер [127].

На основе данных анкетного опроса составляется сводная матрица рангов (табл.4).

Таблица 4 – Сводная матрица рангов

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1.5	1	1	1.5	1	1	1	1.5	1
2	2	2	2	2	2	1.5	2	1	1	2
3	1.5	2	1.5	2	1.5	2	2	1.5	1.5	1
4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3

Поскольку в таблице 4 имеются экспертные оценки с равнозначными (одинаковыми) ранговыми номерами, необходимо произвести их переформирование. При этом не изменяются оценки эксперта, ранговые номера и соотношения. Также не рекомендуется ставить ранг выше 1 и ниже значения, равного количеству параметров (в данном случае $n = 4$). Результат переформирования рангов представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Переформирование рангов в оценках 2-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1.5	1
2	2	2.5
3	2	2.5
4	3	4

По аналогии производим переформирование рангов в мнениях экспертов 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 в таблицах 6–12.

Таблица 6 – Переформирование рангов в оценках 4-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1
2	2	2.5
3	2	2.5
4	3	4

Таблица 7 – Переформирование рангов в оценках 5-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1.5	1.5
2	1.5	1.5
3	2	3
4	3	4

Таблица 8 – Переформирование рангов в оценках 6-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1
2	1.5	2
3	2	3.5
4	2	3.5

Таблица 9 – Переформирование рангов в оценках 7-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1
2	2	3
3	2	3
4	2	3

Таблица 10 – Переформирование рангов в оценках 8-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1.5
2	1	1.5
3	1.5	3
4	2	4

Таблица 11 – Переформирование рангов в оценках 9-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1
2	1.5	2.5
3	1.5	2.5
4	2	4

Таблица 12 – Переформирование рангов в оценках 10-го эксперта

Номера мест в упорядоченном ряду	Расположение факторов по оценке эксперта	Новые ранги
1	1	1.5
2	1	1.5
3	2	3
4	3	4

На основании переформирования рангов строится новая матрица (табл. 13).

Таблица 13 – Переформированная сводная матрица рангов

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1.5	1	1	1.5	2.5	1.5
2	3	2.5	3	2.5	3	2	3	1.5	1	3
3	2	2.5	2	2.5	1.5	3.5	3	3	2.5	1.5
4	4	4	4	4	4	3.5	3	4	4	4

Таблица 14 – Матрица оценок весовых характеристик

Факторы / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Сумма рангов	d	d ²
x ₁	1	1	1	1	1.5	1	1	1.5	2.5	1.5	13	-12	144
x ₂	3	2.5	3	2.5	3	2	3	1.5	1	3	24.5	-0.5	0.25
x ₃	2	2.5	2	2.5	1.5	3.5	3	3	2.5	1.5	24	-1	1
x ₄	4	4	4	4	4	3.5	3	4	4	4	38.5	13.5	182.25
∑	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	100		327.5

$$\text{Здесь } d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 25.$$

Проверка правильности составления матрицы выполняется путем расчета контрольной суммы: $\sum x_{ij} = \frac{(1+n)n}{2} = \frac{(1+4)4}{2} = 10$.

Суммы по столбцам матрицы равны между собой, а их сумма равна контрольной сумме, следовательно, матрица составлена корректно.

Затем проводится анализ значимости рассматриваемых факторов.

В таблице 15 отражено распределение факторов по их значимости.

Таблица 15 – Расположение факторов по значимости

Факторы	Сумма рангов
x ₁	13
x ₃	24
x ₂	24.5
x ₄	38.5

Далее проведем оценку средней степени согласованности мнений экспертов, для чего применим коэффициент конкордации в тех случаях, когда имеются равнозначные (одинаковые) ранги в оценках одного эксперта:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum T_i},$$

где $S = 327.5$, $n = 4$, $m = 10$, $T_i = \frac{1}{12} \sum (t_i^3 - t_i)$.

L_i – число связей (видов повторяющихся элементов) в оценках i -го эксперта,
 t_i – количество элементов в i -й связке для i -го эксперта (количество повторяющихся элементов).

$$T_2 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_4 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_5 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_6 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_7 = [(33-3)]/12 = 2$$

$$T_8 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_9 = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$T_{10} = [(23-2)]/12 = 0.5$$

$$\sum T_i = 0,5 + 0,5 + 0,5 + 0,5 + 2 + 0,5 + 0,5 + 0,5 = 5,5.$$

Тогда

$$W = \frac{327,5}{\frac{1}{12} 10^2 (4^3 - 4) - 10 \cdot 5,5} = 0,74.$$

$W = 0,74$ говорит о наличии высокой степени согласованности мнений экспертов.

Проведем оценку значимости коэффициента конкордации, с помощью вычисления согласования по критерию Пирсона:

$$\chi^2 = \frac{S}{\frac{1}{12} mn(n+1) + \frac{1}{n-1} \sum T_i}, \quad \chi^2 = \frac{327,5}{\frac{1}{12} 10 \cdot 4(4+1) + \frac{1}{4-1} 5,5} = 22,08.$$

Вычисленный χ^2 сравним с табличным значением для числа степеней свободы $K = n-1 = 4-1 = 3$.

Так как χ^2 расчетный (22.08) больше табличного (7.81473), то $W = 0.74$ - величина не случайная, а потому полученные результаты имеют смысл и могут использоваться в дальнейших исследованиях.

На основе получения суммы рангов (табл. 16) можно вычислить показатели весомости рассмотренных параметров. Матрицу опроса преобразуем в матрицу преобразованных рангов по формуле $S_{ij} = x_{\max} - x_{ij}$, где $x_{\max} = 3$.

Таблица 16 – Матрица преобразованных рангов

№ п.п. / Эксперты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Σ	Вес λ
1	2	1.5	2	2	1.5	2	2	2	1.5	2	18.5	0.381
2	1	1	1	1	1	1.5	1	2	2	1	12.5	0.258
3	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1	1.5	1.5	2	13.5	0.278
4	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4	0.0825
Итого											48.5	1

На основе вышеизложенного было решено провести оценку рисков методом FMEA, описанным в [12, 25]. Проанализируем возможные виды рисков и их последствия.

После определения характерных видов рисков рабочей группе предлагается установить следующие показатели: оценки вероятности появления (оценка потенциала появления) вида риска (угрозы) – O (Occurrence), оценки возможности обнаружения вида риска (угрозы) с целью предупреждения его (ее) реализации – D (Detection), оценки значимости последствий вида риска (угрозы) при возможной его (ее) реализации – S (Severity) по десятибалльной шкале (табл.17) [12, 25].

Таблица 17 – Выбор значений показателей O, D, S

Оценка вероятности появления (оценка потенциала появления) данного вида риска (угрозы)	Балл O
Очень высокая	10 9
Высокая	8 7
Умеренная	6 5
Относительно низкая	4 3
Низкая	2 1

Оценка возможности обнаружения (с помощью существующих методов) данного вида риска (угрозы) с целью предупреждения его (ее) реализации	Балл D
Метод отсутствует	10
Метод неэффективен	9
Плохие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	8
Очень ограниченные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	7
Ограниченные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	6
Умеренные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	5
Умеренно хорошие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью метода	4
Высокие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	3
Очень высокие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	2
Метод почти наверняка позволит обнаружить данный вид риска (угрозы)	1
Оценка значимости последствий данного вида риска (угрозы) при возможной его (ее) реализации	Балл S
Очень опасное	10
Опасное	9
Очень важное	8
Важное	7
Умеренное	6
Слабое	5
Очень слабое	4
Незначительное	3
Очень незначительное	2
Отсутствует	1

Результаты работы по выбору значений каждого из рассматриваемых видов риска представлены на рисунке 22 и рисунке 23. Установленные экспертной группой значения заносятся в соответствующую таблицу (табл.18), в которой определяется значение приоритетного числа риска (ПЧР) по формуле:

$$\text{ПЧР} = O \cdot D \cdot S.$$

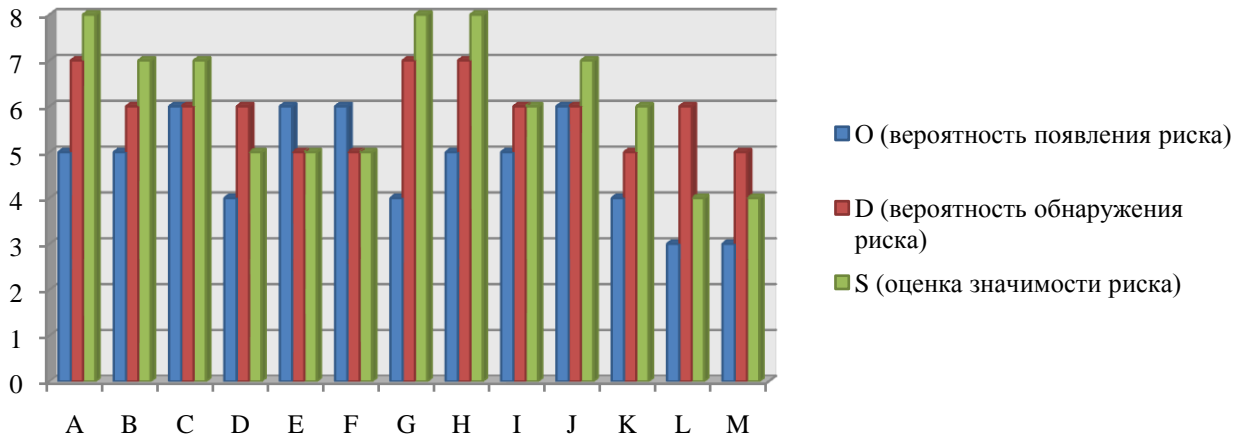


Рисунок 22 – Установленные рабочей группой показатели O, D, S

Таблица 18 – Определение приоритетного числа риска

№	Риск	O	D	S	ПЧР
A	Система недостаточно эффективно осуществляет автоматическое управление	5	7	8	280
B	Неспособность системы осуществлять фильтрацию помех	5	6	7	210
C	Неспособность системы парировать рассогласование между текущим и требуемым состоянием	6	6	7	252
D	Максимальное перерегулирование процесса управления	4	6	5	120
E	Отработка возмущений носит не плавный характер (система не демпфирует возмущения)	6	5	5	150
F	Высокая чувствительность системы к шумам в канале измерения	6	5	5	150
G	Брак производства из-за ошибок мониторинга системы	4	7	8	224
H	Остановка ПП для настройки параметров системы	5	7	8	280
I	Высокая степень износа узлов системы	5	6	6	180
J	Некорректное действие исполнительных устройств	6	6	7	252
K	Недопустимо большая погрешность оценивания параметров системы	4	5	6	120
L	Невозможность обеспечения ресурсосберегающих мероприятий	3	6	4	72
M	Затруднения при использовании резервных блоков системы	3	5	4	60

Далее определяются необходимые решения и упреждающие действия (ПрД), исходя из величины ПЧР, как показано в таблице 19.

Таблица 19 – Решение в зависимости от значения ПЧР

ПЧР	Решение
≤ 40	Низкий уровень риска/угрозы. Не требуется принятия дополнительных мер.
40 - 100	Приемлемый уровень риска. Можно начать проработку предупреждающих действий для снижения риска.
≥ 100	Высокий уровень данного вида риска/угрозы. Требуется незамедлительная разработка и принятие мер для снижения риска.

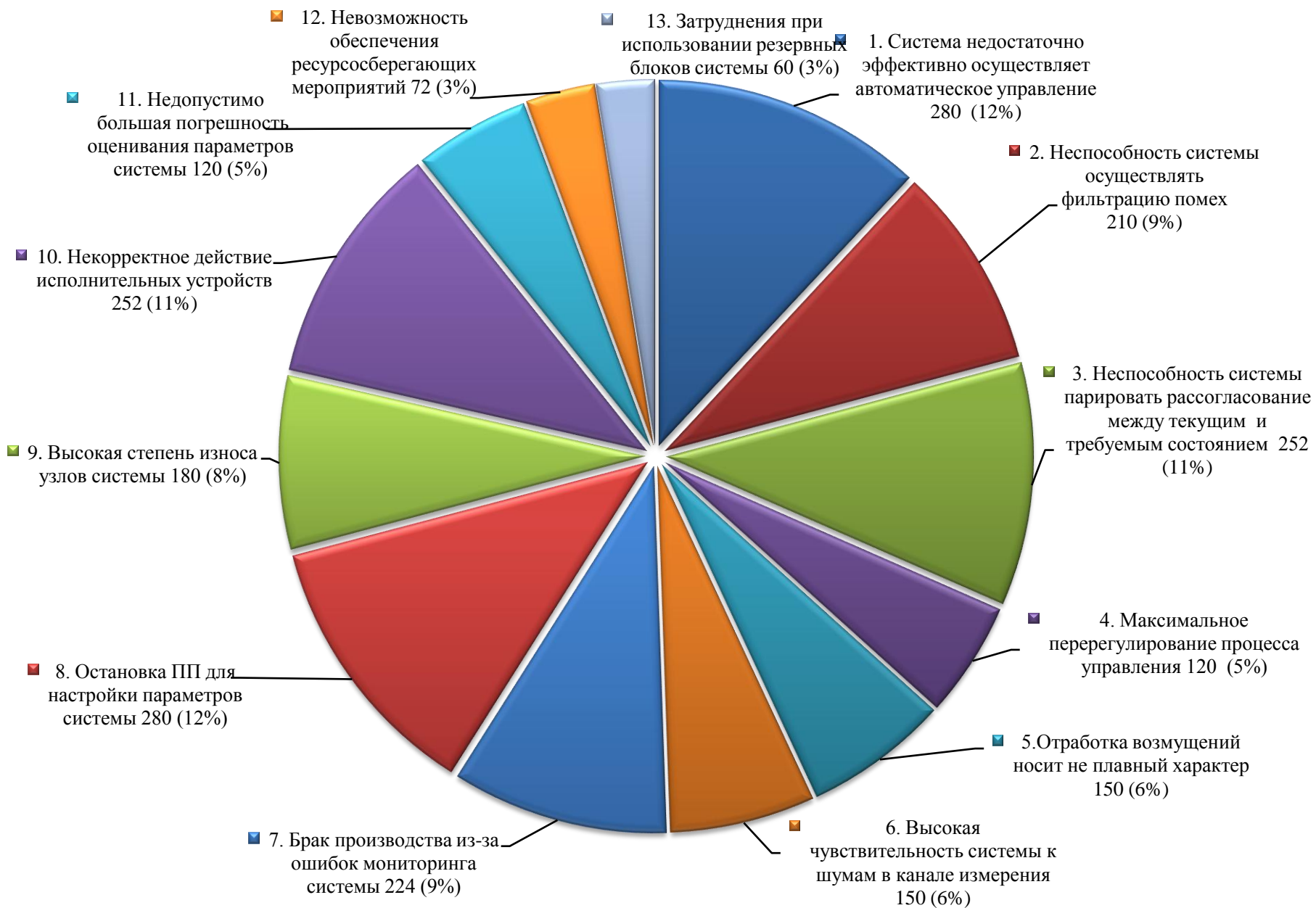


Рисунок 23 – Распределение рисков по ПЧР

Если ПЧР не велико, значит в настоящее время предлагаемых мер для управления рисками достаточно. Если для риска/угрозы ПЧР ≥ 100 , необходимо определить потенциальные причины такого высокого уровня риска. Эти причины рассматриваются экспертной группой как нежелательные ситуации, и проводится оценка уровня возможности их появления с помощью показателей O, D, S и расчета ПЧР. В случае, если ПЧР для любой из причин ≥ 100 , рабочая группа формулирует упреждающие действия, а затем оценивает уровень риска их невыполнения тем же способом. И так продолжается до тех пор, пока уровень риска не станет приемлемым и, следовательно, упреждающие действия – результативными.

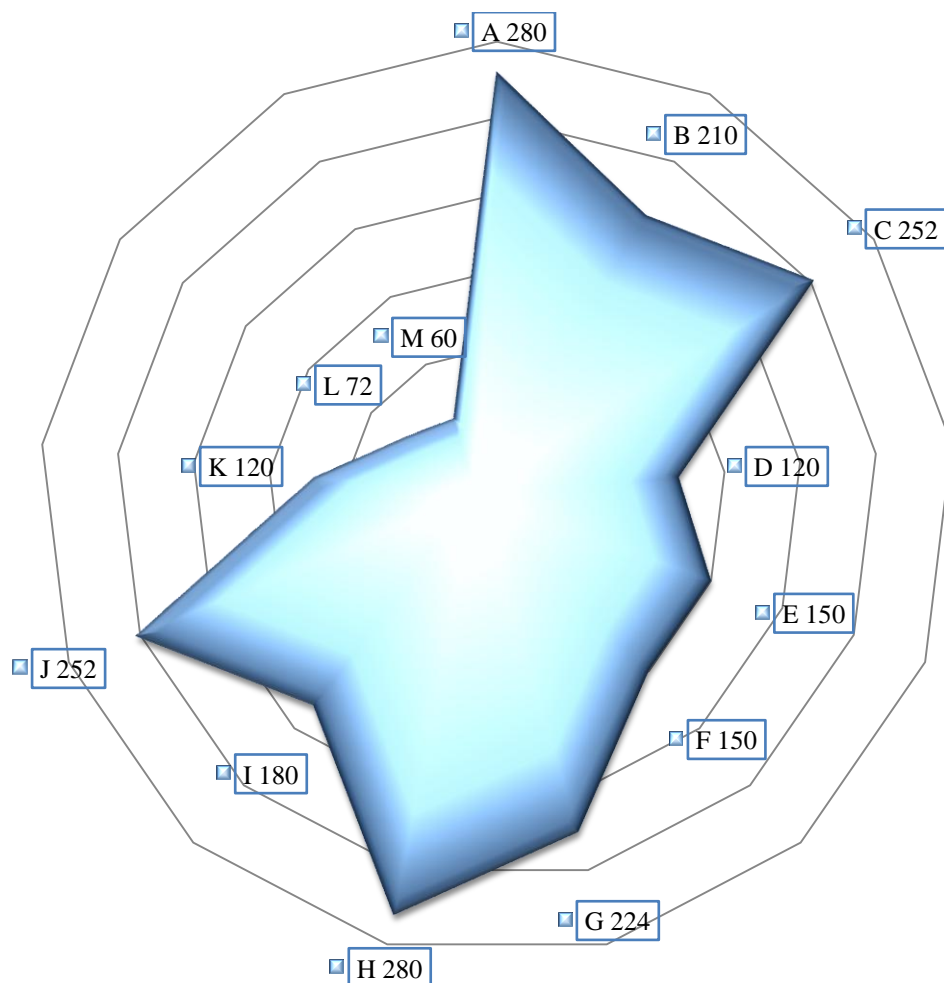


Рисунок 24 – Выявление приоритетных рисков

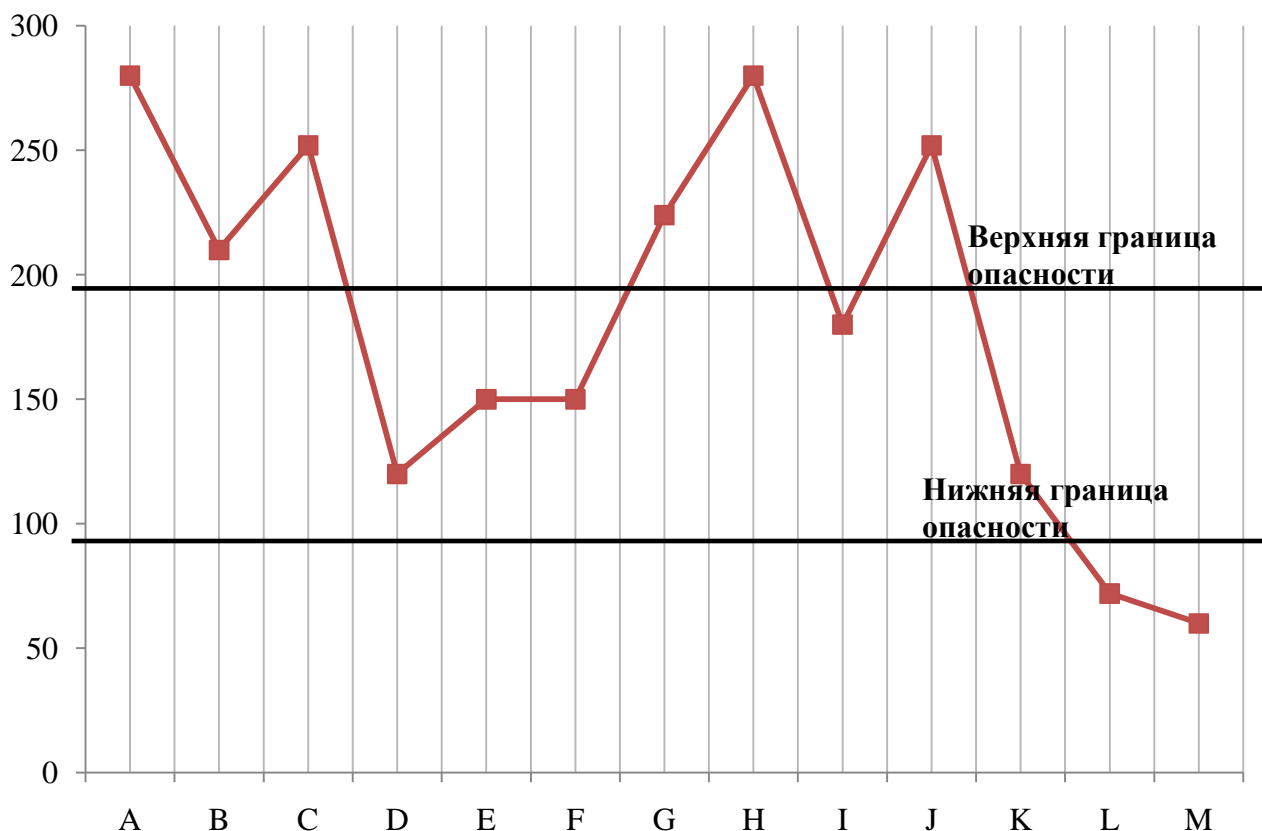


Рисунок 25 – Динамика процесса измерения ПЧР

На рисунке 25 отображены текущие значения рассматриваемых видов рисков в зависимости от расположения значений ПЧР в пределах «Верхней» и «Нижней границы опасности». По итогам построения диаграммы возможно определение видов рисков, минимизация и устранение которых необходимо в кратчайшие сроки. Для более наглядного отображения причинно - следственной связи возникновения риска построим диаграмму (рисунок 26), позволяющую выявить ключевые параметры процессов, влияющих на характеристики системы и установить причины проблем в реализации ПП. Очевидным представляется выявление предупреждающих действий для минимизации риска, которые включают методы и средства устранения и управления угрозами. По аналогии с ранжированием рисков и угроз проводится ранжирование предупреждающих действий, имеющих превентивный характер. На диаграмме принятия решений размещаются наиболее важные мероприятия.

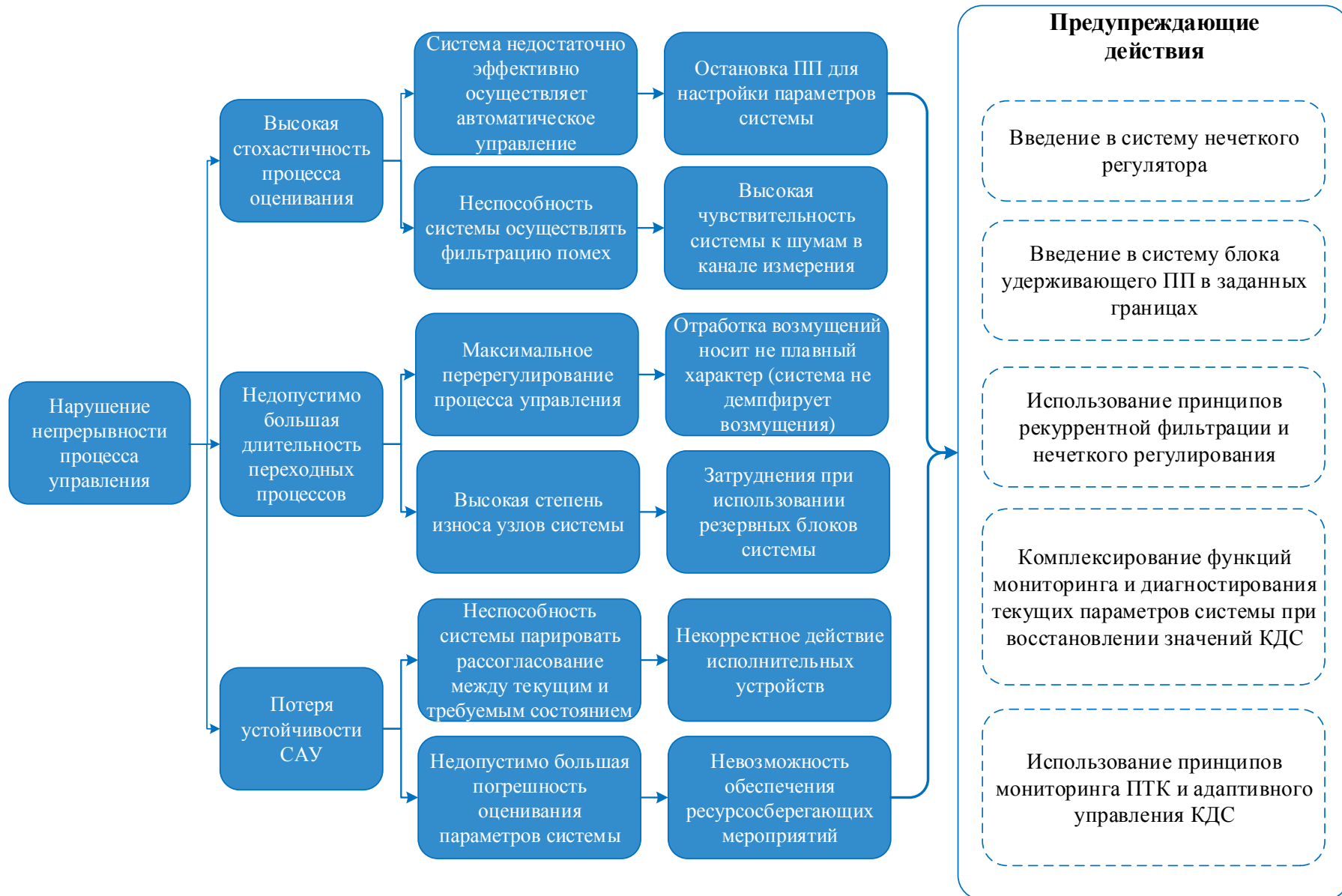


Рисунок 26 – Диаграмма принятия решений

Анализ рисков и угроз проводится с целью оценки устойчивости ПП в конкретный временной промежуток на основе информации о состоянии процесса при возникновении возмущений в прошлом и, учитывая фактические данные о состоянии КДС в настоящий момент времени [72-84]. Комплексное использование представленной методики формирования упреждающих действий, направленных на оценку и прогнозирование технического состояния объектов, призвано обеспечить полную информационную поддержку принятия управляющих решений, позволяющих повысить качество функционирования КДС и сократить число отказов инженерного оборудования. На основе представленных технических предложений достигается адекватный учет особенностей процесса управления при изготовлении бортовой микроэлектроники, а также выбор стратегии, обеспечивающей требуемые характеристики как ПП, так и собственно производимой продукции.

1.6 Обоснование направлений совершенствования производственного процесса изготовления бортовой микроэлектроники путем повышения качественных показателей климатической системы в чистых помещениях

Для обеспечения сформулированных требований к КДС необходима реализация системы мероприятий, важнейшим из которых является детальный мониторинг нахождения контролируемых параметров в заданных допусках и оперативное восстановление требуемых значений в случае выхода одного или нескольких параметров за пределы определенных граничных значений.

Для этих целей предлагается создание комплекса аппаратно-программных средств, включающих систему контроля (слежения) и автоматического поддержания требуемых значений установленных параметров в заданных пределах. Математическое обеспечение, на основе

которого разрабатывается методика управления, должно отвечать, прежде всего, требованиям адекватности реально происходящим в ЧПП процессам и гарантировать надежность автоматического управления восстановлением установленных норм характеристик динамической системы при их нештатном отклонении от эталона. Речь идет не о тривиальных случаях перехода на резервный комплект оборудования при фиксации факта выхода из строя того или иного аппаратного средства (хотя и в этих случаях также возможны особенности в управлении динамической системой), а о синтезе процедур восстановления нормы отдельной характеристики, гарантирующих ненарушение норм значений других элементов вектора контролируемых параметров и сохранение качества ПП при изготовлении микроэлектронной продукции [99-101].

Иными словами, механизм восстановления одного из контролируемых параметров до требуемых значений не должен приводить к уходу остальных параметров из заданных допусков, поскольку это неизбежно скажется на результативности управления ПП и качестве продукции в целом.

Аналитически формализовать эти процессы в рамках классической теории статистических САУ оказывается крайне сложной задачей. Действительно, наблюдаемые параметры являются неоднородными, описываемыми различными функциональными зависимостями, связанными оригинальными корреляционными законами и т.п.

Для обеспечения непрерывности процессов мониторинга и управления целесообразно использовать рекуррентные схемы, в которых по итогам сравнения текущих и требуемых параметров пространства наблюдений принимается решение о выдаче управляющего воздействия на исполнительные устройства. В настоящее время вопросы рекуррентного оценивания параметров динамических систем детально проработаны в ряде научных публикаций [115-118], что обеспечивает их широкое внедрение в производственные циклы, предполагающие поддержание в заданных

точностных границах комплекса неоднородных параметров и характеристик.

Однако многомерность вектора отслеживаемых параметров, их неоднородность и сложность математического описания как самих переменных состояния, так и их взаимосвязей делает уязвимой такие показатели, как устойчивость и надежность функционирования подобных динамических систем, при предъявлении особых требований к производству бортовой микроэлектроники.

Проанализируем методику получения оценки вектора состояния КДС с помощью рекуррентной процедуры [115].

Пусть уравнение наблюдения имеет вид:

$$r_i = A_i q_i + \varepsilon_i,$$

или после линеаризации и перехода в приращения:

$$\delta r_i = A_i \Delta q_i + \varepsilon_i,$$

где $\delta r_i = \tilde{r}_i - r_i^{\circ}$ – вектор невязок измерений на i -й момент оценивания,

\tilde{r}_i – вектор измерений,

r_i° – вектор прогнозных значений измерений,

A_i – матрица наблюдения на i -й момент оценивания,

Δq_i – вектор поправок к начальным условиям на i -й момент оценивания,

ε_i – шум измерений, характеризуемый корреляционной матрицей $K_{изм}$.

При этом экстраполяция (прогноз) вектора состояния с $i-1$ шага на i осуществляется по формуле: $q_i^{\circ} = F_i q_{i-1}$,

где F_i – переходная матрица, вид которой определяется принятой моделью изменения состояния динамической системы.

В общем случае рекуррентная оценка имеет вид: $q_i = q_i^{\circ} + K_i (\tilde{r}_i - r_i^{\circ})$.

Здесь K_i коэффициент усиления, рассчитываемый по формуле:

$$K_i = K_{qi}^{\circ} A_i^T (A_i K_{qi}^{\circ} A_i^T + K_{изм})^{-1},$$

При этом $K_{qi}^{\circ} = F_i K_{qi-1} F_i^T$.

Полученная оценка характеризуется корреляционной матрицей погрешностей: $K_{qi} = (I - K_i A_i) K_{qi}^0 (I - K_i A_i)^T + K_i K_{изм} K_i^T$, здесь I – единичная матрица.

Рассмотренная рекуррентная процедура призвана обеспечить прецизионное решение задачи оценивания вектора состояния при совпадении предполагаемой модели изменения оцениваемого параметра с реальным законом его изменения. Однако при отсутствии отмеченного совпадения процесс слежения расходится и погрешность оценивания становится недопустимо большой.

В рассматриваемой задаче математически точно описать зависимость реакции параметров КДС на управляющее воздействия и различные возмущения не представляется возможным.

Необходимо, чтобы динамическая система обладала свойствами адаптивной подстройки под изменяющуюся ситуацию. Иными словами, должна быть предусмотрена возможность изменения полосы пропускания системы – или адаптивного управления ее коэффициентом передачи. Представим процесс управления параметрами в КДС с помощью схемы рекуррентного управления (рисунок 27).

На приведенной схеме заданные значения температуры T , влажности M , концентрации пыли в воздухе Du поступают на входы формирователей рекуррентных оценок (ФРО) указанных параметров, где сравниваются с текущими значениями параметров, поступающими с датчиков, установленных внутри производственного помещения.

Полученные невязки в классической системе оценивания подаются на сглаживающие цепи, где осуществляется подавление шума и прогнозирование оцениваемой величины в соответствии с принятой моделью, описывающей состояние системы. Далее применяют регулятор, который преобразует входную величину в управляющее воздействие, призванное обеспечить совпадение формируемой оценки с заданной величиной.

В рассматриваемом случае описать математически строго структуру сглаживающих цепей и регулятора не представляется возможным. Необходим механизм, который позволил бы адаптивным образом генерировать управляющее воздействие, обеспечивающее сближение формируемой и заданной величин при сохранении непрерывности, устойчивости управления и ненарушении выставленных ограничений. Поэтому для создания математической модели поведения описанной динамической системы предлагается использовать аппарат нечеткой логики, позволяющий синтезировать устойчивые алгоритмы ее функционирования в условиях недоопределенности модели наблюдения [39, 46, 56, 61, 86, 93, 107].

Нечеткая логика (на схеме нечеткий регулятор (НР)) вкпе с рекуррентной процедурой [80, 86] представляет инновационный подход к разработке динамических систем управления, гарантирует возможность решения задач, в которых данные и возмущения являются непрогнозируемыми, не стационарными и сложно определяемыми, а значит не поддаются точному математическому описанию. Возможны следующие ситуации когда используются модели динамических систем на основе нечеткой логики:

- существует определенное вербальное описание некоего процесса, характеризующееся качественными показателями и позволяющее построить некоторое множество лингвистических правил;
- существуют аналитические уравнения, описывающие динамику процесса управления, однако, составляющие этих выражений определены «с некоторым люфтом» – $(a + \delta a)$;
- закономерности, характеризующие управляемый ПП, представляются сложными для функционального описания, но могут быть нестрого представлены в терминах некоторой лингвистической модели (конструкции).

В общем случае полученная величина управляющего воздействия

отличается от формируемой по классическому подходу. Основная идея заключается в обеспечении устойчивости процесса поддержания параметров состояния динамической системы в нештатных ситуациях. Классическая система автосопровождения ориентирована на несложную или четко формализуемую динамику изменения контролируемых параметров. И эта задача нередко решается с приемлемой точностью. Проблемы возникают при отклонении от указанной динамики.

Предлагаемые алгоритмы нечеткого управления призваны парировать возмущение динамической системы на основе адаптивной процедуры формирования адекватных управляющих воздействий. Последняя предполагает сопряжение технологии рекуррентного оценивания и адаптивной компенсации неопределенности модели наблюдения на основе нечетких правил формирования управляющего воздействия [80]. Указанный подход призван минимизировать риск расходимости процесса поддержания вектора состояния системы в заданных границах при различного характера возмущениях. Задача заключается в разработке и формализации механизма, обеспечивающего адекватность процедуры нечеткого регулирования и процесса формирования результирующего воздействия, что приведет к повышению качественных показателей функционирования ЧПП.

Привлекательность использования аппарата нечеткой логики объясняется следующими обстоятельствами. Для придания САУ возможности сопровождения сложных в динамическом смысле процессов потребуется обеспечение заданной степени астатизма, что неизбежно приводит к росту времени переходных процессов и ухудшению практически всех характеристик, их описывающих. При этом САУ действительно сможет отслеживать процессы со сложной динамикой, однако, своеобразной диалектически оправданной платой за это будет потеря качественных показателей переходного процесса. Не будет исключением при этом и процедура рекуррентной фильтрации.

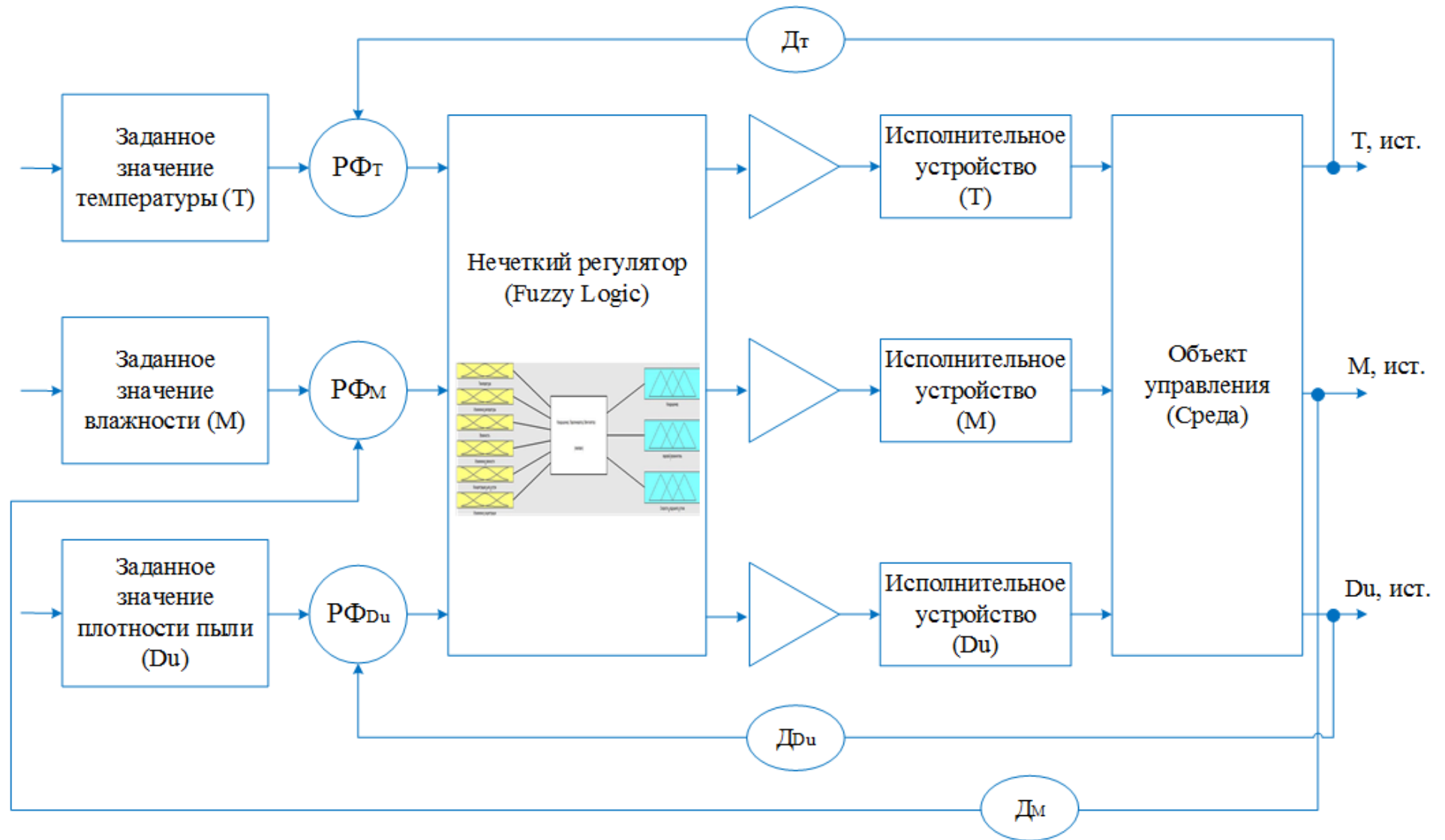


Рисунок 27 – Схема рекуррентного управления КДС с нечетким регулятором

Здесь следует заметить, что несмотря на всю возможную сложность воздействующего возмущения, итогом его отработки (после длительного переходного процесса) будет выдача на исполнительное устройство конкретного значения управляющего воздействия. Заметим, что при реализации аппарата нечеткой логики такое же значение управляющего воздействия может быть получено при исполнении процесса перехода от числового значения оценки рассогласования к ее вербальному представлению (фаззификация), «обработки» комплекса лингвистических правил с учетом принятых предпочтений и допущений (через механизм функции принадлежности) и выполнении обратного преобразования взвешенного результата в числовую форму (дефаззификация). Однако время исполнения этого сложно описанного процесса оказывается гораздо меньшим времени переходного процесса в классической САУ. Это обусловлено отсутствием у НР необходимого для традиционной САУ числа интегрирующих звеньев, обеспечивающих необходимый астатизм, но и времени на его реализацию тоже.

Вот почему при использовании механизма нечеткой логики исследователь вправе рассчитывать на достижение более высоких качественных показателей функционирования КДС в условиях возникновения непрогнозируемых возмущений. Поскольку адаптация САУ с НР требует меньших временных ресурсов, но более детального предварительного лингвистического описания правил принятия решения и поведения исполнительных устройств.

Предложенное решение делает процесс управления климатическими параметрами адаптивным с возможностью учета априорных данных, что дает возможность построения робастных динамических систем управления ПП изготовления бортовой микроэлектроники.

1.7 Результаты и выводы по разделу 1

Исследован комплекс обязательных требований, средств и мероприятий, обеспечивающих специальные условия для разработки и производства радиоэлектронной аппаратуры, указанный в нормативно - технической документации (ГОСТ Р ИСО 14644 [8-10, 16-24]).

Проведен анализ существующих технологий управления микроклиматом в ЧПП, обозначены мероприятия, необходимые для обеспечения надежности системы автоматического управления производством бортовой микроэлектроники.

Определены направления исследования в области сопряжения технологии рекуррентного оценивания и эвристического адаптивного задания матрицы компенсации недоопределенности модели наблюдения на основе нечетких правил формирования управляющего воздействия.

Решение задачи синтеза системы управления призвано обеспечить устойчивость и точность управления качеством функционирования динамической системой с жесткими ограничениями на параметры состояния технологического процесса, минимизацию времени переходных процессов, снижение рисков производства некачественных изделий.

Реализация предлагаемого подхода требует разработки технологии непрерывного автоматического устойчивого управления КДС на основе рекуррентного мониторинга вектора состояния динамической системы и его восстановления с помощью аппарата нечеткого регулирования.

Для этого потребуются разработка модели функционирования КДС в среде компьютерной математики MatLab, процедур адаптивного нечеткого регулирования, обеспечивающих устойчивость управления климатическими параметрами ПТК к воздействию возмущающих факторов, оценка результативности процедур управления качеством ПП при изготовлении бортовой электроники на основе анализа результатов статистического моделирования.

2 ТЕХНОЛОГИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МОНИТОРИНГА С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ

2.1 Особенности автоматического управления климатической динамической системой в условиях априорной неопределенности

В условиях современных непрерывно повышающихся требований к результативности ПП изготовление бортовой авионики характеризуется комплексом труднореализуемых в рамках классической теории САУ качеств. Такие объекты являются плохо структурно определенными и наделены такими свойствами, как незавершенность математической конструкции и не стационарность параметров, а также неполнота формального описания объекта [86]. Управление подобного рода объектами является сложно реализуемой в прикладном смысле задачей, поскольку для построения традиционной системы управления необходимо формальное описание объекта управления, а также уточнение критериев управления, сформированных на базе математического аппарата, оперирующего количественными категориями.

На практике подобными объектами управляет оператор, используя опыт, он принимает решения, не имеющие строгого математического описания. Поэтому построение моделей процедур, приближенных к рассуждениям специалиста, и их последующее использование в САУ выступает в качестве одного из важнейших направлений модернизации КДС. В последнее время заметно активизировалось применение в промышленности инновационных методов управления [42, 74, 93]. Внедрение интеллектуальных САУ позволяет повысить качество ПП изготовления микроэлектроники при уменьшении энерго- и ресурсозатрат и

обеспечивает устойчивость и адаптацию к возмущающим воздействиям в сравнении с традиционными САУ. Перспективным направлением в современной технологии управления является нечеткое регулирование, активно применяющееся в настоящее время для синтеза нечетких, гибридных регуляторов, нечетких поисковых систем автоматической самоорганизации, нечетких устройств с использованием технологий оценивания и фильтрации. Методы, развиваемые в теории нечеткого управления, опираются на математическую теорию нечетких множеств и нечеткую логику, которые позволяют оперировать неопределенной или нечеткой информацией, плохо интерпретируемой в количественных терминах.

При управлении процессами, не имеющими точного математического описания, нечеткие системы по сравнению с традиционными имеют более высокие показатели по таким критериям как быстродействие, устойчивость, помехозащищенность и точность за счет более адекватного описания реальной среды, в которой они функционируют. Однако для результативного применения идеологии нечеткого регулирования важно построить адекватную физическую модель управления. В этом смысле, преимущество интеллектуальной САУ обусловлено тем, что она работает не только с количественными данными, как традиционные САУ, но и со знаниями, базирующимися на качественной информации. Это дает возможность достаточно объективно описать пространство состояний и организовать адекватное поведение управляющей системы в условиях непрерывной изменчивости вектора состояния КДС. Принцип ее функционирования, например, при стабилизации температуры в ЧПП проиллюстрирован на рисунке 28. Сигнал от температурного датчика и сигнал, соответствующий заданному показателю по температуре, поступает в блок, осуществляющий сравнение и вычисляющий рассогласование между заданным показателем и текущим значением, далее, исходя из разницы, полученное значение, поступает на вход регулятора, формирующего управляющее воздействие. Последнее поступает на исполнительное устройство, осуществляющее

регулирование температуры в ЧПП (калорифер, система кондиционирования и т.п.) [73, 76, 78]. Изменение режима работы исполнительного устройства направлено на удержание температуры в ЧПП в рамках заданных техническими характеристиками производства показателей. Исполнение рассматриваемой системы является безупречным в том случае, если ее взаимодействие с окружающей средой корректно описано в программе регулирующего устройства и определено в рамках этого описания.

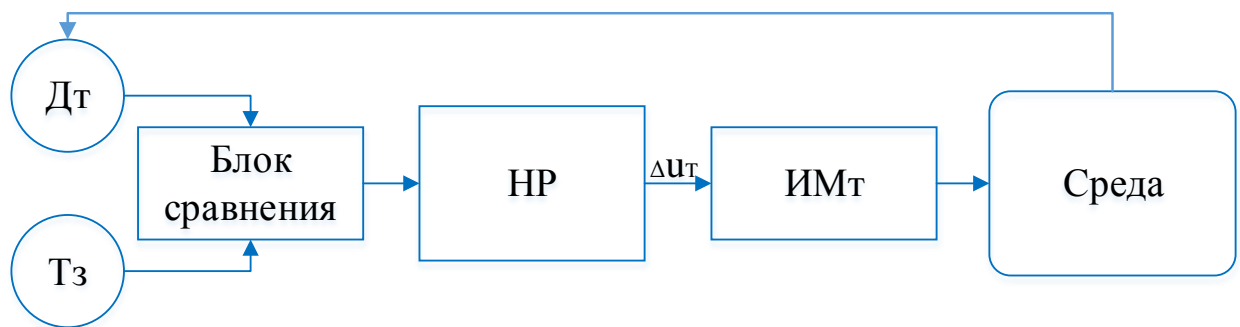


Рисунок 28 – Принцип стабилизации температуры в помещении

В зависимости от сформированного влияния и параметров объекта управления выбирают регулятор с конкретной передаточной характеристикой $W(p)$. Изменение $W(p)$ приводит к адекватной перемене коэффициентов дифференциального уравнения совместного передаточного звена (регулятор- объект), что позволяет достигать необходимого качества процесса управления [71].

Эти величины при работе с промышленными регуляторами именуется параметрами настройки: коэффициент усиления, зона нечувствительности, постоянная времени интегрирования, постоянная времени дифференцирования и т. д. Регуляторы наделены органами управления с целью изменения параметров настройки. Помимо органов управления основными параметрами регуляторы комплектуются органами настройки, влияющими на коэффициенты или режимы работы (органы управления чувствительностью регулятора, устранения шумов входного сигнала).

Однако реальная среда не может быть описана только количественными данными, поскольку помимо количественных математических терминов необходимо учитывать качественные понятия естественного языка.

Вследствие чего функционирование подобной системы при возникновении провокационных возмущений (не описанных в явном виде в программе регулятора) с позиций наблюдателя будет протекать нерационально. Поскольку знания и опыт человека не могут быть выражены в точной математической форме, а имеют скорее вербальный характер, перспективным направлением развития и модернизации предприятий радиопромышленности является применение интеллектуальных САУ, которые используют аппарат нечетких множеств и лингвистические переменные для представления знаний человека о принципах и свойствах управления ПП [42, 50, 68, 86, 91, 92, 106, 126]. Принцип функционирования системы с нечеткой логикой отражен на рисунке 29.

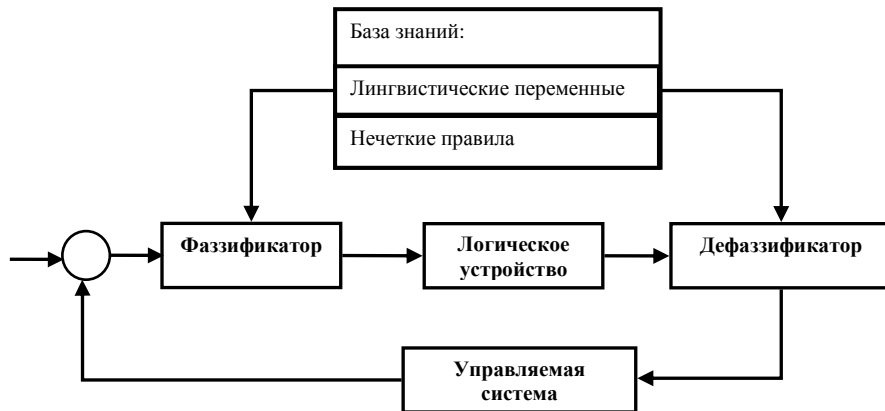


Рисунок 29 – Принцип работы нечеткого регулятора

Фаззификатор осуществляет преобразование четких количественных величин в нечеткие значения, которые описаны лингвистическими переменными. Затем нечеткие условные директивы, составляющие базу правил, используются логическим устройством для формирования управляющих воздействий, также представленных в нечетком виде.

В свою очередь, задача дефаззификатора состоит в преобразовании

нечетких выходных данных, поступающих из блока решения, в конкретные числовые величины, которые будут использованы для управления объектом. Дальнейшая «интеллектуализация» САУ путем включения в их состав блоков самообучения и адаптации является актуальным направлением развития теории и практики построения открытых систем, которые будут способны эволюционировать и совершенствовать алгоритмы функционирования КДС.

Сформулированные принципы построения дают возможность определить НР как двухуровневую систему управления, «интеллектуальную в малом», на нижнем уровне которой находится традиционный ПИД-регулятор, а на верхнем уровне используются базы знаний (БЗ) с блоком нечеткого вывода и устройства перевода в лингвистические и четкие значения (фазификатор и дефазификатор, соответственно (рисунок 30)).

В зависимости от типа используемого традиционного регулятора и способов формирования БЗ (с механизмами вывода) НР может быть адаптивным, обучающимся, самообучающимся, через введение в структуру регулятора соответствующих блоков (рисунок 30, 31).

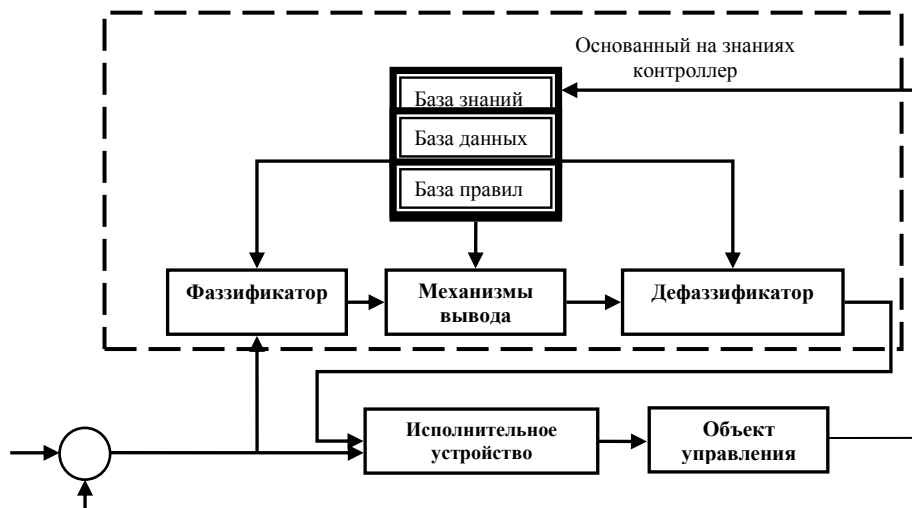


Рисунок 30 – Схема нечеткого регулятора

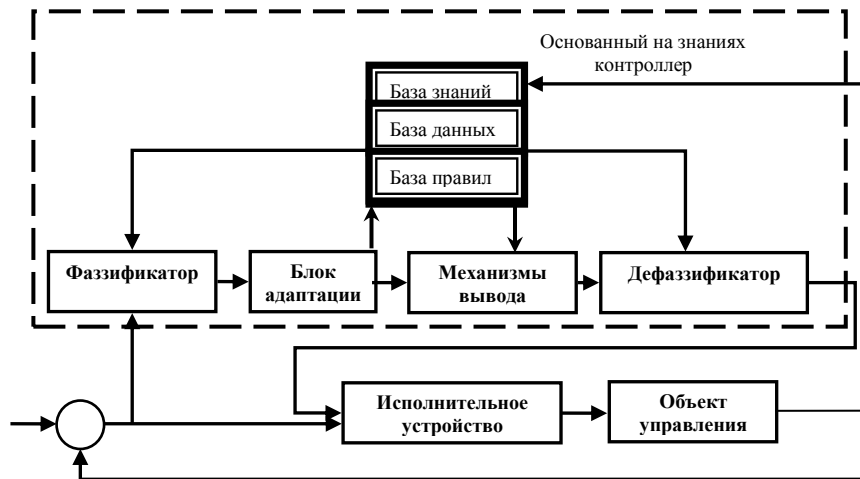


Рисунок 31 – Схема адаптивного нечеткого регулятора

Следует отметить, что большинство открытых интеллектуальных САУ в процессе обработки знаний и занесения информации в БЗ функционируют с помощью вербального языка, то есть используют теорию нечетких множеств и термины лингвистических переменных [37, 62]. Это дает возможность предположить, что в модернизированные открытые системы будет активно внедряться аппарат нечеткой логики, который наиболее результативно отображает неопределенности реальной среды и делает возможным построение оптимальной модели управления, адекватно соответствующей реальности.

2.2 Математическая модель системы автоматического мониторинга климатических параметров в производственном помещении для изготовления бортовой микроэлектроники

Неуклонное повышение требований к качеству промышленного производства изделий бортовой микроэлектроники приводит к необходимости совершенствования систем управления ПП. Более актуальным становится ситуационное управление [42, 104], обеспечивающее адаптацию при изменении условий осуществления ПП, повышение уровня

автоматизации интеллектуальных функций системы управления и использование при управлении знаний и опыта экспертов. Качество производимой бортовой микроэлектроники связано с обеспечением жестких технологических режимов. В число контролируемых параметров при этом входят характеристики микроклимата ЧПП, наиболее важными из которых являются: температура, влажность, состав воздуха (пыль, концентрация газов и т.п.) [72-84].

Общая схема автоматического управления ПП изготовления микроэлектроники приведена на рисунке 32 [71].

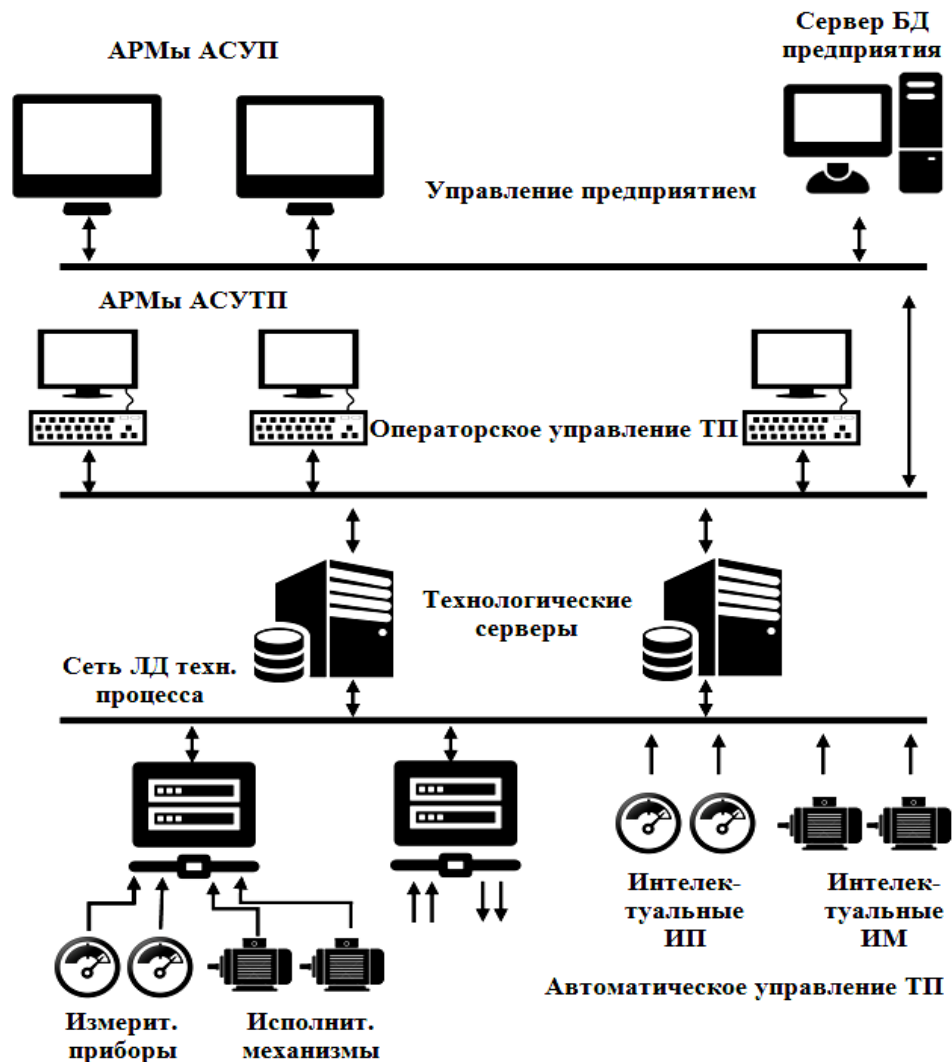


Рисунок 32 – САУ ПП при изготовлении микроэлектроники

На нижнем уровне управления реализуется взаимодействие программных контроллеров, измерительных преобразователей и

исполнительных механизмов инженерного оборудования. Используемое программное обеспечение осуществляет реализацию автоматического регулирования и программного управления логическими контроллерами.

На вход контроллеров поступают данные от измерительных устройств о состоянии процесса управления, далее производится расчет необходимых управляющих воздействий в соответствии с процедурами автоматического регулирования, затем осуществляется вывод управляющих сигналов на исполнительные устройства [34, 57].

В описываемой САУ ПП осуществляется программное регулирование и обеспечение устойчивости параметров технологической операции, архивирование информации в базе знаний, фильтрация сигналов управляющих воздействий, вывод отчетов и оперативное управление в случае возникновения аварийной ситуации.

Традиционным подходом к управлению ПП является использование детерминированного описания взаимосвязи между динамикой процесса и его параметрами. Так, в работах [39, 71] исследуется система управления обогревом технологического помещения с использованием для описания температуры теплового носителя следующего выражения:

$$T_{hp} = z_1 v - z_2 E + z_3 T_{\text{вз}} - z_4 T_n - z_5 T_n + z_6 W_B, \quad (2.1)$$

где T_{hp} – температура расчетной воды системы обогрева на входе,

v – скорость ветра,

E – интенсивность солнечной радиации,

$T_{\text{вз}}$ – заданная температура воздуха в производственном помещении,

T_n – температура пола,

T_n – температура наружного воздуха,

W_B – влажность воздуха в производственном помещении,

$z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6$ – коэффициенты пропорциональности.

Особенностью модели является подробный учет многих, влияющих на температурный режим, факторов [35, 36, 54, 65, 94]. Однако реализация

модели требует определения неизвестных коэффициентов z_i .

Качество ПП и его результативность зависят не только от значений технологических параметров, но и от способа их комплексирования. Выбирая определенные сочетания параметров для конкретных условий реализации ПП, можно как минимизировать риски, так и максимизировать качество производства.

На параметры микроклимата в технологическом помещении оказывают влияние внешние возмущения (рисунок 33).

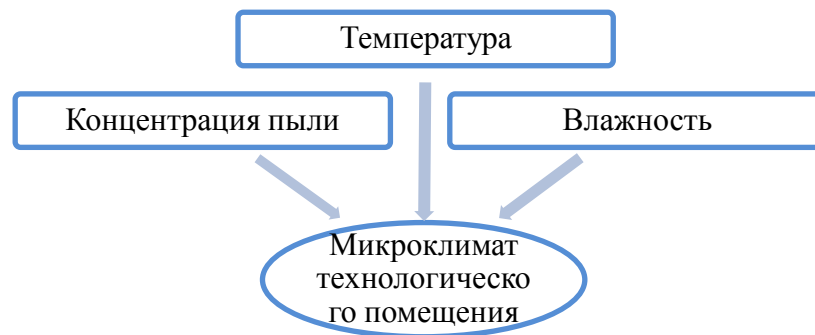


Рисунок 33 – Воздействие климатических условий внешней среды на микроклимат производственного помещения

Определим динамические зависимости температуры воздуха, его влажности и концентрации пыли, в наибольшей степени влияющих на качество технологического процесса в производственных помещениях, от управляющих воздействий и основных возмущений [71, 72-84]. На рисунке 34 представлена схема функционирования системы воздухоподготовки и фильтрации в ЧПП, необходимых для поддержания заданного уровня состава и чистоты воздуха [66, 67] и относительно низких постоянных времени в каналах управления. Управление составом воздуха в технологическом помещении происходит за счет добавления свежего воздуха к среде внутри помещения при использовании системы вентиляции. Процесс получения необходимой температуры воздуха происходит путем подачи подготовленного до расчетной величины воздуха от промышленного кондиционера.

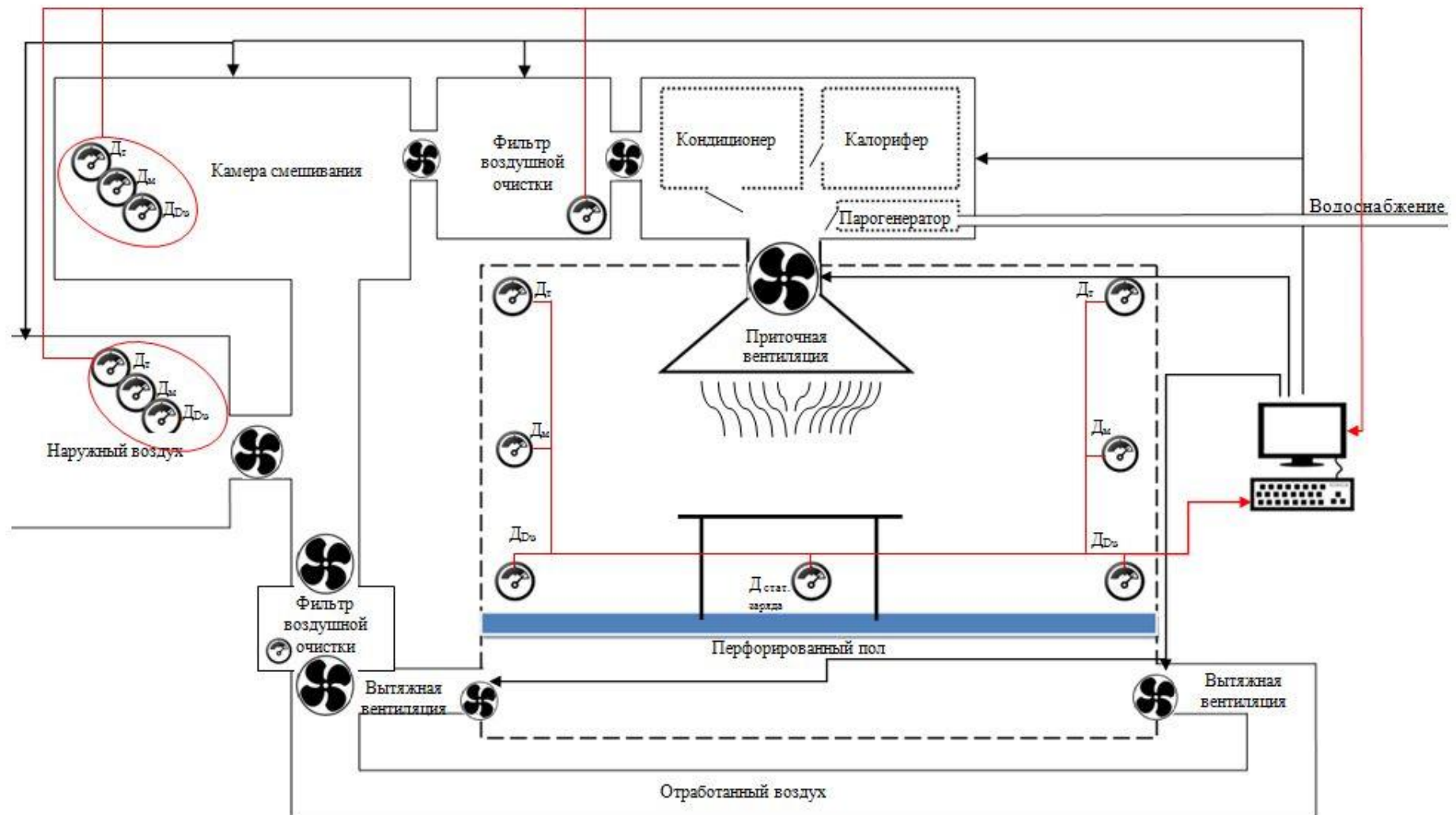


Рисунок 34 – Схема функционирования системы воздухоподготовки и фильтрации в ЧПП

Регулирование влажности осуществляется изменением количества подаваемого пара системой увлажнения в канал промышленного кондиционера от парогенератора. Управление степенью загрязнения воздуха осуществляется с помощью соответствующих фильтров, а контроль за их состоянием – оптическими датчиками.

Для придания компактности разрабатываемой модели примем в качестве исходных следующие допущения при описании процессов в технологических помещениях:

- при оценке теплового баланса можно пренебречь нагревом производственного помещения солнечным светом;
- тепловая инерция стен помещения не учитывается;
- тепловыделением от внутреннего технологического оборудования можно пренебречь (теплоизлучение от электросети, освещения и т.д.);
- процессы лучистого теплообмена внутренних поверхностей помещения не учитываются;
- пространственное распределение переменных, описывающих микроклимат, может быть учтено путем необходимого усложнения системы датчиков, мониторинга и обработки данных наблюдений;
- объект управления рассматривается как квазистационарный [71].

С учетом изложенного воспользуемся уравнением теплового баланса [39]. Математическая модель управления микроклиматом в автоматической системе должна учитывать многосвязность параметров технологического режима, что в большинстве известных подходов не принимается во внимание. Для этой цели воспользуемся методом, в основе которого лежит физический подход к моделированию динамических систем на основе построения балансных уравнений соответствующих параметров состояния [30, 38, 55, 103]. Как уже отмечалось, наиболее значимыми параметрами являются температура воздуха, его влажность и предельная концентрация

пыли. Важно определить динамические зависимости этих параметров от управляющих воздействий и возмущающих факторов.

Для формализации температурного режима ПП будем учитывать наличие следующих тепловых потоков:

$Q_{ист}$ – тепло от источника (от системы отопления),

$Q_{огр}$ – теплопотери через ограждающие конструкции ЧПП,

$Q_{атм}$ – теплопотери на обогрев (охлаждение) атмосферного воздуха.

Зная внутренний объем помещения V , плотность воздуха ρ , его удельную теплоемкость C и, воспользовавшись методикой энергетического баланса [45-48, 51-53], запишем уравнение тепловой энергии, определяющей изменение температуры воздуха $T(t)$ внутри ЧПП:

$$\rho VC \frac{dT(t)}{dt} = Q_{ист}(t) - (Q_{огр}(t) + Q_{атм}(t)). \quad (2.2)$$

Определим теплопотери через ограждающие конструкции ЧПП:

$$Q_{огр}(t) = qS(T(t) - T_n(t)), \quad (2.3)$$

где q – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции,

S – площадь ограждающих конструкций,

$T(t)$ – температура воздуха внутри здания,

$T_n(t)$ – температура наружного воздуха.

Теплопотери на обогрев приточного воздуха составляют:

$$Q_{атм}(t) = G_{атм}(t)C(T(t) - T_n(t)) = G_{атм}(t)C\Delta T, \quad (2.4)$$

где $G_{атм}(t)$ – поступающий поток атмосферного воздуха.

Тогда уравнение (2.2) примет вид:

$$\rho VC \frac{dT(t)}{dt} = Q_{ист}(t) - qS(T(t) - T_n(t)) - G_{атм}(t)C\Delta T. \quad (2.5)$$

Преобразуем уравнение (2.5):

$$\rho VC \frac{dT(t)}{dt} + qST(t) = Q_{ист}(t) - qST_n(t) - G_{атм}(t)C\Delta T.$$

Разделив обе части приведенного уравнения на qS , получим:

$$\frac{\rho VC}{qS} \frac{dT(t)}{dt} + T(t) = \frac{1}{qS} Q_{ист}(t) + \frac{qST_n(t)}{qS} - \frac{1}{qS} G_{атм}(t)C\Delta T, \quad (2.6)$$

Уравнение (2.6) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка, описывающее изменение температуры воздуха в зависимости от задающих и возмущающих воздействий. Обозначим $T_T = \frac{pVC}{qS}$ (постоянная времени) и преобразуем уравнение (2.6), используя оператор Лапласа:

$$T_T (pT(p) - T(0)) + T(p) = \frac{1}{qS} Q_{ист}(p) + T_n(t) - \frac{1}{qS} G_{амм}(t)C\Delta T,$$

$$(T_T p + 1)T(p) = \frac{1}{qS} Q_{ист}(p) + T_n(t) - \frac{1}{qS} G_{амм}(t)C\Delta T + T(0)T_T,$$

Получим выражение для $T(p)$:

$$T(p) = \frac{\frac{1}{qS} Q_{ист}(p) + T_n(t) - \frac{1}{qS} G_{амм}(p)C\Delta T + T(0)T_T}{(T_T p + 1)}. \quad (2.7)$$

Из уравнения (2.7) следует, что $T(p)$ зависит от $Q_{ист}(p)$, $T_n(p)$ и $G_{амм}(p)$. Исследуем влияние этих параметров. Найдем передаточную функцию для изменения внутренней и наружной температур:

$$W_{T_1}(p) = \frac{T(p)}{T_n(p)} = \frac{1}{(T_T p + 1)},$$

где $T(p)$, $T_n(p)$ – изображения Лапласа для внутренней и наружной температуры, соответственно.

Таким образом, процесс изменения температуры описывается типовым инерционным звеном. В зимнее время года процесс можно охарактеризовать остыванием здания при отсутствии источников тепловых потоков, влияющих на баланс температуры.

Запишем передаточную функцию для изменения температуры воздуха внутри помещения под воздействием поступающего тепла:

$$W_{T_2}(p) = \frac{T(p)}{Q_{ист}(p)} = \frac{k_1}{(T_T p + 1)},$$

где $Q_{ист}(p)$ – изображение Лапласа для источника тепла, $k_1 = \frac{1}{qS}$.

Этот процесс изменения температуры также представлен инерционным

звеном. Составляющая $\frac{1}{qS} G_{\text{атм}}(p) C \Delta T$ учитывает затраты тепла, обусловленные компенсацией перепада температуры ΔT приточного и внутреннего воздуха в помещении. Расход воздуха $G_{\text{атм}}(p)$ зависит от производительности системы вентиляции и принимает значение, установленное контуром управления для стабилизации значения качественного состава воздуха.

Опишем взаимосвязь между изменением температуры воздуха $T(p)$ и расходом воздуха $G_{\text{атм}}(p)$:

$$W_{T_3}(p) = \frac{T(p)}{G_{\text{атм}}(p)} = \frac{k_2}{(T_1 p + 1)},$$

где $G_{\text{атм}}(p)$ – изображение Лапласа для атмосферного воздуха, $k_2 = \frac{1}{qS} C \Delta T$.

Процесс является инерционным и представляется типовым инерционным звеном. То есть при увеличении расхода воздуха будет наблюдаться снижение его температуры, в случае возникновения положительного перепада температур, в случае же отрицательного перепада – будет наблюдаться увеличение температуры.

Таким образом, температура внутреннего воздуха $T(t)$ как объект управления может быть представлена в качестве параметра состояния динамической системы, на которую оказывают влияние три параметра: одно управляющее воздействие $Q_{\text{ист}}(t)$ и два возмущающих $T_n(t)$ и $G_{\text{атм}}(t)$.

Управляющее воздействие, которое характеризуется подачей тепла от системы отопления с передаточной функцией $W_{T_2}(p)$, направлено на компенсацию возмущений в виде теплопотерь через ограждающие конструкции (при положительном перепаде внутренней $T(t)$ и наружной температур $T_n(t)$), описанных передаточной функцией $W_{T_1}(p)$, и теплопотерь функционирования систем вентиляции и кондиционирования по доведению температуры поступающего наружного воздуха до необходимого состояния. Расход свежего воздуха $G_{\text{атм}}(t)$ определяется в процессе работы контура

стабилизации качества воздуха, и его влияние на температуру $T(t)$ описано передаточной функцией $W_{T_3}(p)$.

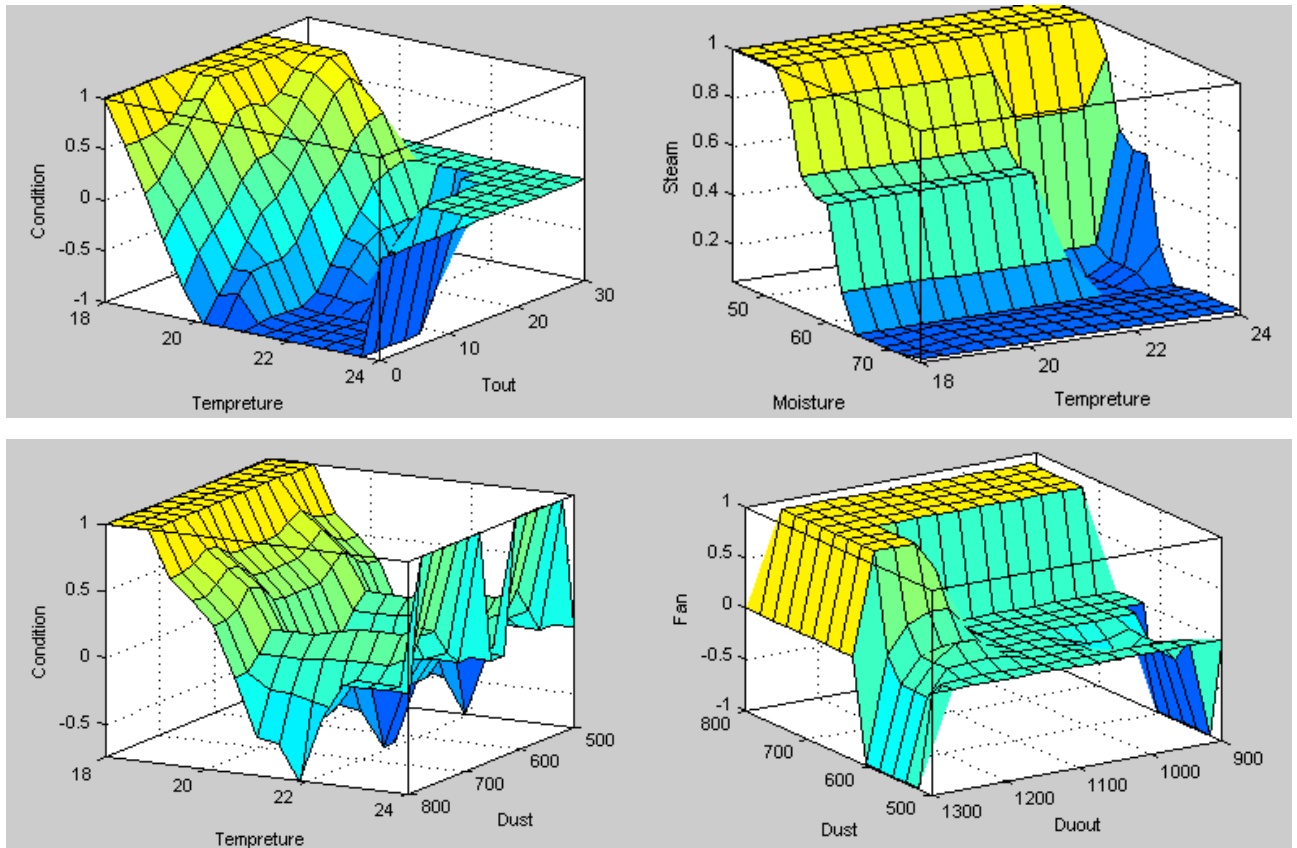


Рисунок 35 – Формирование управляющего воздействия в зависимости от входных параметров

С использованием рассмотренного выше подхода опишем динамическую связь влажности воздуха в ЧПП с управляющими воздействиями и влияющими возмущениями.

В качестве исходного используем уравнение, приведенное в [64, 75], для описания содержания влаги в воздухе:

$$pV \frac{dX(t)}{dt} = G_{атм}(t)X_{атм}(t) - G_{yx}X_{yx}(t) + G_{нар}(t), \quad (2.8)$$

где $X(t)$ – абсолютная влажность воздуха в технологическом помещении,

$X_{атм}(t)$ – абсолютная влажность атмосферного воздуха,

$G_{yx}(t)$ – расход уходящего воздуха,

$X_{yx}(t)$ – абсолютная влажность уходящего воздуха,

$G_{\text{пар}}(t)$ – расход пара.

Для прямоточной системы вентиляции приток атмосферного воздуха $G_{\text{атм}}$ примерно равен расходу уходящего воздуха G_{yx} . Также будем считать, что влажность уходящего из помещения воздуха равна действительному значению влажности воздуха $X_{\text{yx}}(t)=X(t)$. Тогда уравнение (2.8) примет вид:

$$\rho V \frac{dX(t)}{dt} + G_{\text{yx}}(t)X(t) = G_{\text{атм}}(t)X_{\text{атм}}(t) + G_{\text{пар}}(t).$$

Преобразуем уравнение, разделив его на $G_{\text{yx}}(t)$:

$$\frac{\rho V}{G_{\text{yx}}(t)} \frac{dX(t)}{dt} + X(t) = \frac{G_{\text{атм}}(t)}{G_{\text{yx}}(t)} X_{\text{атм}}(t) + \frac{G_{\text{пар}}(t)}{G_{\text{yx}}(t)}.$$

Обозначим постоянную времени процесса увлажнения $\frac{\rho V}{G_{\text{yx}}(t)} = T_X$ и

запишем уравнение в операторном виде:

$$(T_X p + 1)X(p) = \frac{G_{\text{атм}}(p)}{G_{\text{yx}}(p)} X_{\text{атм}}(p) + \frac{G_{\text{пар}}(p)}{G_{\text{yx}}(p)} + X(0)T_X, \quad (2.9)$$

Выразим отсюда $X(p)$:

$$X(p) = \frac{\frac{G_{\text{атм}}(p)}{G_{\text{yx}}(p)} X_{\text{атм}}(p) + \frac{G_{\text{пар}}(p)}{G_{\text{yx}}(p)} + X(0)T_X}{(T_X p + 1)}.$$

Влажность воздуха $X(t)$ зависит от притока свежего воздуха $\frac{G_{\text{атм}}(t)}{G_{\text{yx}}(t)} X_{\text{атм}}(t)$ и от подачи пара $\frac{G_{\text{пар}}(t)}{G_{\text{yx}}(t)}$. Уточним эти зависимости.

Значение влажности воздуха $X_{\text{атм}}(t)$ определяется климатическими условиями региона. Если принять $G_{\text{атм}}(t) = G_{\text{yx}}(t)$, то можно выразить их влияние через передаточную функцию, которая следует из дифференциального уравнения:

$$W_{X_1}(p) = \frac{X(p)}{X_{\text{атм}}(p)} = \frac{1}{(T_X p + 1)}, \quad (2.10)$$

где $X(p)$ – изображение Лапласа для влажности воздуха внутри помещения,

$X_{\text{атм}}(p)$ – изображение Лапласа для влажности атмосферного воздуха.

Как видно из передаточной функции, процесс описывается типовым инерционным звеном и представляет собой проветривание помещения наружным воздухом, что при отсутствии внешних воздействий, влияющих на изменение влажности воздуха, приводит влажность в помещении к значению влажности наружного воздуха.

Расход пара $G_{\text{пар}}(t)$ является задающим воздействием, компенсирующим дефицит влажности в воздухе. Учтем влияние параметра передаточной функцией, связывающей влажность воздуха $X(t)$ и воздействие $G_{\text{пар}}(t)$, при этом можно принять, что вентиляция работает без градиента и, следовательно, $G_{\text{yx}}(t) = \text{const} = G_{\text{yx}}$:

$$W_{X_2}(p) = \frac{X(p)}{G_{\text{пар}}(p)} = \frac{k_3}{(T_X p + 1)},$$

где $G_{\text{пар}}(p)$ – изображение Лапласа для расхода пара, $k_3 = \frac{1}{G_{\text{yx}}}$.

Процесс инерционен и описывается типовым инерционным звеном.

Следует рассмотреть взаимосвязь между влажностью воздуха и его расходом от системы вентиляции. При этом можно принять, что парогенератор работает без градиента и, следовательно, $G_{\text{пар}}(t) = \text{const} = G_{\text{пар}}$.

Обозначим $G'(t) \frac{1}{G_{\text{yx}}(t)}$ и найдем передаточную функцию для связи

между влажностью воздуха и расходом свежего воздуха $G'(t)$:

$$W_{X_3}(p) = \frac{X(p)}{G'(p)} = \frac{k_4}{(T_X p + 1)},$$

где $G'(p)$ – изображение Лапласа для расхода свежего воздуха, $k_4 = G_{\text{пар}}$.

Тогда влажность внутреннего воздуха $X(t)$ может быть представлена параметром состояния динамической системы с тремя параметрами: управляющее воздействие $G_{\text{пар}}(t)$ и два возмущающих $X_{\text{атм}}(t)$ и $G'(p)$.

Управляющее воздействие, описанное передаточной функцией $W_{X_2}(p)$, направлено на компенсацию влажности воздуха вследствие работы возмущений, описанных передаточными функциями $W_{X_1}(p)$ и $W_{X_3}(p)$ в

результате работы системы вентиляции с производительностью $G_{\text{атм}}(t)$ и с влажностью свежего наружного воздуха $X_{\text{атм}}(t)$.

Проанализируем процесс обеспечения заданной концентрации пыли в воздухе ЧПП. Концентрация пыли будет зависеть от кратности воздухообмена и от взвешивания пыли в процессе производства. Эту связь можно задать следующим дифференциальным уравнением:

$$\rho V \frac{dDu(t)}{dt} = G_{\text{амм}}(t)Du_{\text{амм}}(t) - G_{\text{yx}}(t)Du_{\text{yx}}(t) + G_{\text{mc}}(t), \quad (2.11)$$

где $Du(t)$, $Du_{\text{атм}}$, $Du_{\text{yx}}(t)$ – абсолютное содержание пыли в воздухе ЧПП, в атмосфере и в уходящем воздухе, соответственно;

$G_{\text{тс}}(t)$, $G_{\text{атм}}(t)$, $G_{\text{yx}}(t)$ – выделение пыли твердыми средами внутри помещения, входящим и уходящим потоком воздуха, соответственно.

В прямоточной системе вентиляции можно принять за $G(t)$ значение расхода свежего воздуха $G_{\text{атм}}(t)$, равное расходу уходящего воздуха $G_{\text{yx}}(t)$, а концентрацию пыли в уходящем воздухе $Du_{\text{yx}}(t)$ за концентрацию $Du(t)$ в воздухе помещения. Запишем уравнение с учетом принятых допущений:

$$\rho V \frac{dDu(t)}{dt} = G(t)Du_{\text{амм}}(t) - G(t)Du(t) + G_{\text{тс}}(t).$$

Сосредоточим $Du(t)$ в левой части уравнения:

$$\rho V \frac{dDu(t)}{dt} + G(t)Du(t) = G(t)Du_{\text{амм}}(t) + G_{\text{тс}}(t).$$

Разделим обе части уравнения на $G(t)$:

$$\frac{\rho V}{G(t)} \frac{dDu(t)}{dt} + Du(t) = Du_{\text{амм}}(t) + \frac{G_{\text{тс}}(t)}{G(t)}.$$

Запишем уравнение в операторном виде, обозначив $T_{Du} = \frac{\rho V}{G(t)}$:

$$(T_{Du}p + 1)Du(p) = Du_{\text{амм}}(p) + \frac{G_{\text{тс}}(p)}{G(p)} + T_{Du}Du(0). \quad (2.12)$$

Получим выражение для $Du(p)$:

$$Du(p) = \frac{Du_{\text{амм}}(p) + \frac{G_{\text{тс}}(p)}{G(p)} + T_{Du}Du(0)}{(T_{Du}p + 1)}.$$

Полученное выражение описывает взаимосвязь концентрации пыли $Du(t)$ в воздухе помещения с содержанием ее в приточном воздухе $Du_{амм}(t)$ и с выделением $G_{mc}(t)$ твердыми средами производственного помещения.

Разберем эти факторы по отдельности. Влияние концентрации $Du_{амм}(t)$ в приточном воздухе выразим передаточной функцией:

$$W_{Du_1}(p) = \frac{Du(p)}{Du_{амм}(p)} = \frac{1}{(T_{Du}p + 1)},$$

где $Du(p)$, $Du_{амм}(t)$ – изображения Лапласа для концентрации пыли внутри технологического помещения и в приточном воздухе, соответственно.

Как видно из передаточной функции процесс инерционен.

Определим взаимосвязь между концентрацией пыли $Du(t)$ и задающим воздействием $G(t)$, приняв величину $\frac{1}{G(p)}$ за $G'(p)$.

Таким образом, запишем передаточную функцию по расходу воздуха:

$$W_{Du_2}(p) = \frac{Du(p)}{G'(p)} = \frac{k_5}{(T_{Du}p + 1)},$$

где $k_5 = G_{mc}(p) = const.$

Найдем передаточную функцию для изменения концентрации $Du(t)$ по изменению значения функции $G_{tc}(t)$:

$$W_{Du_3}(p) = \frac{Du(p)}{G_{mc}(p)} = \frac{k_6}{(T_{Du}p + 1)}, \text{ где } k_6 = \frac{1}{G(p)} = const.$$

Как видно, все передаточные функции $W_{Du_i}(p)$, ($i=1-3$) представлены типовым инерционным звеном, что позволяет в дальнейшем синтезировать имитационную математическую модель САУ микроклиматом ПП [75, 79].

Таким образом, поддержание параметров микроклимата ЧПП требует применения сложных алгоритмов автоматического управления по каждому параметру состояния. При осуществлении общепринятого раздельного регулирования параметров микроклимата (температуры, влажности, концентрации пыли) чистого помещения с использованием автономных

ПИД-регуляторов, не обеспечиваются удовлетворительные результаты, при условии нестационарности объекта управления. Поэтому для повышения качества управления КДС следует использовать адаптивный регулятор с интеллектуальным контуром управления, учитывающим взаимовлияние параметров состояния. Наиболее полно этим рекомендациям соответствуют методы управления, использующие комбинацию систем рекуррентного оценивания и нечеткого регулирования [80, 86].

2.3 Математическая модель процессов автоматического управления состоянием динамической системы на основе рекуррентного оценивания

Для разработки адаптивной математической модели процесса автоматического управления необходимо рассмотреть технологию рекуррентного оценивания. Назначение рекуррентного фильтра (РФ) состоит в получении уточняемых, непрерывно обновляемых оценок текущего состояния некоторой динамической системы по результатам временного ряда неточных измерений, связанных уравнением наблюдения с оцениваемыми параметрами.

Для каждого k -го такта работы фильтра необходимо определять матрицу эволюции процесса F_k ; матрицу наблюдений H_k ; ковариационную матрицу процесса Q_k ; ковариационную матрицу шума измерений R_k ; при наличии управляющих воздействий - матрицу их коэффициентов B_k . Модель системы предполагает, что ее состояние в момент k синтезируется из состояния в момент $k-1$ в соответствии с уравнением: $x_k = F_k x_{k-1} + B_k u_k + w_k$, где u_k - вектор управляющих воздействий; w_k - нормальный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей Q_k .

В момент k производится измерение z_k , которое связано с x_k уравнением наблюдения: $z_k = H_k x_k + v_k$, где v_k - белый гауссовский шум измерений с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей R_k .

Предлагается в задаче синтеза устойчивой адаптивной системы управления КДС реализовать комплексирование достоинств технологии РФ и преимуществ алгоритма формирования управляющего воздействия с использованием нечеткого регулирования в целях парирования расходимости РФ и сужения границ нечеткости при формализации априорной информации. Принцип работы РФ, который предлагается использовать в качестве прецизионного блока сравнения представлен на рисунке 28.

Процессы в РФ делятся на две фазы: экстраполяции и коррекции.

Этап экстраполяции – это предсказание вектора состояния системы по его оценке и примененному вектору управления с шага $(k-1)$ на шаг k : $\hat{x}_{k|k-1} = F_k \hat{x}_{k-1|k-1} + B_k u_{k-1}$. Ковариационная матрица для экстраполированного вектора состояния имеет вид: $P_{k|k-1} = F_k P_{k-1|k-1} F_k^T + Q_{k-1}$.

Этап коррекции – это учет отклонения полученного на k -м шаге наблюдения от значения, ожидаемого по произведенной экстраполяции: $\tilde{y}_k = z_k - H_k \hat{x}_{k|k-1}$. Ковариационная матрица для вектора отклонения (вектора ошибки) имеет вид: $S_k = H_k P_{k|k-1} H_k^T + R_k$.

Оптимальная матрица коэффициентов усиления, формирующаяся на основании ковариационных матриц экстраполяции вектора состояния и полученных измерений: $K_k = P_{k|k-1} H_k^T S_k^{-1}$.

Коррекция ранее полученной экстраполяции вектора состояния - получение оценки вектора состояния системы представлена в виде:

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k \tilde{y}_k.$$

Расчет ковариационной матрицы оценки вектора состояния системы описывается формулой: $P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1}$.

Выражение для ковариационной матрицы оценки вектора состояния системы справедливо только при использовании приведенного оптимального вектора коэффициентов. В общем случае это выражение имеет более сложный вид.

Представим процесс измерения температуры в КДС в

производственном технологическом цикле изготовления изделий микроэлектроники с помощью РФ. Исходное значение температуры находится в некотором начальном состоянии, но под действием возмущающих факторов на него оказывает влияние случайное искажение.

Значение температуры измеряется через каждые Δt секунд, но измерения неточны. Задача РФ – получить оценки значений температуры и скорости её изменения.

В данной задаче матрицы F , H , R и Q не зависят от времени, поэтому их индексы опущены. Кроме того, в предлагаемом режиме функционирования КДС с помощью РФ решается только задача оценивания рассогласования текущих значений климатических параметров и заданных, а управление устройствами, используемыми для нагрева или охлаждения воздуха осуществляется с помощью НР (рисунок 31), поэтому матрица управления B отсутствует.

Температура и скорость её изменения описывается следующим вектором в линейном пространстве состояний: $x_k = \begin{bmatrix} x \\ \dot{x} \end{bmatrix}$. Будем считать, что между $(k-1)$ -ым и k -ым тактами значение температуры изменяется с постоянным ускорением a_k , распределенным по нормальному закону с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением σ_a .

Тогда можно записать: $x_k = Fx_{k-1} + Ga_k$, $F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$, где $G = \begin{bmatrix} \frac{\Delta t^2}{2} \\ \Delta t \end{bmatrix}$.

Предположим, что погрешность измерений v_k имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и среднеквадратическим отклонением σ_z .

Тогда $z_k = Hx_k + v_k$, где $H = [1 \ 0]$, и ковариационная матрица шума наблюдений имеет вид $R = E[v_k v_k^T] = [\sigma_z^2]$.

Если температура и скорость её изменения известны неточно, то можно

задан матрицу дисперсий достаточно большим числом Q , чтобы оно превосходило дисперсию реальных измерений: $\hat{x}_{k|k} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$, $P_{0|0} = \begin{bmatrix} Q & 0 \\ 0 & Q \end{bmatrix}$.

В этом случае на первых тактах работы фильтр будет с большим весом использовать результаты измерений, чем имеющуюся априорную информацию. По определению ковариационной матрицы получаем выражение: $P_{k|k} = cov\left((I - K_k H_k)(x_k - \hat{x}_{k|k-1})\right) + cov(K_k v_k)$.

В соответствии со свойствами ковариации векторов данное выражение преобразуется к следующему виду: $P_{k|k} = (I - K_k H_k) P_{k|k-1} (I - K_k H_k)^T + K_k R_k K_k^T$.

Полученное выражение справедливо для произвольной матрицы коэффициентов.

При несоответствии модели состояния фильтра реально сглаживаемому процессу возникает угроза его расходимости.

Результаты рекуррентного оценивания климатических параметров приведены на рисунках 36, 38, 40 для случая соответствия модели состояния РФ отслеживаемому процессу, а на рисунках 37, 39, 41 – для случая когда оцениваемый процесс описывается более сложной моделью, чем уравнение состояния фильтра.



Рисунок 36 – Фильтр рекуррентных оценок (сходящийся процесс) влажности

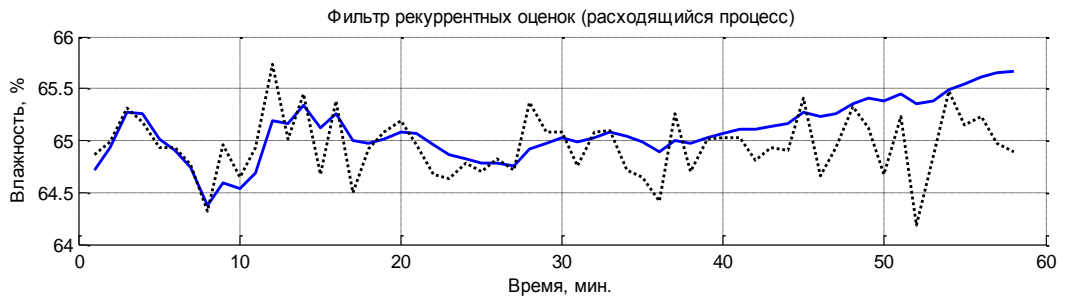


Рисунок 37 – Фильтр рекуррентных оценок (расходящийся процесс) влажности

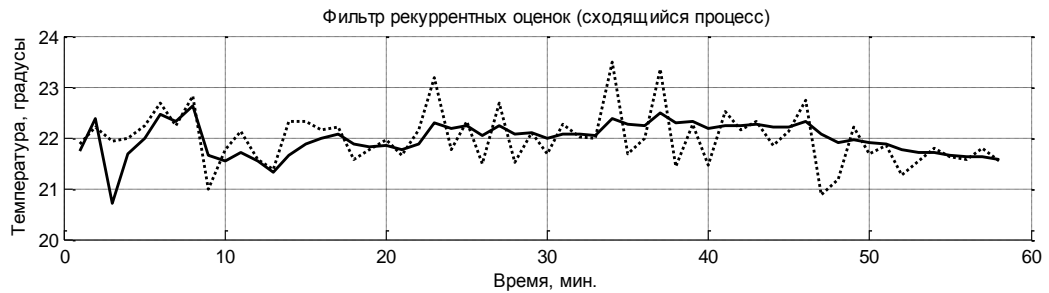


Рисунок 38 – Фильтр рекуррентных оценок (сходящийся процесс) температуры

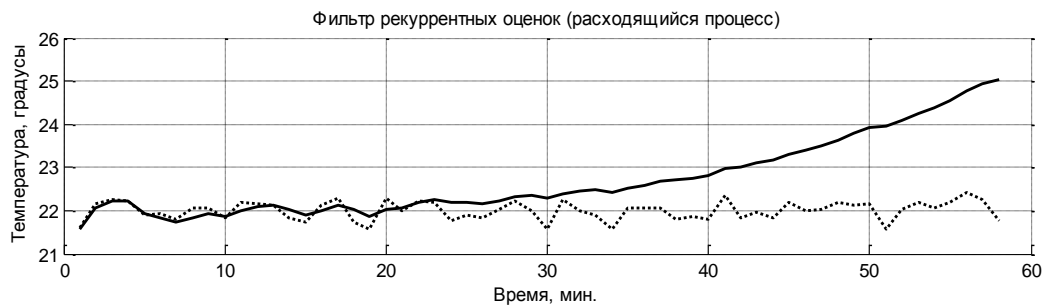


Рисунок 39 – Фильтр рекуррентных оценок (расходящийся процесс) температуры

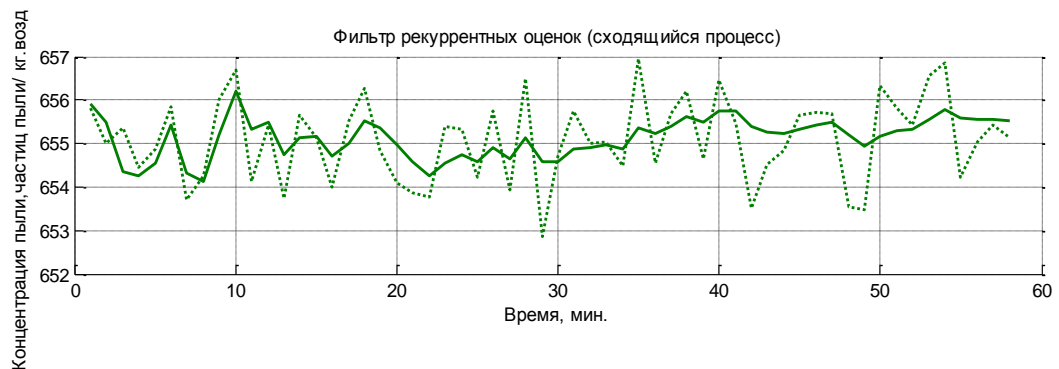


Рисунок 40 – Фильтр рекуррентных оценок (сходящийся процесс) концентрации пыли

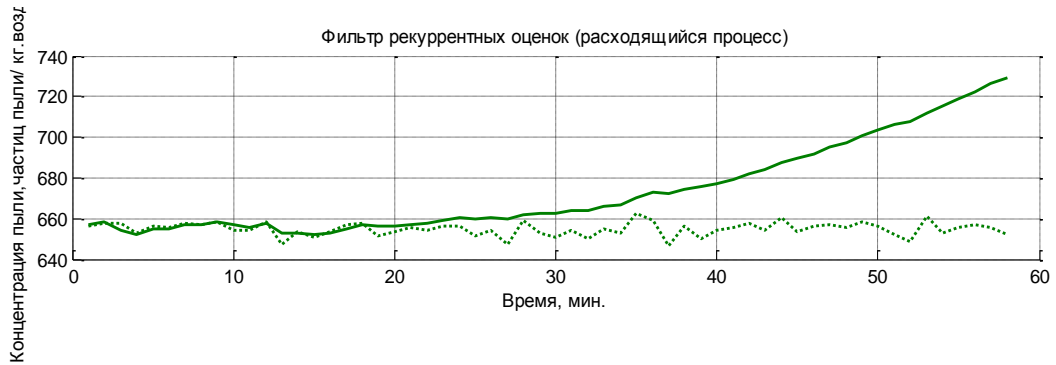


Рисунок 41 – Фильтр рекуррентных оценок (расходящийся процесс) концентрации пыли

Существующие подходы к парированию расходимости основаны на некоторой коррекции диагональных элементов матрицы $P_{k|k-1}$, на искажении диагонали ковариационной матрицы погрешностей измерений, на замораживании на некотором такте матрицы коэффициентов усиления РФ. Предложенные подходы рассчитаны на недопущение обнуления коэффициентов усиления РФ, иными словами, на сохранение некоторого остаточного значения полосы пропускания фильтра, что предотвратит игнорирование обновляющего процесса в ходе фильтрации. Однако указанные модификации эффективны при парировании расходимости применительно к задачам оценивания [80].

Куда сложнее оказывается проблема обеспечения устойчивости при решении задачи управления. В этих условиях модель состояния динамической системы должна содержать корректную интерпретацию функциональной связи не только между пространствами измерений и состояний, но и между пространством состояний и фазовым пространством параметров исполнительных устройств.

С целью упрощения отмеченных зависимостей, необходимо проанализировать подход, ориентированный на адаптивное нечеткое регулирование управляющих воздействий в нелинейных динамических системах. Для его реализации в контур САУ следует включить НР, парирующий неточность математического описания оцениваемого процесса

и реализующий процедуру формирования управляющего воздействия на основе механизма нечеткого регулирования.

При этом при использовании полиномиальной модели оцениваемого процесса выполняется анализ во времени дисперсий оцениваемых параметров, расположенных по диагонали соответствующей корреляционной матрицы ошибок оценивания [71].

При использовании механизма, ориентированного на формирование начальных значений функций принадлежности по методу экспертных оценок с полиномиальным усреднением и их последующей коррекции по мере поступления измерений с помощью эмпирических процедур, учитывающих прогнозные оценки РФ, определяется адаптивное значение робастного управляющего воздействия, удерживающего вектор состояния системы в заданных границах.

2.4 Автоматическое управление климатической динамической системой на основе рекуррентного мониторинга с нечеткой логикой

Отмеченные направления совершенствования РФ по пути наделения их свойством адаптивности могут быть реализованы на основе подхода к системам управления как к интеллектуальным САУ.

Основные свойства интеллектуальной САУ приведены на рисунке 42 [34, 57, 50, 93]. При этом перспективным направлением процесса управления ПП может выступать использование интеллектуальных систем управления, которые используют аппарат нечетких множеств, для отображения знаний и опыта человека о функционировании объекта.



Рисунок 42 – Принципы организации ИУС

Сформированная по указанному принципу база знаний (БЗ) состоит из лингвистических переменных зависимых от лексических категорий, которыми оперирует человек при осуществлении управляющих функций ПП. Также формируется таблица нечетких отношений, которая отображает в виде лексических категорий приобретенный человеком опыт.

Процессы перехода от числового значения оценки рассогласования к ее вербальному представлению (фаззификация), «обработки» комплекса лингвистических правил с учетом принятых предпочтений и допущений (через механизм функции принадлежности) и выполнении обратного преобразования взвешенного результата в числовую форму (дефаззификация) рассмотрены в [112-114, 118, 121-125].

Наиболее адекватной в процессе управления технологическими параметрами при производстве бортовой микроэлектроники является система, которая получила название – интеллектуальной в большом (рисунок 43).



Рисунок 43 – Организация системы интеллектуальной в большом

Минимальная интеллектуальная надстройка означает, что система может быть наделена элементарной БЗ, которая содержит простые производственные правила (первые интеллектуальные регуляторы имели именно такую структуру). Подобная интеллектуальная система называется «интеллектуальной в малом».

Ниже представлены варианты структуры САУ с нечетким регулятором.

Значительную часть времени на настройку программного обеспечения САУ занимает процесс конструирования базы производственных правил.

НР осуществляет управление по состоянию при построении базы производственных правил на основе лингвистических переменных, определяющих состояние объекта и в случае, когда цель управления в виде желаемого состояния объекта задается экспертом.

Конфигурация САУ с НР, реализующей управление по состоянию

изображена на рисунке 44.

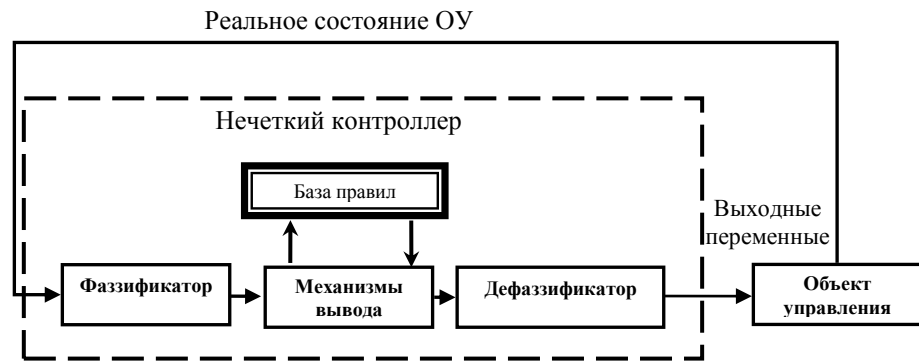


Рисунок 44 – САУ с НР и управлением по состоянию

При этом объект управления ПП состоит из механизмов, обеспечивающих усиление и преобразование сигналов, исполнительных устройств и датчиков измерения параметров состояний микроклимата.

В САУ, осуществляющих управление по отклонению, параметры, задаваемые в соответствии с [8-20], характеризуют текущее и требуемое состояния ЧПП. Они проходят процедуру фаззификации и вносятся в базу продукционных правил, которая имеет вид IF «status object» THEN «target exposure», для последующего нечеткого вывода и отображения в базе знаний. Процедура нечеткого вывода и дефаззификации оканчивается преобразованием лингвистических переменных в числовые величины (управляющих воздействия) поступающие в исполнительные устройства, которые поддерживают климатические параметры ПП.

НР осуществляет управление по отклонению, при построении базы продукционных правил на основе лингвистических переменных, определяющих состояние КДС ЧПП. В описываемом случае цель процесса управления в виде желаемого состояния КДС ЧПП может быть достигнута путем формирования управляющего воздействия.

Конфигурация САУ с НР, реализующей управление по отклонению, имеет вид как на рисунке 45.

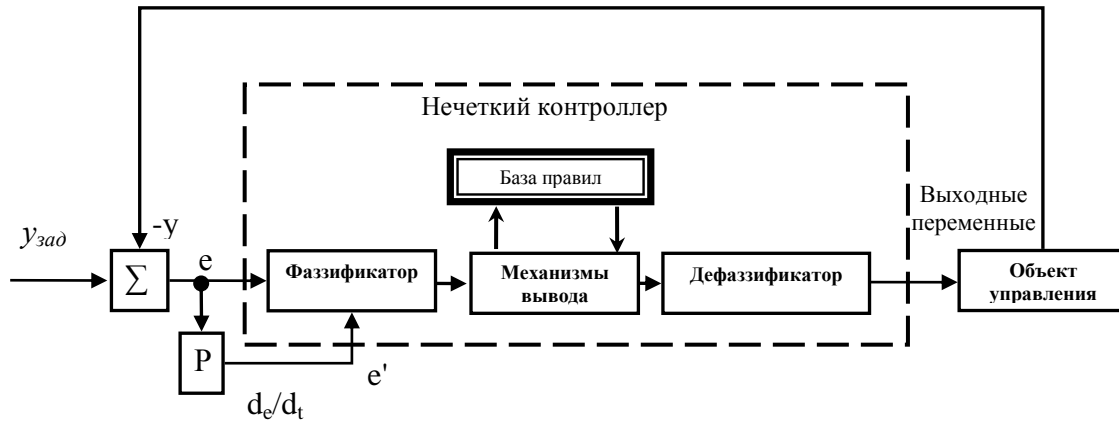


Рисунок 45 – САУ с нечетким управлением по отклонению

Нечеткое управление осуществляется по двум переменным: отклонению e и скорости изменения отклонения d_e/d_t желаемой выходной переменной $y_{зад}$ объекта управления от ее действительного значения y .

Нечеткий вывод представляет собой процесс получения заключений, в нечеткой форме, о величинах управляющих воздействий на исполнительные устройства КДС ЧПП, сформированных с помощью лингвистических переменных, в основе которых лежит информация о текущем состоянии микроклимата. При разработке и применении систем нечеткого вывода должны быть соблюдены определенные этапы, которые реализуются на основе положений нечеткой логики (рисунок 46) [33, 45].

База правил представляет собой формализованный в лингвистической форме опыт экспертов в виде нечетких продукционных правил. База правил содержит опыт экспертов о способах и алгоритмах управления КДС в условиях непрогнозируемых возмущений.

Конкретный способ реализации отдельного этапа нечеткого вывода определяет некоторый алгоритм действий. Критериями выбора определенного алгоритма реализации процедуры нечеткого вывода служат сформулированные технические задачи.

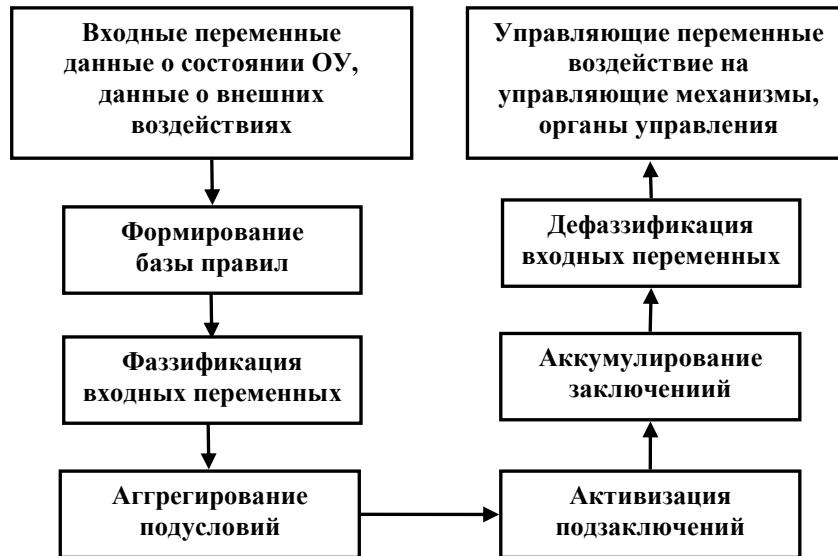


Рисунок 46 – Принцип формирования нечеткого вывода в САУ

Таким образом, динамика САУ с НР всецело определяется алгоритмом заполнения и содержания базы правил и методикой реализации процедуры нечеткого вывода (рисунок 47). Следовательно, осуществляя проектирование рассматриваемого типа САУ необходимо scrupulously реализовывать методику формирования базы продукционных правил.

Поскольку на сегодняшний день не существует конкретной методики комплексирования процедур нечеткого вывода с использованием базы правил, которая позволяла бы реализовать нечеткое управление в соответствии с заранее сформированными оценками качества управления ПП, вопрос выбора способа реализации алгоритма нечеткого вывода решается эмпирическим путем из ограниченного числа возможных реализаций. Аналитическое конструирование НР, реализующего нечеткое управление объектом «наилучшим» (в смысле какого-либо критерия) образом на данный момент остается открытым.

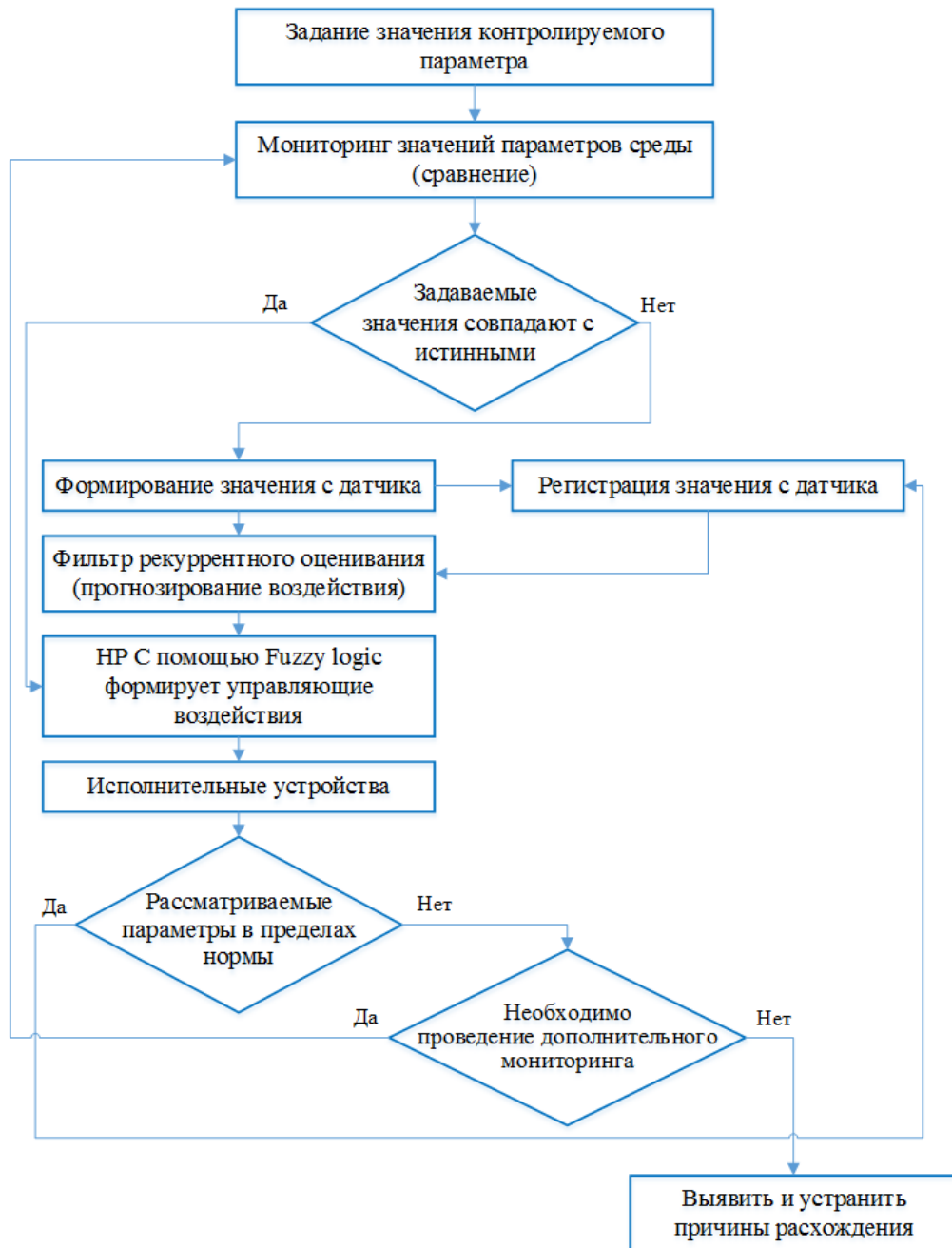


Рисунок 47 – Алгоритм функционирования САУ КДС

На рисунке 48 представлены полученные в процессе исследования графики процесса рекуррентного управления элементом вектора состояния при наличии возмущающих факторов, парирование которых в рамках традиционных САУ оказывается невозможным (красная и зеленая кривая не совпадают), а на рисунке 49 приведены аналогичные параметры, когда САУ на основе РФ дополнена нечетким регулятором.

Анализ представленных графиков указывает на возможность

формирования управляющих воздействий, обеспечивающих заданную устойчивость системы управления микроклиматом.

Необходимо отметить, что особую сложность представляет задача учета неоднородности оцениваемых параметров, формирования полей измеряемых параметров, адаптацию функций принадлежности к динамике климата, а также выбор размера скользящего окна анализируемых наблюдений при определении уровней доверия лингвистическим правилам.

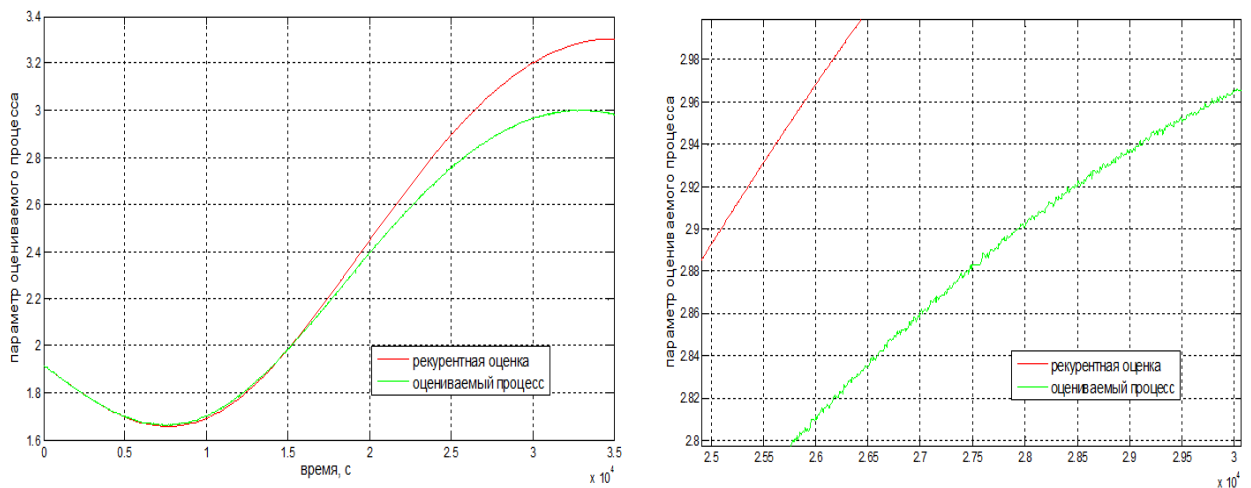


Рисунок 48 – Динамика оцениваемого параметра (красный цвет) и его рекуррентная оценка (зеленый цвет) при отсутствии нечеткого регулирования (на всем интервале наблюдения- слева, укрупненный фрагмент наблюдаемого процесса- справа)

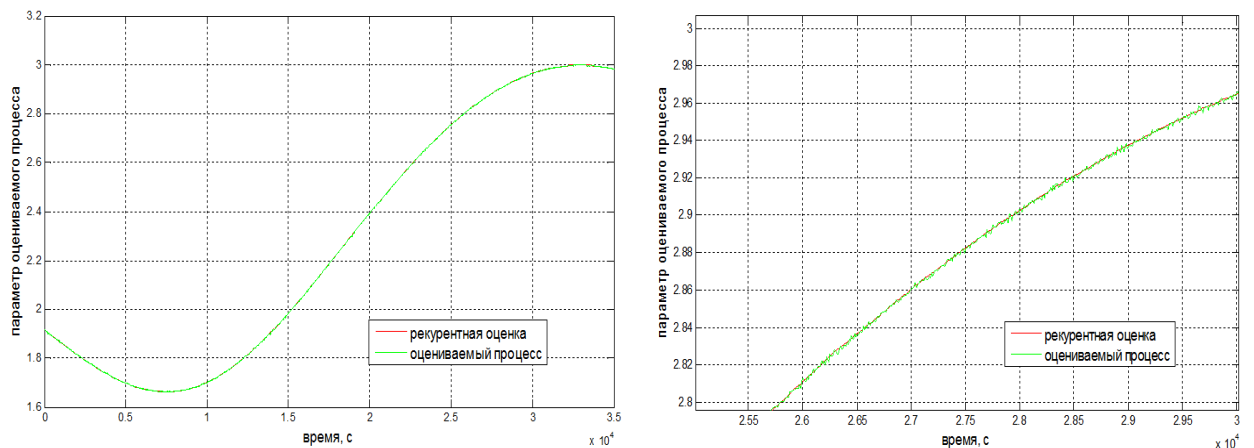


Рисунок 49 – Динамика оцениваемого параметра и его рекуррентная оценка при использовании процедуры нечеткого регулирования (на всем интервале наблюдения- слева, укрупненный фрагмент наблюдаемого процесса- справа)

Предложенное решение делает процесс управления КДС адаптивным, что дает возможность построения отказоустойчивых динамических систем

управления ПП при изготовлении микроэлектроники с гарантированным уровнем показателей риска.

2.5 Результаты и выводы по разделу 2

1. Представлены существующие подходы к реализации САУ как интеллектуальных систем. Управление температурой, влажностью и содержанием пыли в воздухе ЧПП с использованием классических регуляторов дает удовлетворительные результаты лишь в условиях стационарности. Отмечено, что в условиях априорной недостаточности информации о модели динамической системы качественное управление ее поведением с помощью отмеченных регуляторов не может быть результативным.

2. Разработана функциональная схема системы управления климатическими параметрами ПП в ЧПП с управляющими воздействиями и непрогнозируемыми возмущениями, которые представлены изменениями параметров внешней среды. Схема описана дифференциальными уравнениями и передаточными функциями относительно ПП автоматического управления КДС.

3. Разработана математическая модель климатических параметров ЧПП, состоящая из системы регулирования объектом и его динамическими свойствами описанными передаточными функциями. Отличительной особенностью математической модели выступает более полный учет параметров объекта управления с возникающими нестационарными возмущениями в условиях недостаточности априорной информации при протекании ПП.

4. Показано, что потенциальные САУ параметрами микроклимата в плохо структурируемом ПП целесообразно строить при внедрении технологий интеллектуального управления. Полученная математическая модель является более полной в сравнении с моделями, полученными ранее,

что делает возможным ее использование в различных вариациях САУ.

5. Предложено рассматривать систему управления КДС в ПП изготовления бортовой микроэлектроники как комплексную систему оценивания и регулирования. Необходимо применение сложных алгоритмов автономного управления по каждому параметру состояния. В целях повышения качества функционирования КДС следует использовать адаптивный регулятор с интеллектуальным контуром управления. Наиболее полно этим рекомендациям соответствуют методы управления, использующие комбинацию систем рекуррентного оценивания и нечеткого регулирования.

7. Предложенную комплексную систему управления микроклиматом предлагается рассматривать как интеллектуальную САУ, основными свойствами которой являются детальный мониторинг нахождения контролируемых параметров в заданных допусках и оперативное восстановление требуемых значений в случае выхода одного или нескольких параметров за пределы определенных граничных значений, а также принцип открытости к внешним дополнениям.

3 МЕТОДИКИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНОГО МОНИТОРИНГА С НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКОЙ

3.1 Методика формирования функций принадлежности и базы лингвистических правил при использовании экспертного оценивания и данных рекуррентного мониторинга

На основе выполненного анализа и проведенных исследований можно сформулировать следующие положения:

- использование традиционных регуляторов в САУ микроклиматом ЧПП не обеспечивает достаточного уровня робастности при возникновении возмущений и требует постоянного участия оператора;
- корректная математическая формализация задачи управления ПП в условиях нестационарных возмущений КДС в классической постановке недостижима;
- реализация моделей и методик в русле технологий интеллектуального (когнитивного) управления является перспективным направлением автоматизации ПП изготовления микроэлектроники для сложных радиоэлектронных комплексов бортовой авионики [71].

Для обеспечения требуемых значений климатических параметров при производстве микроэлектроники с помощью КДС предлагается выполнить декомпозицию традиционной технологии на два взаимосвязанных процесса – оценивания параметров состояния и управления ими.

Для решения задачи оценивания целесообразно использовать РФ, который следует построить в соответствии с моделью поведения системы, обеспечивающей прогнозирование, обнаружение и учет возмущающих факторов [80].

Это использовано в дальнейшем для адаптивной коррекции ФП при

формировании управляющих воздействий в условиях штатного функционирования и в ситуациях с возникновением неожиданных возмущений. Как показано в ходе статистического моделирования, предложенное решение позволило эффективно использовать ресурс КДС, исключая как потерю непрерывности и устойчивости управления, так и излишнюю волатильность оцениваемых параметров.

При управлении процессами изготовления микроэлектронных изделий на основе поступающих от РФ оценок в качестве математической модели целесообразно выбрать направление, базирующееся на нечеткой логике, обеспечивающей необходимую адекватность при формировании регулирующих воздействий и адаптивность к внешним возмущениям.

Действительно, аппарат нечеткой логики позволяет формализуемым образом описать сложные взаимосвязи, не требующие увеличения астатизма системы автоматического регулирования, неизбежно приводящего к росту длительности и собственно характера переходных процессов.

При этом удастся избежать дополнительных перекрестных проводных связей в смежных контурах регулирования состояния управляемой системы при сохранении адекватности управляющего воздействия на исполнительные устройства.

Механизм составления базы лингвистических правил делает возможным учет сколь угодно сложных ограничивающих факторов, однако при этом требуется особая скрупулезность и точность при формулировке последовательности исполнения операций.

Чем более обстоятельно и детально составлена база правил, тем менее размытым и более точным будет результат управления. Если исследователю действительно удастся всесторонне описать стратегию управления процессом, учитывая как накопленный опыт, так и возможность коррекции регулирующих процедур на основе изучения поступающих экспериментальных данных, то помимо желаемой устойчивости управления будет достигнута такая точность контроля за климатическими параметрами,

которой в условиях непрогнозируемых возмущений Заказчик готов пожертвовать.

При разработке подсистемы нечеткого управления были решены следующие задачи:

- переход от числового значения оценки рассогласования входных данных, к ее вербальному представлению в терминах нечеткой логики (фаззификация);
- формирование базы правил нечеткого регулятора на основе мнений экспертов, данных проводимого мониторинга и процедур определения управляющих воздействий, «обработка» комплекса лингвистических правил с учетом принятых предпочтений и допущений (через механизм функции принадлежности);
- обратное преобразование взвешенного результата в числовую форму (дефаззификация).

Решение указанных задач связано с необходимостью разработки соответствующих математических моделей, адекватных управлению климатическими процессами при производстве бортовой микроэлектроники.

При решении задачи фаззификации применительно к регулированию климатических параметров ПП необходимо:

- определение лингвистических переменных и состава их термов с целью определения текущего состояния объекта управления, его характеристик, необходимых управляющих воздействий с учетом внутренних и внешних возмущений и специфических особенностей ПП;
- определение ФП физических величин и термов, соответствующих лингвистических переменных, на основе мнений экспертов и выводов системы прогнозирования по данным обработки наблюдений РФ.

Для описания процесса обеспечения температурного режима КДС следует проанализировать процедуру формирования лингвистических переменных.

Введем переменную «Температура процесса» для оценки

температурного режима ПП и обозначим следующие положения:

- нижняя граница параметра внутренняя температура воздуха примем $-T_{\text{мин}}^{\circ\text{C}}$, эта температура означает «замораживание» ПП;
- верхняя граница параметра внутренняя температура воздуха примем $-T_{\text{макс}}^{\circ\text{C}}$, это значение соответствует предельно допустимой границе ПП.

Далее необходимо определить термы лингвистической переменной «Температура процесса».

Основываясь на опыте и мнениях экспертов диапазон температур $T_{\text{мин}}^{\circ\text{C}} \div T_{\text{макс}}^{\circ\text{C}}$ следует принять в виде интервалов ($\Delta T1$, $\Delta T2$, $\Delta T3$), которые оказывают существенное влияние на качество процесса управления микроклиматом ЧПП.

Каждому интервалу соответствует значение терма. В исследовании параметра «Температура процесса» целесообразно рассматривать пять термов (табл.20).

Таблица 20 – Термы лингвистической переменной «Температура процесса»

Диапазон температур, $^{\circ}\text{C}$	Характеристика терма	Обозначение терма
$<T_{\text{мин}}$	Температура пониженная	N
$\Delta T1$	Температура немного пониженная	SN
$\Delta T2$	Температура номинальная	Z
$\Delta T3$	Температура немного повышенная	SP
$>T_{\text{макс}}$	Температура повышенная	P

Обязательным моментом фаззификации является выбор или синтез ФП.

Необходимо установить соответствие между термами лингвистической переменной «Температура процесса» и физической величиной «Температура воздуха в ЧПП» $T(t)^{\circ\text{C}}$ [71].

Как правило, для упрощения математического описания термов лингвистических переменных применяются следующие ФП: треугольная, трапецеидальная, гауссова [49, 112-114, 118, 121-125]. Однако в случае с параметрами КДС ПП изготовления микроэлектроники необходимо учитывать свойство оперативной адаптации процессов к незначительным расхождениям между текущими значениями и заданными величинами, а

также степень допустимых отклонений без ущерба функциональности ПП.

В условиях ограниченных априорных данных эффективным для построения ФП является модифицированный метод Саати [49], который имеет достаточную точность реагирования исполнительных устройств на возмущения и прост в реализации. Воспользуемся этим методом для построения ФП.

Терм «SN» будет иметь ядро нечеткого множества, описанное ФП, равным $T_{c1}^{\circ C}$ (центр интервала температур ΔT_1), граничные значения нечеткого множества требуется совместить с ядрами нечетких множеств соседних термов. ФП к терму «SN» имеет правое и левое плечо.

Выделим на левом плече пять равноудалённых точек (T_{11} , T_{12} , T_{13} , T_{14} , T_{15}), включая ядро, и сравним попарно значение ядра ($T_{c1}^{\circ C}$) с выделенными точками (кроме значения ядра соседнего терма).

При сравнении используем шкалу оценок, которая на начальном этапе определяется с помощью метода экспертного оценивания, подробным образом изложенного в параграфе 1.5.

Заметим, что по мере накопления результатов наблюдений в процессе оценивания климатического параметра с помощью процедуры рекуррентной фильтрации в КДС экспертные оценки могут быть подкорректированы на основе обработки и анализа реальной измерительной информации.

Введем следующую шкалу парных оценок для определения степени предпочтения между соседними дискретами относительно ядер выбранных термов:

- 1 – отсутствует преимущество;
- 3 – слабое преимущество;
- 5 – существенное преимущество;
- 7 – явное преимущество;
- 10 – абсолютное преимущество;
- 2, 4, 6, 8 – промежуточные оценки.

На начальном этапе были получены следующие значения экспертных

оценок:

- преимущество «Т_{С1} °С» над «Т₁₅ °С» - 10;
- преимущество «Т_{С1} °С» над «Т₁₄ °С» - 6;
- преимущество «Т_{С1} °С» над «Т₁₃ °С» - 3;
- преимущество «Т_{С1} °С» над «Т₁₂ °С» - 2;
- преимущество «Т_{С1} °С» над «Т₁₁ °С» - 1.

Результаты сравнений представим в виде таблиц 21 (а, б) и матрицы (3.1), где a_{ij} – уровень преимущества элемента u_i над u_j ($i, j=1, n$) [71].

Таблица 21(а) – Характеристика степени предпочтений

°С	T ₁₅	T ₁₄	T ₁₃	T ₁₂	T ₁₁	T _{С1}
T ₁₅	1					
T ₁₄		1				
T ₁₃			1			
T ₁₂				1		
T ₁₁					1	
T _{С1}	10	6	3	2	1	1

Матрица обладает следующими свойствами: она диагональная, обратно симметричная и транзитивная.

Эти свойства позволяют определить все остальные элементы матрицы сравнений по формуле:

$$a_{ij} = \frac{a_{kj}}{a_{ki}}, \quad \text{где } i, k, j = \overline{1, n} \quad (3.1)$$

После вычисления всех элементов матрицы парных сравнений, найдём значения ФП по следующей формуле (3.2):

$$\mu(u_i) = \frac{1}{a_{1i} + a_{2i} + \dots + a_{ni}}, \quad (3.2)$$

где $n=6$;

u_i – i -й элемент парного сравнения (столбец);

a_{1i} – первое значение парного сравнения i -ого элемента;

a_{ni} – n -ое значение парного сравнения i -ого элемента.

Таблица 21(б) – Характеристика степени предпочтений

$^{\circ}\text{C}$	T_{15}	T_{14}	T_{13}	T_{12}	T_{11}	T_{C1}
T_{15}	1	6/10	3/10	2/10	1/10	1/10
T_{14}	10/6	1	3/6	2/6	1/6	1/6
T_{13}	10/3	6/3	1	2/3	1/3	1/3
T_{12}	10/2	6/2	3/2	1	1/2	1/2
T_{11}	10/1	6/1	3/1	2/1	1	1/1
T_{C1}	10	6	3	2	1	1

После нормирования расчётных значений путём деления их на наибольшее значение, получим таблицу 22.

Таблица 22 – Значения ФП для левого плеча терма «sn»

Температура в технологическом помещении, $^{\circ}\text{C}$	T_{15}	T_{14}	T_{13}	T_{12}	T_{11}	T_{C1}
Значение ФП для нормального нечеткого Множества	0,1	0,16	0,33	0,5	1	1

Напомним, полученные оценки могут быть скорректированы адаптивным образом, в зависимости от оценок высших производных, формируемых РФ при реализации мониторинга КДС и оценивания параметров ее состояния.

Для аппроксимации табличного описания можно использовать степенные полиномы.

В результате чего для ФП получено описание в следующем виде:

$$\begin{cases} T \leq T_{min}; \mu_{sn}(T) = 0; \\ T_{min} < T \leq T_{C1}; \mu_{sn}(T) = 1.1 + 5e^{-16}T - 1.7T^2 - 5.5e^{-16}T^3 + 1.1T^4 + 2.2e^{-16}T^5 - 0.23T^6 \\ T > T_{C1}; \mu_{sn}(T) = 0; \end{cases} \quad (3.3)$$

Описанный выше подход может быть использован для определения ФП температуры в ЧПП ко всем термам лингвистической переменной «Температура процесса» и ко всем лингвистическим переменным, описывающим состояние управляемого процесса.

Воспользовавшись таблицей 20 и сформированной ФП, описываем термы лингвистической переменной «Температура процесса». Полученные интервалы заносятся в таблицу 23, в которой описаны термы, ядро нечеткого множества рассматриваемого термина, интервал (носитель) нечетких множеств термов и их плечи.

Таблица 23 – Исходные данные для ФП термов лингвистической переменной «Температура процесса»

Терм	Ядро нечеткого множества термина	Носитель нечеткого множества	Левое плечо нечеткого множества	Правое плечо нечеткого множества
N	$19 \leq$	$(-\infty; 19)$	$(-\infty; 19)$	$(19; 20)$
SN	20	$(19; 21)$	$(19; 20)$	$(20; 21)$
Z	21	$(20; 22)$	$(20; 21)$	$(21; 22)$
SP	22	$(21; 23)$	$(21; 22)$	$(22; 23)$
P	≥ 23	$(22; +\infty)$	$(22; 23)$	$(23; +\infty)$

Полученный набор ФП к термам лингвистической переменной «Температура процесса» физической величины «Температура воздуха в ЧПП» представлен на рисунке 50.

В качестве следующего климатического параметра примем влажность в ЧПП. Описывая климатический параметр влажность внутреннего воздуха в ЧПП, необходимо ввести лингвистическую переменную «Влажность воздуха», которая характеризует относительную влажность воздушной среды в чистом помещении.

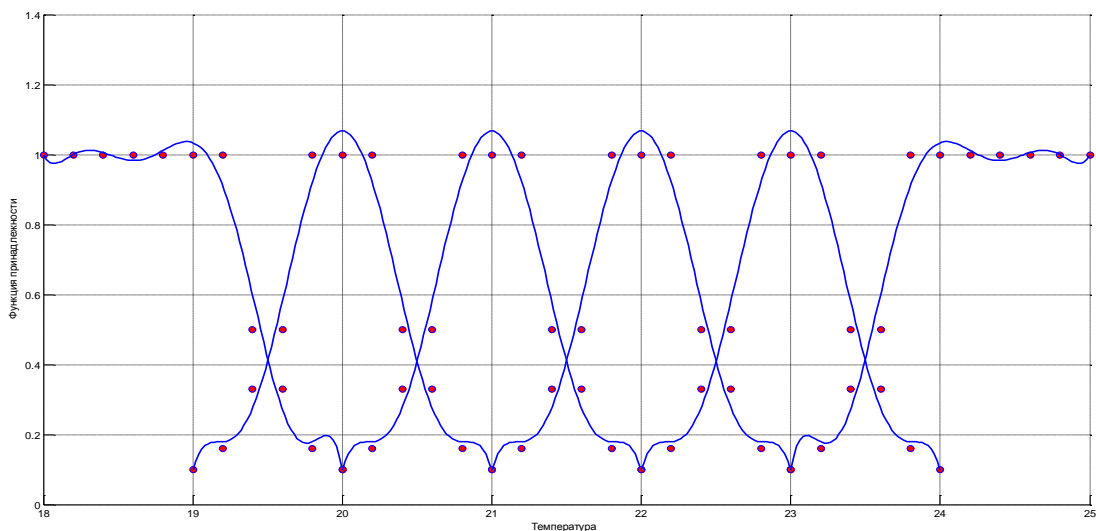


Рисунок 50 – ФП параметра «Температура воздуха в ЧПП» термам лингвистической переменной «Температура процесса»

Руководствуясь данными, полученными опытным путем, сформулируем для режима влажности следующие положения:

– нижняя допустимая граница параметра «Влажность воздуха» – 45%, указанная доля влажности определяется максимальной скоростью испарения влаги;

– верхняя допустимая граница параметра «Влажность воздуха» – 75%, указанная доля влажности характеризуется минимальной скоростью испарения влаги.

Учитывая мнения и опыт научно-технического персонала выбираем интервал параметра «Влажность воздуха» 45% ÷ 75%, затем разбиваем его на диапазоны, которые наиболее явно характеризуют качественные показатели ПП, каждый диапазон обозначим термом лингвистической переменной параметра «Влажность воздуха» (табл.24).

Выведем ФП физического показателя «Влажность воздуха в ЧПП» к термам лингвистической переменной «Влажность воздуха», воспользовавшись подходом, описанным при формировании ФП термов лингвистической переменной «Температура процесса», учитывающим опыт экспертов и возможность внесения коррекции по результатам мониторинга текущего состояния КДС в различных режимах функционирования.

Таблица 24 – Термы лингвистической переменной «Влажность воздуха»

Относительная влажность воздуха в ЧПП		
Диапазон, %	Характеристика терма	Универсальное обозначение
<45	Влажность воздуха пониженная	N
45-60	Влажность воздуха немного пониженная	SN
55÷65	Влажность воздуха номинальная	Z
60-75	Влажность воздуха немного повышенная	SP
≥75	Влажность воздуха повышенная	P

Для этого, на основании данных из таблицы 24, определим ядро, носитель термов, плечи ФП и занесем это в таблицу 25.

Таблица 25 – Исходные данные для ФП термов лингвистической переменной «Влажность воздуха»

Терм	Ядро терма	Носитель терма	Левое плечо ФП	Правое плечо ФП
N	<45	$(-\infty; 55)$	$(-\infty; 45)$	$(45; 60)$
SN	55	$(45; 60)$	$(45; 55)$	$(55; 60)$
Z	60	$(55; 65)$	$(55; 60)$	$(60; 65)$
SP	65	$(60; 75)$	$(60; 65)$	$(65; 75)$
P	≥ 75	$(65; +\infty)$	$(65; 75)$	$(75; +\infty)$

Для нахождения исходных ФП термов лингвистической переменной «Влажность воздуха» используем методику, разработанную и использованную для технологического режима «температура процесса».

В результате для значения ФП терма «sn» получены следующие две таблицы.

Таблица 26 – Значения ФП для левого плеча терма «sn»

Влажность в ЧПП	M_{17}	M_{16}	M_{15}	M_{14}	M_{13}	M_{12}	M_{11}	M_{C1}
ФП для нечеткого множества	0,1	0,16	0,23	0,31	0,5	0,6	0,9	1

Таблица 27 – Значения ФП для правого плеча терма «sn»

Влажность в ЧПП	M_{C1}	M_{11}	M_{21}	M_{31}	M_{41}	M_{51}
ФП для нечеткого множества	1	0,9	0,5	0,33	0,16	0,1

После аппроксимации всех исходных ФП степенными полиномами получим следующую систему уравнений, описывающую ФП термов лингвистической переменной «Влажность воздуха» (табл. 29)

Полученные ФП термов лингвистической переменной «Влажность воздуха» представлены на рисунке 51, 52.

Параметр микроклимата ЧПП «Концентрация пыли наружного воздуха» отражает насколько результативно система приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивает его соответствие заданным границам по требованиям, предъявляемым к ПП. Здесь следует обратить внимание на влияние процесса регулирования этого параметра на остальные элементы вектора состояния КДС.

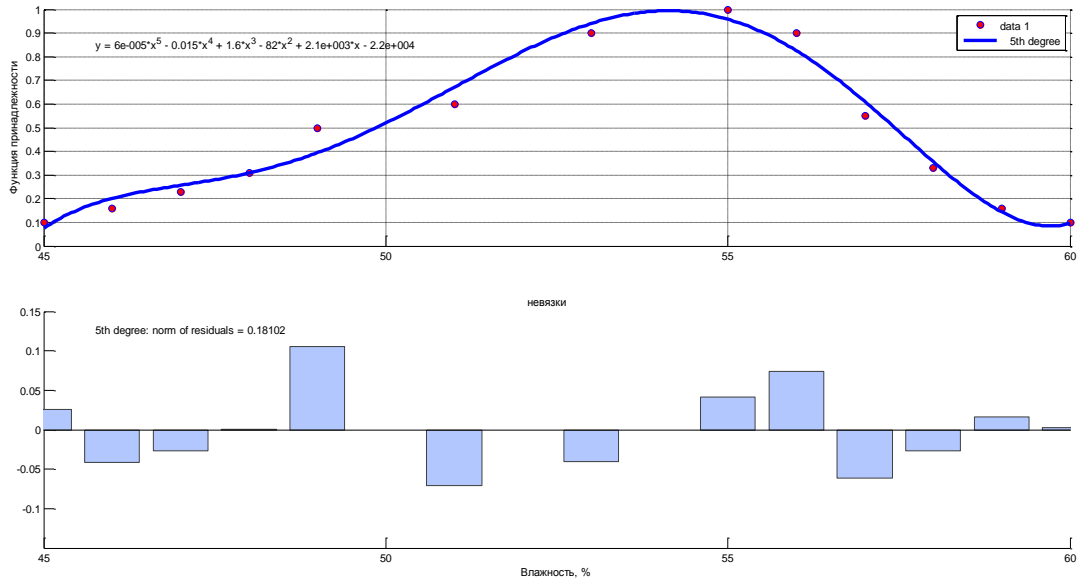


Рисунок 51 – ФП терма SN переменной «Влажность воздуха»

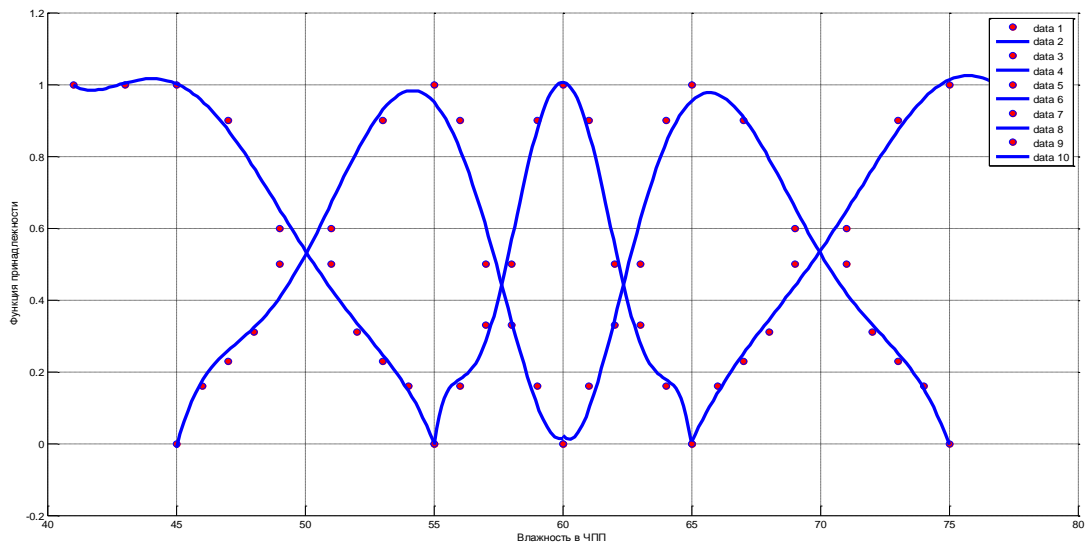


Рисунок 52 – ФП лингвистической переменной «Влажность воздуха»

Существенность рассматриваемого параметра напрямую зависит от коэффициента сезонности, то есть в зимнее время, когда температура наружного воздуха падает – важность не велика, в летнее же время года, с возрастанием температуры возрастают испарения и важность. Степень чистоты воздуха прямо связана с процентом выхода годных при производстве бортовой микроэлектроники. Для определения концентрации пыли наружного воздуха в системе нечеткого управления, введем лингвистическую переменную «Содержание пыли».

Таблица 28 – ФП термов лингвистической переменной «Влажность воздуха»

Терм	Описание функции принадлежности
N	$\begin{cases} M < 45; \mu_n(M) = 1; \\ 45 \leq M < 60; \mu_n(M) = 2.5e^3 - 100e^2M - 5.7M^2 + 0.47M^3 - 0.012M^4 - \\ - 1.4e^{-4}M^5 - 6.4e^{-7}M^6 \\ M > 60; \mu_n(M) = 0 \end{cases}$
SN	$\begin{cases} M < 55; \mu_{sn}(M) = 1; \\ 45 \leq M < 60; \mu_{sn}(M) = -9.3e - 007M^6 - 0.00036M^5 - 0.056M^4 - \\ - 4.5M^3 - 2e+002M^2 + 4.6e+003M - 4.4e+004 \\ M > 65; \mu_{sn}(M) = 0; \end{cases}$
Z	$\begin{cases} M < 65; \mu_z(M) = 0; \\ 55 \leq M < 65; \mu_z(M) = -0.00024M^6 + 0.085M^5 - 13M^4 + \\ + 1e+003M^3 - 4.6e+004M^2 + 1.1e+006M - 1.1e+007 \\ M > 75; \mu_z(M) = 0; \end{cases}$
SP	$\begin{cases} M < 75; \mu_{sp}(M) = 0; \\ 60 \leq M < 75; \mu_{sp}(M) = -9.3e - 007M^6 + 0.00031M^5 - 0.041M^4 + \\ + 2.6M^3 - 77M^2 + 6.1e+002M + 9.6e+003 \\ M > 80; \mu_{sp}(M) = 1 \end{cases}$
SP	$\begin{cases} M < 75; \mu_{sp}(M) = 0; \\ 65 \leq M < 80; \mu_{sp}(M) = -6.4e - 007M^6 + 0.00032M^5 - 0.065M^4 + \\ + 6.9M^3 - 4.1e+002M^2 + 1.3e+004M - 1.7e+005 \\ M > 80; \mu_{sp}(M) = 1 \end{cases}$

Выделим следующие значения концентрации пыли наружного воздуха, для частиц размером 0,1 мкм:

- номинальное значение концентрации <400 частиц/м³;
- допустимое значение концентрации пыли 400-600 частиц/м³;
- верхнее значение концентрации 600 частиц/м³.

Выбираем интервалы параметра «Концентрация пыли», которые наиболее явно характеризуют качественные показатели ПП.

Каждый диапазон обозначим термом лингвистической переменной

«Содержание пыли» (табл. 29). Опираясь на разработанную в 1.5 методику и подход, использованный при нахождении ФП термов лингвистической переменной «Температура процесса» и «Влажность процесса», определим ядра, носитель, плечи нечетких множеств и занесем их в таблицу 30.

Таблица 29 – Термы лингвистической переменной «Содержание пыли»

Содержание пыли в наружном воздухе		
Диапазон, частиц/м ³	Характеристика терма	Обозначение
<400	Наружное содержание пыли номинальное	Z
400-600	Наружное содержание пыли допустимое	Sp
>600	Наружное содержание пыли повышенное	P

Таблица 30 – Исходные данные для ФП термов лингвистической переменной «Содержание пыли»

Терм	Ядро	Носитель	Левое плечо	Правое плечо
Z	400	$(-\infty; 500)$	$(-\infty; 400)$	$(400; 500)$
SP	500	$(400; 600)$	$(400; 500)$	$(500; 600)$
P	600	$(500; +\infty)$	$(500; 600)$	$(600; +\infty)$

После аппроксимации всех исходных ФП получим следующую систему уравнений, представленную в таблице 31, описывающую функции принадлежности термов лингвистической переменной «Содержание пыли».

Полученные ФП термов лингвистической переменной «Содержание пыли» представлены на рисунке 53.

Следует обратить внимание на необходимость учета в процессе автоматического управления действия возмущающих факторов внешнего происхождения и имеющих непрогнозируемый (скачкообразный) характер, что практически невозможно предсказать, в том числе и с помощью рекуррентных систем слежения.

Поэтому далее учтем обстоятельство, связанное с влиянием окружающей среды на микроклимат в ЧПП.

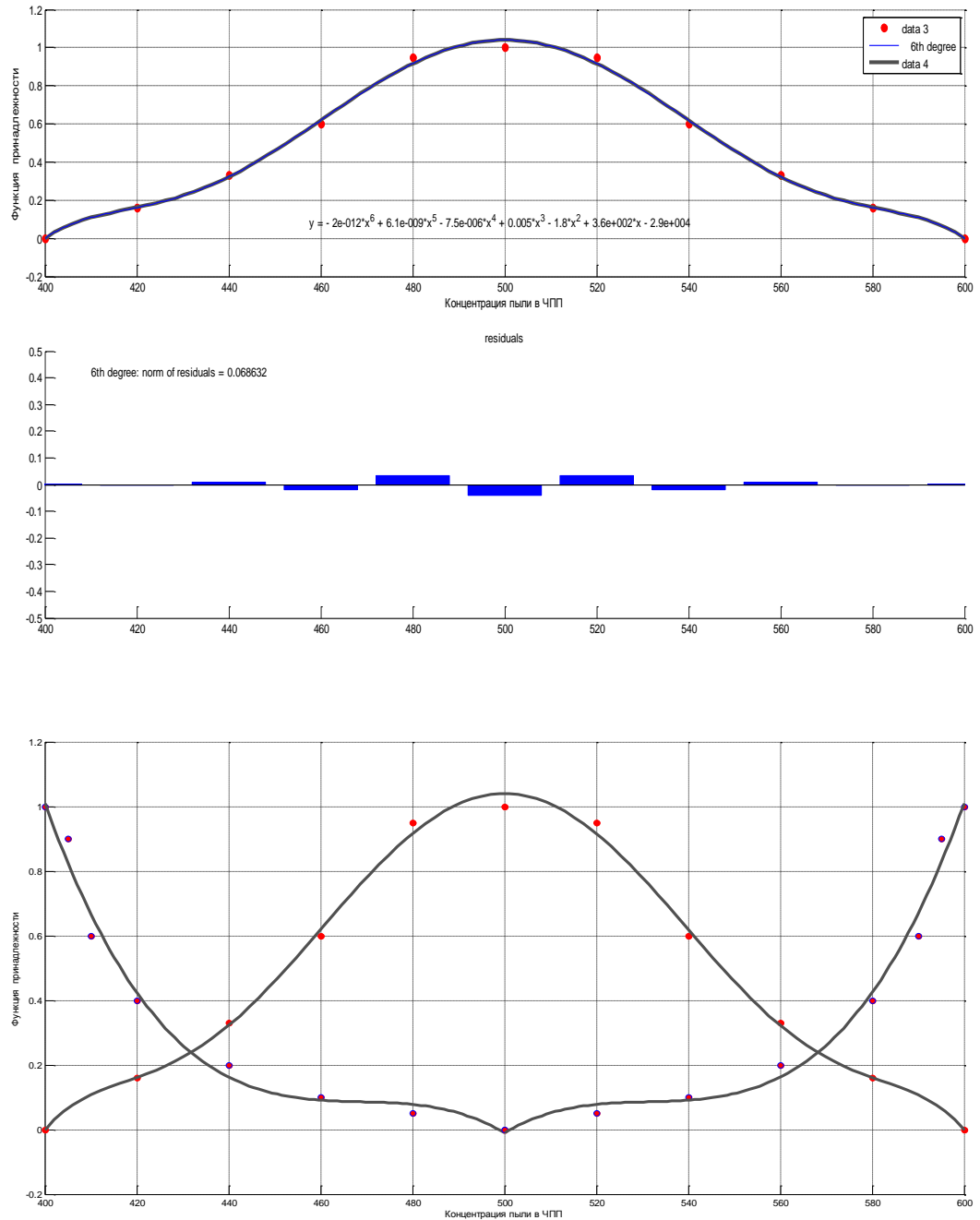


Рисунок 53 – ФП термов переменной «Содержание пыли»

В поступающем наружном воздухе выявлено определяющее воздействие его температуры и концентрации пыли.

Эти факторы могут быть рассмотрены в качестве наиболее важных возмущений, оказывающих влияние на параметры микроклимата ЧПП.

Действительно, расход энергоносителя калорифера и теплопотери через ограждающие конструкции ЧПП определяются температурой наружного воздуха.

Таблица 31 – ФП лингвистической переменной «Содержание пыли»

Терм	Описание функции принадлежности
N	$\begin{cases} Du < 400; \mu_z(Du) = 1; \\ -\infty \leq Du < 500; \mu_z(Du) = -8.4e-011Du^6 + 2.2e-007Du^5 - \\ -0.00025Du^4 + 0.15Du^3 - 50Du^2 + 8.9e+003Du - 6.6e+005 \\ Du > 500; \mu_z(Du) = 0; \end{cases}$
Z	$\begin{cases} Du < 500; \mu_z(Du) = 1; \\ 400 \leq Du < 600; \mu_z(Du) = -2e-012Du^6 + 6.1e-009Du^5 - \\ -7.5e-006Du^4 + 0.005Du^3 - 1.8Du^2 + 3.6e+002Du - 2.9e+004 \\ Du > 600; \mu_z(Du) = 0; \end{cases}$
P	$\begin{cases} Du < 500; \mu_p(Du) = 0; \\ 600 \leq Du < +\infty; \mu_p(Du) = -8.4e-011Du^6 + 2.8e-007Du^5 - \\ -0.00038Du^4 + 0.28Du^3 - 1.2e+002Du^2 + 2.6e+004Du - 2.4e+006 \\ Du > 0; \mu_p(Du) = 1; \end{cases}$

Для исследования наружной температуры в терминах нечетких множеств, необходимо ввести лингвистическую переменную «Наружная температура».

Основываясь на опыте научно-технического персонала выделим следующие границы параметра «Наружная температура» воздушной среды:

- нижняя граница параметра «Наружная температура» $< 0^\circ\text{C}$;
- верхняя граница параметра «Наружная температура» $> 30^\circ\text{C}$.

Диапазон наружной температуры $0^\circ\text{C} \div +30^\circ\text{C}$ принимаем в виде интервалов, каждому из которых соответствует терм лингвистической переменной «Наружная температура» (таблица 32).

Затем введем ФП возмущающего параметра «Наружная температура», применив подход, ранее использованный при определении ФП термов лингвистической переменной «Температура процесса».

Таблица 32 – Термы лингвистической переменной «Наружная температура»

Наружная температура воздуха		
Диапазон, °С	Характеристика терма	Обозначение
<0	Наружная температура заниженная	BN
0 -10	Наружная температура пониженная	N
10-25	Наружная температура номинальная	Z
25-30	Наружная температура повышенная	P
>30	Наружная температура завышенная	BP

Для этого, на основании данных из таблицы 32, определены ядра нечетких множеств, носители нечетких множеств, а также плечи нечетких множеств, представленные в таблице 33.

Таблица 33 – Исходные данные для ФП термов «Наружная температура»

Терм	Ядро	Носитель	Левое плечо	Правое плечо
BN	< 0	$(-\infty; 10)$	$(-\infty, 0)$	$(0; 10)$
N	10	$(0; 20)$	$(0; 10)$	$(10; 20)$
Z	20	$(10; 25)$	$(10; 20)$	$(20, 25)$
P	25	$(20, 30)$	$(20, 25)$	$(25, 30)$
BP	>30	$(25, +\infty)$	$(25, 30)$	$(30, +\infty)$

Для нахождения исходных ФП термов лингвистической переменной «Наружная температура» используем методику оценки парных сравнений, полученных для технологического режима «Температура процесса».

После аппроксимации всех исходных ФП полученный результат представим в таблице 34.

Графики ФП термов лингвистической переменной «Наружная температура» представлены на рисунке 54.

Перейдем к рассмотрению вопроса управления климатическими параметрами на основе изложенного материала по построению ФП контролируемых характеристик.

Таблица 34 – ФП лингвистической переменной «Наружная температура»

Терм	Описание функции принадлежности
BN	$\left\{ \begin{array}{l} T_{out} < 0; \mu_{bn}(T_{out}) = 1; \\ 0 \leq T_{out} < 10; \mu_{bn}(T_{out}) = 1.5e - 05T_{out}^6 - 0.00052T_{out}^5 + 0.0065T_{out}^4 \\ \quad - 0.036T_{out}^3 + 0.066T_{out}^2 - 0.034T_{out} + 1 \\ T_{out} > 10; \mu_{bn}(T_{out}) = 0; \end{array} \right.$
N	$\left\{ \begin{array}{l} T_{out} < 0; \mu_N(T_{out}) = 0; \\ 0 \leq T_{out} < 20; \mu_N(T_{out}) = -1.1e - 06T_{out}^6 + 6.2e - 05T_{out}^5 - 0.0013T_{out}^4 \\ \quad + 0.011T_{out}^3 - 0.048T_{out}^2 + 0.22T_{out} + 0.032 \\ T_{out} > 20; \mu_N(T_{out}) = 0; \end{array} \right.$
Z	$\left\{ \begin{array}{l} T_{out} < 10; \mu_Z(T_{out}) = 0; \\ 10 \leq T_{out} < 25; \mu_Z(T_{out}) = -2.1e - 06T_{out}^6 + 0.00021T_{out}^5 - 0.0086T_{out}^4 \\ \quad + 0.19T_{out}^3 - 2.2T_{out}^2 + 14T_{out} - 37 \\ T_{out} > 25; \mu_Z(T_{out}) = 0; \end{array} \right.$
P	$\left\{ \begin{array}{l} T_{out} < 20; \mu_P(T_{out}) = 0; \\ 20 \leq T_{out} < 30; \mu_P(T_{out}) = -0.00012T_{out}^6 + 0.018T_{out}^5 - 1.1T_{out}^4 \\ \quad + 37T_{out}^3 - 6.7e + 02T_{out}^2 + 6.6e + 03T_{out} - 2.7e + 04 \\ T_{out} > 30; \mu_P(T_{out}) = 0; \end{array} \right.$
BP	$\left\{ \begin{array}{l} T_{out} < 25; \mu_{BP}(T_{out}) = 0; \\ 25 \leq T_{out} < 30; \mu_{BP}(T_{out}) = -3.6e - 06T_{out}^6 + 0.00068T_{out}^5 - 0.054T_{out}^4 \\ \quad + 2.3T_{out}^3 - 54T_{out}^2 + 6.9e + 02T_{out} - 3.7e + 03 \\ T_{out} > 30; \mu_{BP}(T_{out}) = 1; \end{array} \right.$

В качестве второго возмущающего фактора будем рассматривать приток наружного воздуха. При этом лингвистическая переменная будет определена как «Наружное содержание пыли»

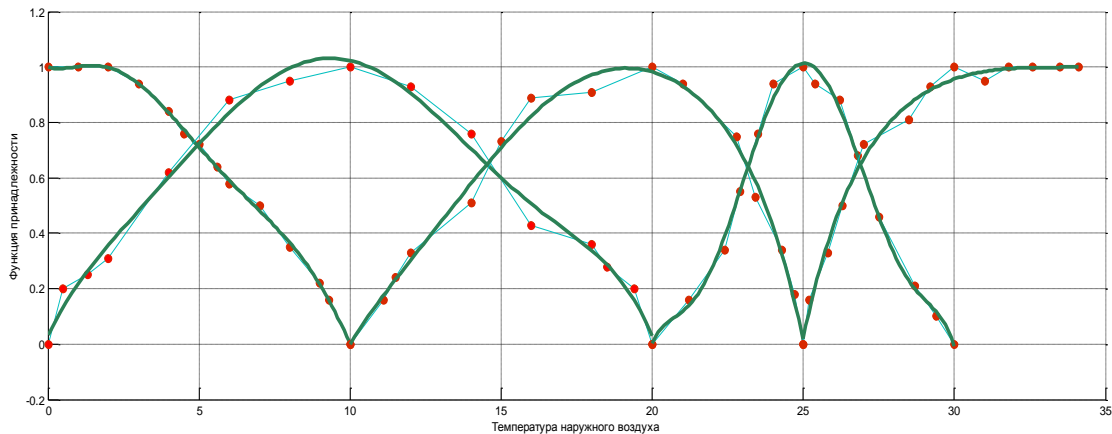


Рисунок 54 – ФП термов лингвистической переменной «Наружная температура»

Обозначим термы лингвистической переменной «Наружное содержание пыли» (табл.35).

Таблица 35 – Термы лингвистической переменной «Наружное содержание пыли»

Содержание пыли в наружном воздухе		
Диапазон, частиц/м ³	Характеристика терма	Обозначение
<850	Наружное содержание пыли допустимое	Z
750-950	Наружное содержание пыли повышенное	Sp
>950		P

Для этого, на основании данных из таблицы 35, определим ядра нечетких множества, носитель нечетких множеств, плечи нечетких множеств и занесем в таблицу 36.

Таблица 36 – Исходные данные для ФП термов лингвистической переменной «Наружное содержание пыли»

Терм	Ядро	Носитель	Левое плечо	Правое плечо
Z	700	$(-\infty; 850)$	$(-\infty; 700)$	$(700; 850)$
SP	850	$(750; 950)$	$(750; 850)$	$(850; 950)$
P	1000	$(850; +\infty)$	$(850; 1000)$	$(1000; +\infty)$

Воспользуемся методикой нахождения исходных ФП термов лингвистической переменной «температура» для параметра «Наружное содержание пыли».

Аппроксимировав все исходные ФП, получаем систему уравнений, отраженную в таблице 37, которая аналитически описывает ФП термов лингвистической переменной «Содержание пыли».

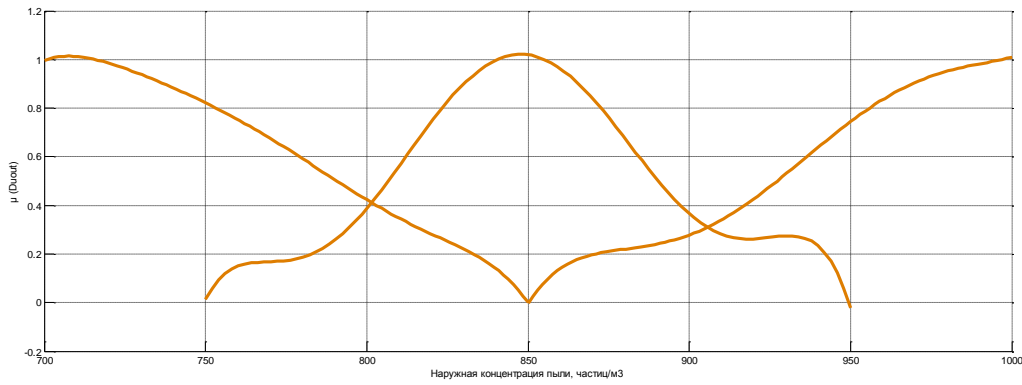


Рисунок 55 – ФП термов переменной «Наружное содержание пыли»

Таблица 37 – ФП переменной «Наружное содержание пыли»

Терм	Описание функции принадлежности
Z	$\begin{cases} Du < 700; \mu_z(Du) = 1; \\ 700 \leq Du < 850; \mu_z(Du) = -1.8e^{-12}Du^6 + 8.5e^{-9}Du^5 - \\ - 1.6e-05Du^4 + 0.017Du^3 - 9.7Du^2 + 3e^3Du - 3.8e^5 \\ Du > 850; \mu_z(Du) = 0; \end{cases}$
P	$\begin{cases} Du < 750; \mu_p(Du) = 0; \\ 750 \leq Du < 950; \mu_p(Du) = - 3.7e-12Du^6 + 1.9e-08Du^5 - \\ - 4e-05Du^4 + 0.045Du^3 - 28Du^2 + 9.5e+03Du - 1.3e+06 \\ Du > 950; \mu_p(Du) = 1; \end{cases}$
SP	$\begin{cases} Du < 850; \mu_p(Du) = 0; \\ 850 \leq Du < 1000; \mu_p(Du) = - 1.7e^{-13}Du^6 + 1.1e-09Du^5 - \\ - 3.1e-06Du^4 + 0.0044Du^3 - 3.4Du^2 + 1.4e+03Du - 2.4e^5 \\ Du > 1000; \mu_p(Du) = 1; \end{cases}$

Воспользуемся типовой структурой исполнительных элементов в составе КДС, для рассмотрения задачи фаззификации управляющих воздействий на параметры микроклимата технологического процесса.

Следует заметить, что типы исполнительных устройств, схема их размещения, мониторинга их параметров в значительной степени может влиять на качественные параметры САУ КДС. Однако это направление представляет собой предмет отдельных исследований и здесь не рассматривается.

Качественное регулирование параметров микроклимата в КДС осуществляется следующими способами:

- управление расходом теплоподдачи калорифера для удержания параметра температуры в заданных границах в ЧПП;
- управление расходом парогенератора для удержания параметра влажности в заданных границах в ЧПП;
- управление вентиляционной установкой для удержания параметра концентрации пыли в заданных границах в ЧПП.

Регулирующие воздействия формируются как управляющие воздействия, поступающие на исполнительные устройства.

С целью описания сигналов управления (управляющих воздействий) в терминах нечеткого регулирования обозначим следующие лингвистические переменные:

«Упр.Т» – лингвистическая переменная, отвечающая за работу калорифера и кондиционера,

«Упр.М» – лингвистическая переменная, отвечающая за работу парогенератора,

«Упр.В» – лингвистическая переменная, отвечающая за функционирование системы приточно-вытяжной вентиляции.

Целесообразно ввести три терма для каждой переменной, характеризующих сформированный управляющий сигнал, который имеет свое обозначение (таблица 38).

Проанализируем наиболее простой тип управления исполнительным устройством, когда осуществляется регулирование в интервале от 0 до 100 %.

Таблица 38 – Управляющие воздействия в каналах регулирования температуры, влажности и состава воздуха

Управляющие воздействия на исполнительные механизмы		
Диапазон воздействия, %	Терм лингвистической переменной	Обозначение термина
-100...0	Закрывать	Cl
-10...10	Стоп	St
0...100	Открывать	Op

Вопрос фаззификации управляющих воздействий, как в работах [41, 71, 90], так и в других трудах, осуществляется с использованием простейших трапециевидных или треугольных ФП, отвечающих за управляющие сигналы.

Опишем задачу фаззификации сигналов управления с помощью ФП, которые показаны на рисунке 56.

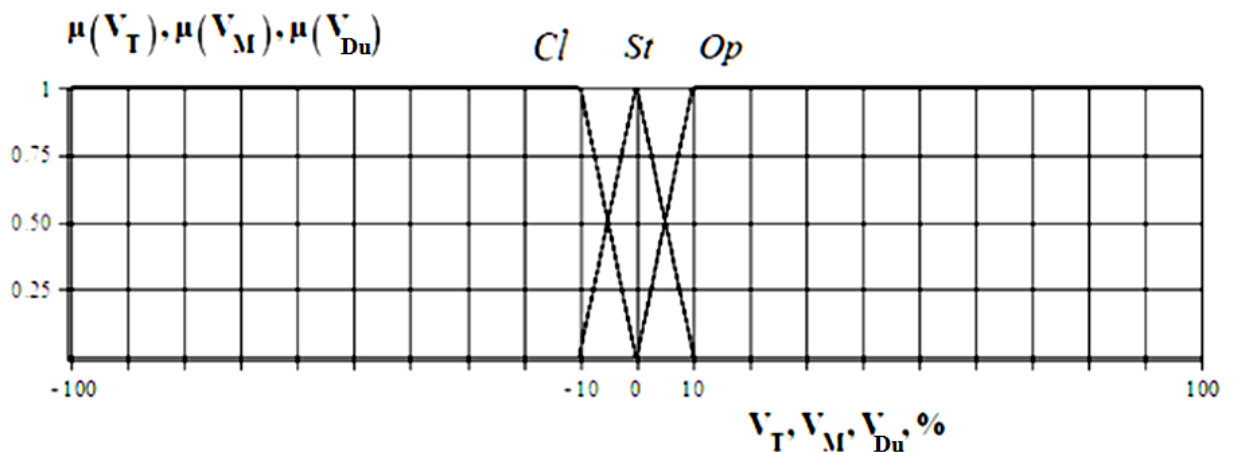


Рисунок 56 – Функции принадлежности термов лингвистических переменных «Упр.Т», «Упр.М», «Упр.Дu»

Принятые ФП представлены выражениями, записанными в таблицах 40, 41, 42.

Решение задачи фаззификации позволяет сформулировать лингвистические переменные и их термы, описывающие текущее состояние климатических параметров ПП, а также ФП, которые связывают термы лингвистических переменных и физические параметры процесса.

В таблице 42 представлены результаты описания текущего состояния КДС, а также процесса управления КДС в терминах нечеткой логики.

Таблица 39 – ФП лингвистической переменной «Упр.Т»

Терм	Описание функции принадлежности	Коэффициенты
Cl	$\begin{cases} V_t \leq -10; \mu_{cl}(V_t) = 1 \\ -10 < V_t < 0; \mu_{cl}(V_t) = \frac{c - V_t}{c - b} \\ V_t \geq 0; \mu_{cl}(V_t) = 0 \end{cases}$	$b = -10;$ $c = 0;$
St	$\begin{cases} V_t \leq -10; \mu_{st}(V_t) = 0 \\ -10 < V_t \leq 0; \mu_{st}(V_t) = \frac{V_t - a}{b - a} \\ 0 < V_t < 10; \mu_{st}(V_t) = \frac{c - V_t}{c - b} \\ V_t \geq 10; \mu_{st}(V_t) = 0 \end{cases}$	$a = -10;$ $b = 0;$ $c = 10;$
Op	$\begin{cases} V_t \leq 0; \mu_{op}(V_t) = 0 \\ -10 < V_t \leq 10; \mu_{op}(V_t) = \frac{V_t - a}{b - a} \\ V_t \geq 10; \mu_{op}(V_t) = 1 \end{cases}$	$a = 0;$ $b = 10;$

Таблица 40 – ФП лингвистической переменной «Упр.М»

Терм	Описание функции принадлежности	Коэффициенты
Cl	$\begin{cases} V_M \leq -10; \mu_{cl}(V_M) = 1 \\ -10 < V_M < 0; \mu_{cl}(V_M) = \frac{c - V_M}{c - b} \\ V_M \geq 0; \mu_{cl}(V_M) = 0 \end{cases}$	$b = -10;$ $c = 0;$
St	$\begin{cases} V_M \leq -10; \mu_{st}(V_M) = 0 \\ -10 < V_M \leq 0; \mu_{st}(V_M) = \frac{V_M - a}{b - a} \\ 0 < V_M < 10; \mu_{st}(V_M) = \frac{c - V_M}{c - b} \\ V_M \geq 10; \mu_{st}(V_M) = 0 \end{cases}$	$a = -10;$ $b = 0;$ $c = 10;$
Op	$\begin{cases} V_M \leq 0; \mu_{op}(V_M) = 0 \\ -10 < V_M \leq 10; \mu_{op}(V_M) = \frac{V_M - a}{b - a} \\ V_M \geq 10; \mu_{op}(V_M) = 1 \end{cases}$	$a = 0;$ $b = 10;$

Таблица 41 – ФП лингвистической переменной «Упр. Du»

Терм	Описание функции принадлежности	Коэффициенты
Cl	$\begin{cases} V_{Du} \leq -10; \mu_{cl}(V_{Du}) = 1 \\ -10 < V_{Du} < 0; \mu_{cl}(V_{Du}) = \frac{c - V_{Du}}{c - b} \\ V_{Du} \geq 0; \mu_{cl}(V_{Du}) = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} b = -10; \\ c = 0; \end{cases}$
St	$\begin{cases} V_{Du} \leq -10; \mu_{st}(V_{Du}) = 0 \\ -10 < V_{Du} \leq 0; \mu_{st}(V_{Du}) = \frac{V_{Du} - a}{b - a} \\ 0 < V_{Du} < 10; \mu_{st}(V_{Du}) = \frac{c - V_{Du}}{c - b} \\ V_{Du} \geq 10; \mu_{st}(V_{Du}) = 0 \end{cases}$	$\begin{cases} a = -10; \\ b = 0; \\ c = 10; \end{cases}$
Op	$\begin{cases} V_{Du} \leq 0; \mu_{op}(V_{Du}) = 0 \\ -10 < V_{Du} \leq 10; \mu_{op}(V_{Du}) = \frac{V_{Du} - a}{b - a} \\ V_{Du} \geq 10; \mu_{op}(V_{Du}) = 1 \end{cases}$	$\begin{cases} a = 0; \\ b = 10; \end{cases}$

Таблица 42 – Описание состояния КДС и управления им в терминах нечеткого управления

Физическая величина	Значение величины	Лингвистическая переменная	Термы лингвистической переменной	Характеристика терма
Температура воздуха в технологическом помещении, °C	$(-\infty; 19)$	Температура процесса	N	пониженная
	$(18; 20)$		Sn	немного пониженная
	$(19; 21)$		Z	номинальная
	$(20; 22)$		Sp	немного повышенная
	$(21; 23)$		P	повышенная
	$(22; +\infty)$		Bp	завышенная
Влажность воздуха в технологическом помещении, %	$(-\infty; 60)$	Влажность воздуха	N	пониженная
	$(50; 70)$		Sn	немного пониженная
	$(60; 75)$		Z	номинальная
	$(75; +\infty)$		Sp	немного повышенная
Концентрация пыли, частиц/м ³	$(-\infty; 400)$	Концентрация пыли	Z	номинальная
	$(400; 600)$		SP	немного повышенная
	$(600; +\infty)$		P	повышенная

Наружная концентрация пыли, частиц/м ³	(-∞;850)	Наружная концентрация пыли	Z	номинальная
	(750;950)		Sp	немного повышенная
	(1000; +∞)		P	повышенная
Наружная температура, °C	(-∞; 10)	Наружная температура	BN	заниженная
	(0; 20)		N	пониженная
	(10;25)		Z	номинальная
	(20;30)		SP	повышенная
	(30; +∞)		P	завышенная
Скорость откр./закр. исполнительных механизмов	-100...0	Упр.Т, Упр.М, Упр.Дu	Cl	закрывать
	-10...10		St	Стоп
	0...100		Op	открывать

Представленные данные дают комплексное представление о структуре исходной информации, используемой для описания в терминах нечеткой логики процесса управления КДС.

3.2 Алгоритмы моделирования процедур адаптивного нечеткого управления климатическими параметрами технологического процесса производства микроэлектроники

Процедура управления с использованием НР при реализации ПП невозможна без составления базы правил, которая основывается на мнениях экспертов, полученных опытным путем, и результатах мониторинга отслеживаемого процесса.

При ручном управлении КДС задача оператора заключается в выборе оптимальных значений параметров микроклимата ЧПП, с использованием разработанной базы правил и с учетом влияющих факторов для достижения заданного качества продукции с наименьшими затратами.

Сформулируем некоторые правила, описывающие методику выбора климатического режима путем управления калорифером с учетом охлаждения наружного воздуха:

1. Когда « T_{out} » пониженная, необходимо поддерживать повышенную «Т» в КДС.

2. Когда « T_{out} » заниженная, необходимо поддерживать повышенную «Т» в КДС.

3. Когда « T_{out} » номинальная, необходимо поддерживать номинальную «Т» в КДС.

Сформулированные правила описывают процесс выбора необходимых управляющих воздействий для 3-х периодов: температура меньше 0 °С – правило один, температура 0 -10 °С – правило два, температура 10-25 °С (тепло) – правило три.

Действуя по аналогии с правилами формирования стратегии выбора климатического режима путем управления исполнительным устройством, запишем правила для выбора режима влажности с учетом значений параметра температуры:

1. Когда « T_{out} » пониженная, необходимо поддерживать номинальную «Т» и номинальную «М» в КДС.

2. Когда « T_{out} » заниженная, необходимо поддерживать слегка повышенную «Т» и повышенную «М» в КДС.

3. Когда « T_{out} » номинальная, необходимо поддерживать номинальную «Т» и номинальную «М» в КДС.

Концентрация частиц пыли в воздухе ЧПП является не менее важным контролируемым параметром, который определяет качество ПП изготовления микроэлектроники.

Управление концентрацией пыли возможно при регулировании результативности работы системы вентиляции и кондиционирования воздуха, в этом случае база продукционных правил будет выглядеть следующим образом:

1. Когда « T_{out} » пониженная, необходимо поддерживать повышенную «Т» и номинальную «М» и номинальную величину « Du » в КДС.

2. Когда « T_{out} » заниженная, необходимо поддерживать завышенную

«Т» и номинальную «М» и номинальную величину «Du» в КДС.

3. Когда «T_{out}» номинальная, необходимо поддерживать номинальную «Т», слегка пониженное значение «М» и номинальную величину «Du» в КДС.

В процессе исследование предложено построение такой САУ, которая будет адекватно оценивать процесс, его изменения, скорость изменения, а также находить разности заданных значений и текущих величин, тем самым будет сформулировано управляющее воздействие, парирующее рассогласование, по алгоритму представленному на рисунке 57.

Выражения составляются с применением термов лингвистических переменных (табл.37), которые были введены для вербальной оценки входных значений и величины управляющих воздействий.

Для продукционного правила 3 запишем базу логических правил:

1. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «Т» = «Z», THEN «Упр.Т» = «St».
2. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «Т» = («SP» ИЛИ «P» ИЛИ «BP»), THEN «Упр.Т» = «Cl».
3. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «Т» = («N» ИЛИ «SN»), THEN «Упр.Т» = «Op».
4. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «М» = «Z», THEN «Упр.М» = «St».
5. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «М» = «SP», THEN «Упр.М» = «Cl».
6. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «М» = («N» ИЛИ «SN»), THEN «Упр.М» = «Op».
7. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z», THEN «Упр.Du» = «St».
8. IF «T_{out}» = «N» And «Du_{out}» = «Z» And «Du» = («P»), THEN «Упр.Du» = «Op».

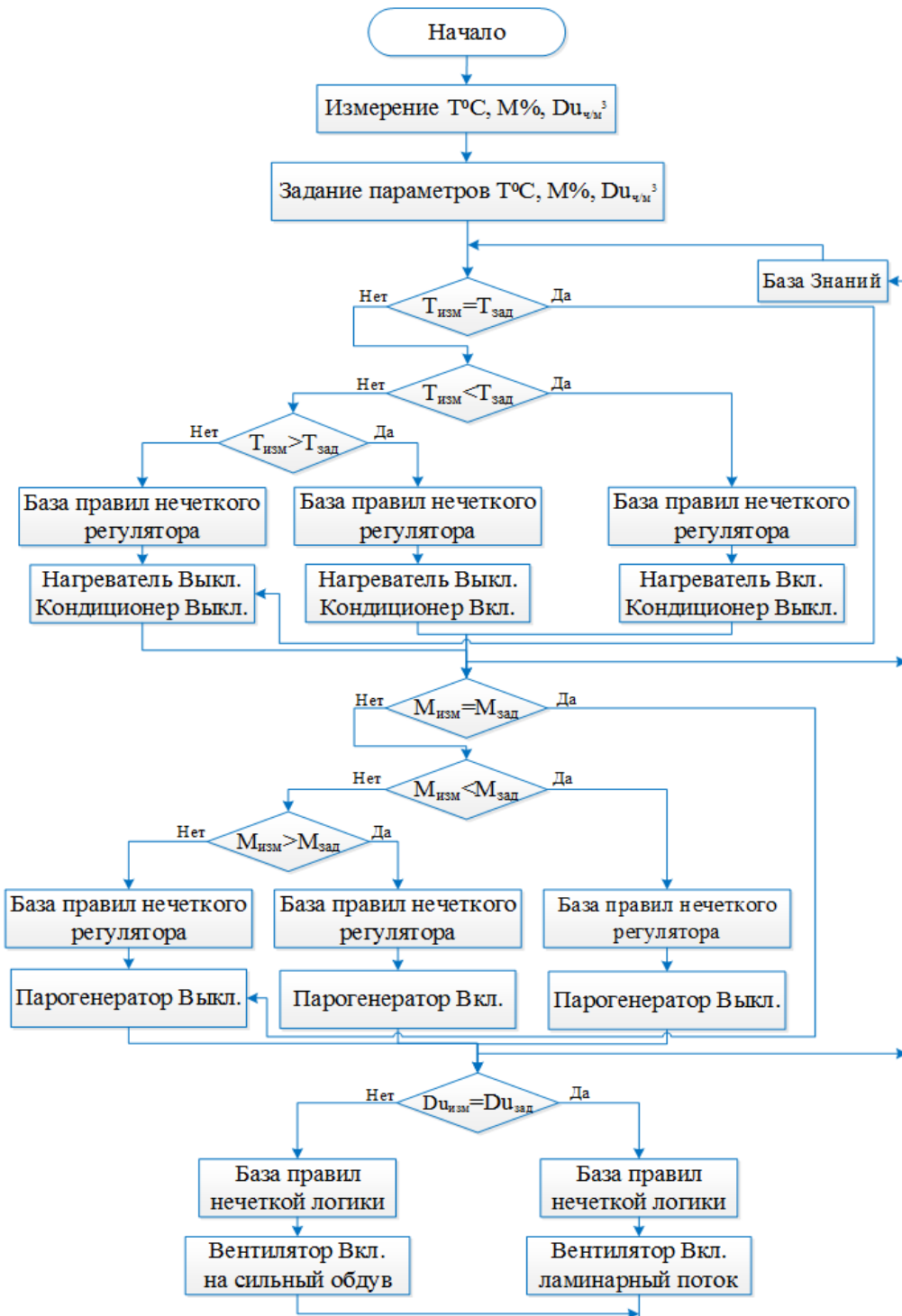


Рисунок 57 – Алгоритм процедуры нечеткого управления КДС

9. IF « T_{out} » = «N» And « Du_{out} » = «Z» And « Du » = («N» ИЛИ «Z»), THEN
«Упр. Du » = «Cl»,

где « T_{out} », « T », « M » и « Du », «Упр. T », «Упр. M », «Упр. Du » - лингвистические переменные процесса; «BN», «N», «SN», «Z», «SP», «P», «BP» - термы лингвистических переменных; «St» - воздействие «stop», «Op» - воздействие

«open», «Cl» - воздействие «close».

Пункты из базы правил 1, 4, 7 характеризуют устойчивые системы управления, режимы работы исполнительных устройств которых соответствуют заданным значениям.

При возникновении указанных условий система нечеткого регулирования формирует управляющее воздействие на исполнительные устройства в режим «stop».

Пункты базы правил 2, 3, 5, 6, 8, 9 соответствуют поведению КДС, при возникновении возмущений, нарушающих работу системы, и приводящих в действие исполнительные устройства.

По аналогии могут быть сформулированы остальные правила.

Задача нечеткого вывода представлена «обработкой» комплекса лингвистических правил с учетом принятых предпочтений и допущений через механизм формирования ФП и выполнении обратного преобразования взвешенного результата в числовую форму для максиминного вывода имеет вид, где V – лингвистическая переменная, характеризующая величину управляющего воздействия; u – само управляющее воздействие; A – лингвистическая переменная, характеризующая состояние процесса управления; y – состояние процесса управления; R – величина «текущее состояние – управляющее воздействие».

Составим правила нечеткого вывода для управления, основываясь на базе правил и выбранном методе, на основе приведенных ниже логических выражений:

$$\begin{aligned}\mu_{res}(V_t) &= \max \{ \min [\mu_i(T), \mu_x(T_{out}), \mu_y(Du_{out})] \} \\ \mu_b(V_M) &= \max \{ \min [\mu_j(M), \mu_x(T_{out}), \mu_y(Du_{out})] \} , \\ \mu_b(V_{Du}) &= \max \{ \min [\mu_k(Du), \mu_x(T_{out}), \mu_y(Du_{out})] \}\end{aligned}$$

где μ_{res} – результирующая ФП переменной управляющего воздействия;

V_T, V_M, V_{Du} – управляющие воздействия в канале управления температурой, влажностью и концентрацией пыли;

$T, M, Du, T_{out}, Du_{out}$ – значение температуры, влажности, содержания

пыли, наружной температуры и наружной концентрации пыли;

i, j, k – термы лингвистических переменных, описывающих состояние температуры, влажности и концентрации пыли;

x, y – термы лингвистических переменных, характеризующих температуру окружающей среды и наружную концентрацию пыли.

Полный список термов и ФП, описывающих состояние параметров ПП сведен в таблице 43.

В процессе нечеткого вывода НР определяет значение ФП управляющих воздействий по каналу управления температурой, влажностью и содержанием пыли в терминах нечеткого управления.

Для определения физической величины управляющих воздействий необходимо выполнить дефазификацию для логических значений управляющих воздействий.

Таблица 43 – Термы и ФП входных лингвистических переменных

Переменные внутренних состояний процесса					
Термы переменной T, i	$\mu_i(T)$	Термы переменной M, j	$\mu_j(M)$	Термы переменной Du, k	$\mu_k(Du)$
N	$\mu_n(T)$	N	$\mu_n(M)$	Z	$\mu_z(Du)$
SN	$\mu_{sn}(T)$	SN	$\mu_{sn}(M)$	SP	$\mu_{sp}(Du)$
Z	$\mu_z(T)$	Z	$\mu_z(M)$	P	$\mu_p(Du)$
SP	$\mu_{sp}(T)$	SP	$\mu_{sp}(M)$		
P	$\mu_p(T)$	P	$\mu_p(M)$		
Переменные внешних состояний процесса					
Термы переменной T_{out}, x	$\mu_x(T_{out})$	Термы переменной Du_{out}, y	$\mu_y(Du_{out})$		
Bn	$\mu_{bn}(T_{out})$	Z	$\mu_z(Du_{out})$		
N	$\mu_n(T_{out})$	SP	$\mu_{sp}(Du_{out})$		
Z	$\mu_z(T_{out})$	P	$\mu_p(Du_{out})$		
P	$\mu_p(T_{out})$				
Bp	$\mu_{bp}(T_{out})$				

В процессе нечеткого вывода синтезируемый регулятор определяет значение ФП параметров КДС (T, M, Du) в виде терминов нечеткого регулирования. Логические значения управляющих воздействий необходимо привести к числовому виду путем осуществления процедуры

дефаззификации.

Воспользуемся методом центра тяжести (CG), поскольку он наиболее чувствителен к изменениям входной информации. В этом случае числовое значение управляющего воздействия может быть определено с применением отношений $V_i = \frac{\int u_i \mu_{ij}(u) du}{\int \mu_{ij}(u) du}$, в котором V_i – числовой показатель управляющего сигнала в канале i ; m – числа продукционных правил БЗ; u – величина управления в пределах $u \in \underline{u}$; \tilde{u} – результат аккумуляции ФП термов лингвистической переменной управления.

Сформулированные НР сигналы управляющих воздействий в числовой форме V_T , V_M , V_{Du} направляются к исполнительным механизмам и обеспечивают заданные значения параметров микроклимата ПП в ЧПП.

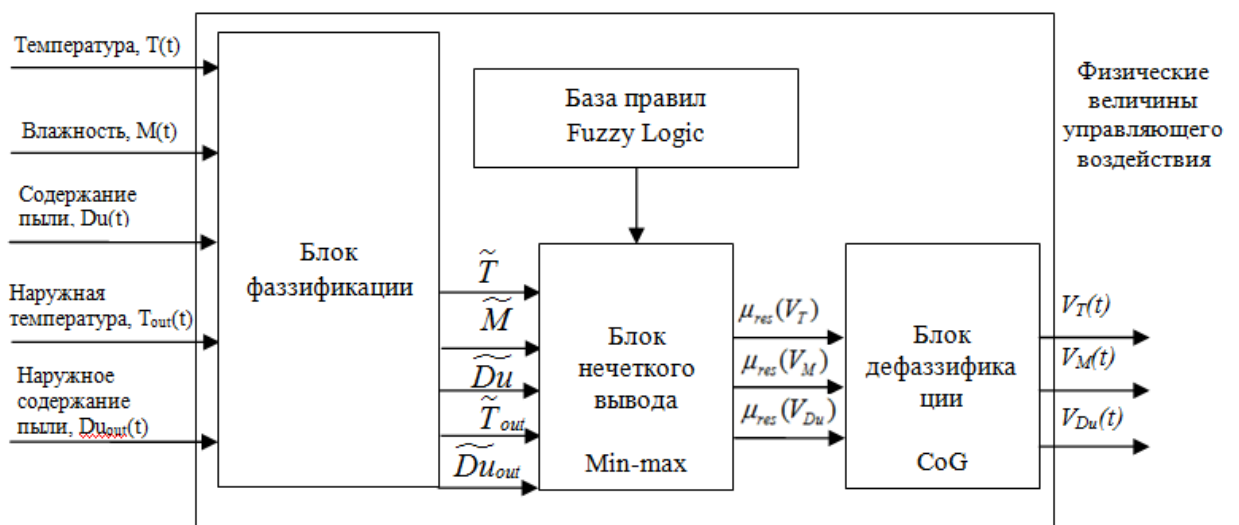


Рисунок 58 – Структура НР

Таким образом, на вход НР поступают текущие значения климатических параметров ПП ($T(t)$, $M(t)$ и $Du(t)$) в числовой форме и параметры изменений наружного воздуха или наружных возмущений ($T_{out}(t)$ и $Du_{out}(t)$), которые в блоке фаззификации приводятся в соответствии с нечеткой моделью управления в вид лингвистических переменных.

Иными словами осуществляется переход от числового значения оценки рассогласования к ее вербальному представлению (фаззификация), затем в

блоке НР с использованием максиминного алгоритма определяются результирующие ФП для каждого канала управления $\mu_{res}(T)$, $\mu_{res}(M)$, $\mu_{res}(Du)$, которые на заключительном этапе поступают в блок дефазификации, где выполняется обратное преобразование взвешенного результата в числовую форму (V_T , V_M , V_{Du}).

Использование описанного механизма позволяет достичь более высоких качественных показателей функционирования КДС в условиях возникновения непрогнозируемых возмущений. Поскольку адаптация САУ с нечетким регулятором требует меньших временных ресурсов, но более детального лингвистического описания правил принятия решения и поведения исполнительных устройств.

3.3 Система нечеткого управления климатическими параметрами в технологическом процессе производства микроэлектроники

Анализ результативности предложенных решений и определение условий их наиболее эффективного применения выполнены с использованием интерактивной среды для программирования, расчетов и визуализации Matlab компании «MathworksInc.». Для выполнения в рамках исследования имитационного моделирования были использованы пакеты расширения Simulink и FuzzyLogicToolbox [112-114, 118, 121-125].

Рассматривалась САУ параметрами микроклимата КДС, включающая предложенный НР. Схема (рисунок 28) и алгоритм действий определены в разделе I диссертационного исследования.

НР представлен блоком FuzzyClimateControl, имеющим 5 входов, соответствующих параметрам микроклимата в ЧПП (T , M , Du , T_{out} , Du_{out}). Выходными данными модели НР будут служить переменные в нечеткой логической форме:

- «HeatValve» – сигнал управления контуром отопления;
- «VaporValve» – сигнал управления контуром увлажнения;
- «AirValve» – сигнал управления системой вентиляции и кондиционирования воздуха.

Лингвистические переменные характеризуются ФП числовых значений к термам лингвистических переменных.

Расширенная схема НР приведена на рисунке 59. Программная реализация нечеткого регулятора в среде компьютерного моделирования Matlab представлена в Приложении Г.

Для выполнения фаззификации числовых значений входных данных в пакете FuzzyLogicToolbox была разработана соответствующая процедура.

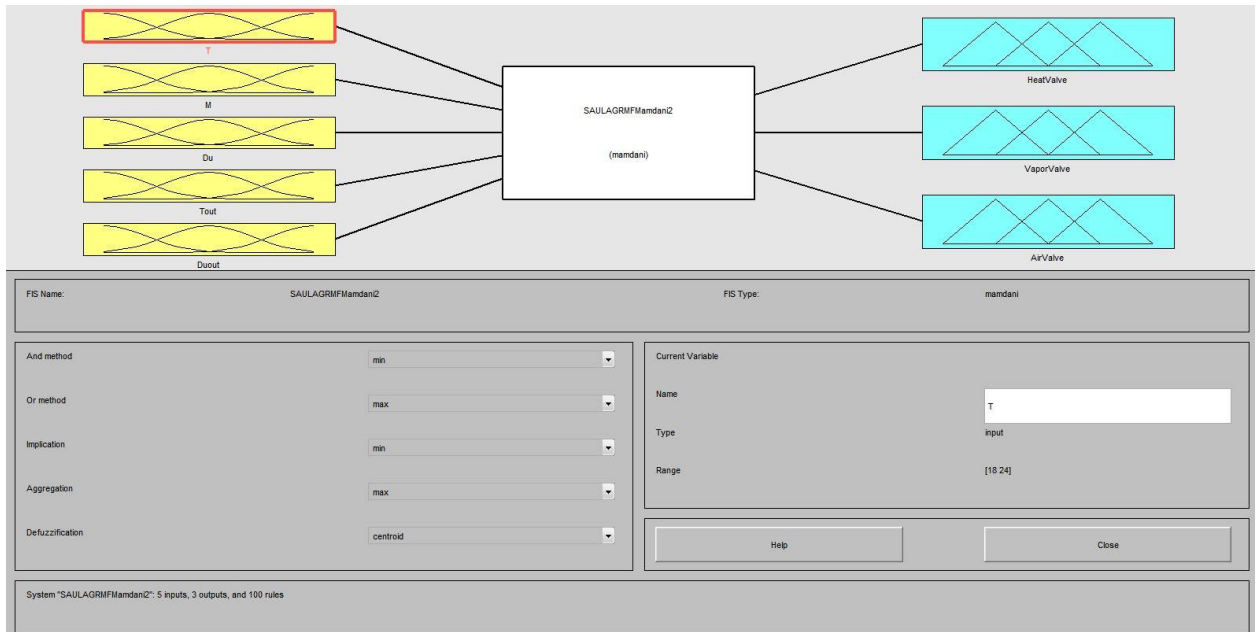


Рисунок 59 – Модель НР в пакете FuzzyLogicToolbox

Разработанный модуль при использовании полиномиальной аппроксимации позволяет выполнить фаззификацию входной лингвистической переменной «Т», для чего необходимо определить три параметра для каждой ФП:

- левое (наименьшее) крайнее значение нечеткого множества;
- ядро (центр) нечеткого множества;
- правое (наибольшее) крайнее значение нечеткого множества.

Например, в качестве параметров ФП терма «sn» входной лингвистической переменной «Т», описанного нечетким множеством с носителем в пределах 18-20 °С, и ядром в точке 19 °С следует записать следующие значения: 18, 19, 20.

Согласно результатам фаззификации входных параметров технологического процесса присвоим термам лингвистических переменных custom – ФП polyfit с параметрами, представленными в таблице 44.

В ходе исследований выбор интервалов, степени предпочтения соседних элементов и т.п. характеристики определялись на основе анализа накопленного опыта в сфере управления ПП изготовления электронных компонентов.

Таблица 44 – Параметры ФП термов входных параметров «Т, М, Du»

«Т» - температура процесса				
Терм	Тип ФП	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
N	Аппроксимация	-	18	19
Sn	Аппроксимация	18	19	20
Z	Аппроксимация	19	20	21
Sp	Аппроксимация	20	21	22
P	Аппроксимация	21	22	23
Bp	Аппроксимация	22	23	-
«М» - влажность процесса				
Терм	Тип ФП	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
N	Аппроксимация	-	50	60
Sn	Аппроксимация	50	60	70
Z	Аппроксимация	60	70	80
Sp	Аппроксимация	70	80	-
«Du» - концентрация пыли процесса				
Терм	Тип ФП	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
Z	Аппроксимация	-	400	500
Sp	Аппроксимация	400	500	600
P	Аппроксимация	500	600	-

При осуществлении моделирования аналогично решается задача фаззификации величин выходных значений. Результаты фаззификации описаны в таблице 45.

Таблица 45 – Параметры ФП термов входных параметров «Т_{out}, Du_{out}»

«Т_{out}» - наружная температура				
Терм	Тип ФП	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
Bn	Аппроксимация	-	0	10
N	Аппроксимация	0	10	20
Z	Аппроксимация	10	20	25
P	Аппроксимация	20	25	30
Bp	Аппроксимация	-	25	30
«Du_{out}» - содержание пыли в наружном воздухе				
Терм	Тип ФП	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
Z	Аппроксимация	-	700	850
Sp	Аппроксимация	750	850	950
P	Аппроксимация	850	1000	-

Для представления выходных значений в нечеткой форме могут быть использованы треугольные ФП «trimf» с параметрами термов

лингвистических переменных (табл. 46).

Таблица 46 – Параметры ФП термов выходных параметров «HeatValve», «VaporValve», «AirValve»

«HeatValve», «VaporValve» и «AirValve»				
Терм	Тип функции принадлежности	1-ый параметр	2-ой параметр	3-ий параметр
Close	trimf	-1	-1	-1
Stop	trimf	0	0	0
Open	trimf	1	1	1

Для реализации базы правил (таблица 42) был задан набор правил (рисунок 60).

В алгоритме системы нечеткого вывода для параметров «And method», «Or method», «Implication», «Aggregation» используются следующие значения:

- «And method» – (оператор «И») «MIN»;
- «Or method» – (оператор «ИЛИ») «MAX»;
- «Implication» – (активизация правил) «MIN»;
- «Aggregation» – (аккумуляция заключений) «MAX».

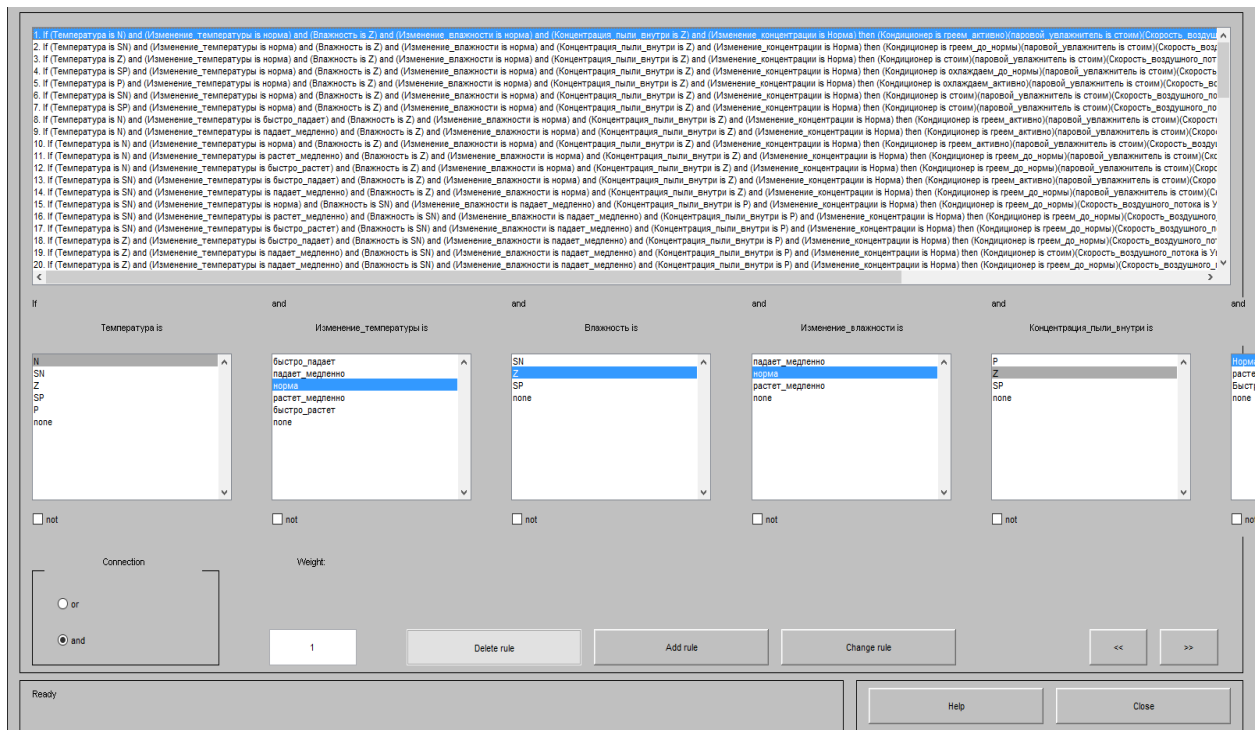


Рисунок 60 – Задание базы правил модели нечеткого регулятора

В качестве метода дефазификации использован метод центра тяжести.

На рисунках 61, 62 представлена иллюстрация реализации процедуры

дефаззификации.

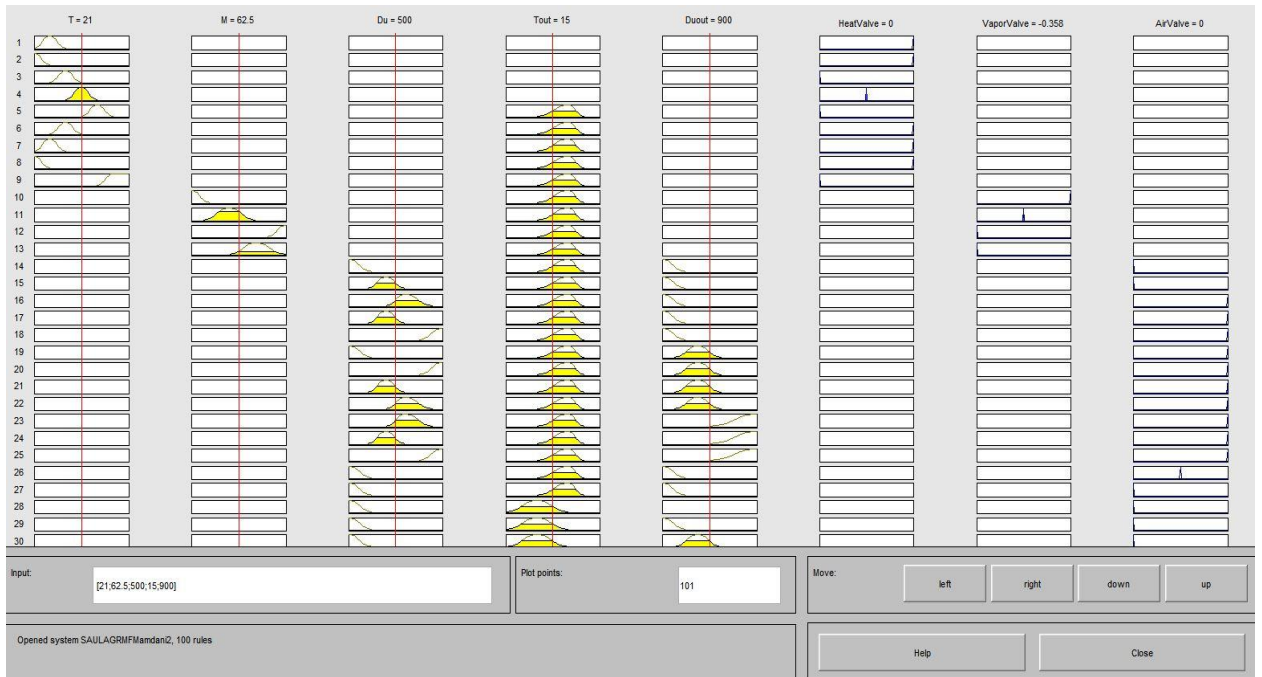


Рисунок 61 – Иллюстрация процедуры дефаззификации

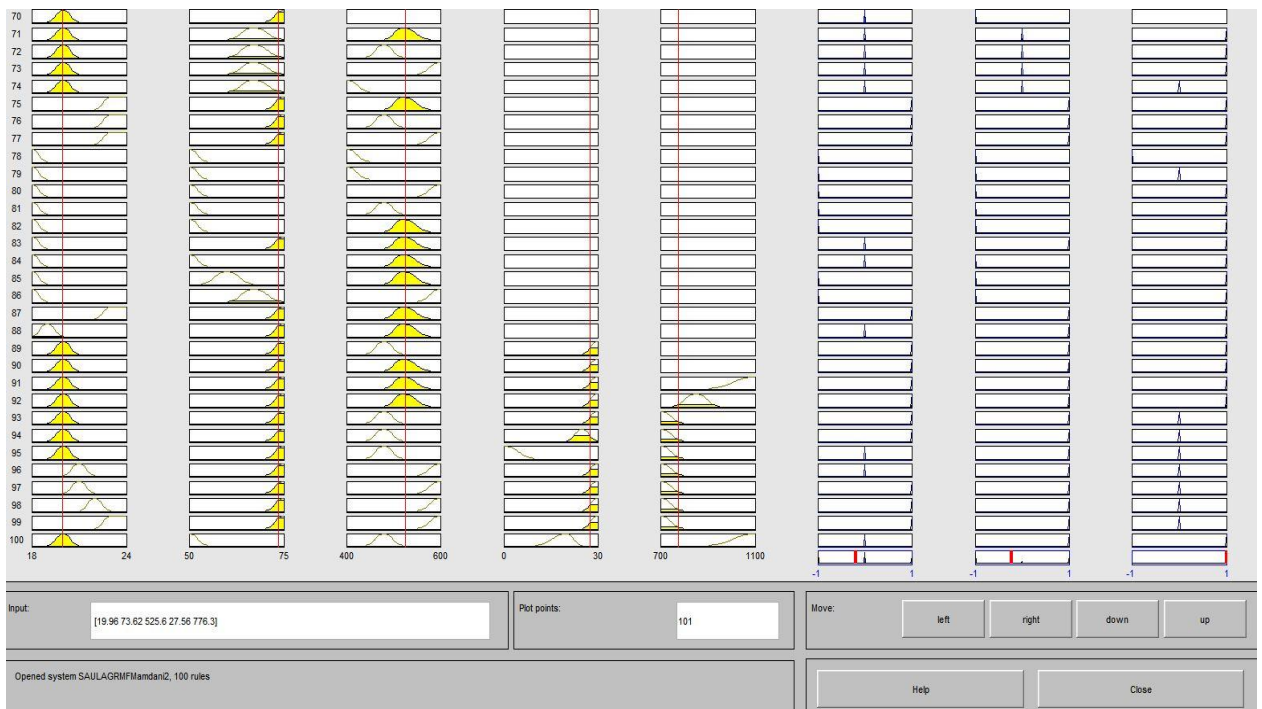


Рисунок 62 – Иллюстрация процедуры дефаззификации

3.4 Модель функционирования климатической динамической системы и особенности ее реализации в среде компьютерной математики MatLab

Matlab-модель устойчивого управления климатическими параметрами в автоматическом режиме при использовании нечеткого регулятора изображена на рисунке 63 и состоит из Нечеткого регулятора с базой продукционных правил (FuzzyClimateControl), структуры со звеньями, которые учитывают инерционность объекта управления. Передаточные звенья W-T, W-M, W-Du осуществляют процесс моделирования возмущающих воздействий на микроклимат (температуру, влажность, концентрацию пыли) ЧПП, а звенья W-T-Du, W-M-Du указывают на взаимозависимость параметров ПП.

Смоделированные связи передаточных звеньев, обозначенные на рисунке 63 GainT- heat; GainM- vapor; GainDu- Gfresh, определяют исполнительные устройства САУ КДС.

В системе моделируются провокационные возмущения, представленные 2-мя сумматорами и звеньями T_{out} , Du_{out} , (T) Step1-5, (Du) Step1-4. Величина возмущающих воздействий представлена суммой постоянных звеньев T_{out} и Du_{out} , которыми задаются начальные возмущения, и ступенями (Step), которые характеризуют возмущения в конкретный момент времени. То есть в имитационной модели выделены блоки, создающие постоянные возмущения, а также блоки, создающие провокационное возмущение на определенном временном интервале, от количества ступеней зависит и количество изменений значений возмущений, для настройки которых в составе модели присутствует график, характеризующий процесс возмущений во времени.

Далее сигнал поступает в НР представленный в модели блоком FuzzyClimateControl, имеющим 5 входов представленных параметрами микроклимата ЧПП (T, M, Du, T_{out} , Du_{out}), значения которых подвергаются фазификации, после чего осуществляется процедура нечеткого вывода, и

формирования управляющих воздействий, в соответствии с базой продукционных правил описанной в среде компьютерной математики Matlab Fuzzy Logic Toolbox.

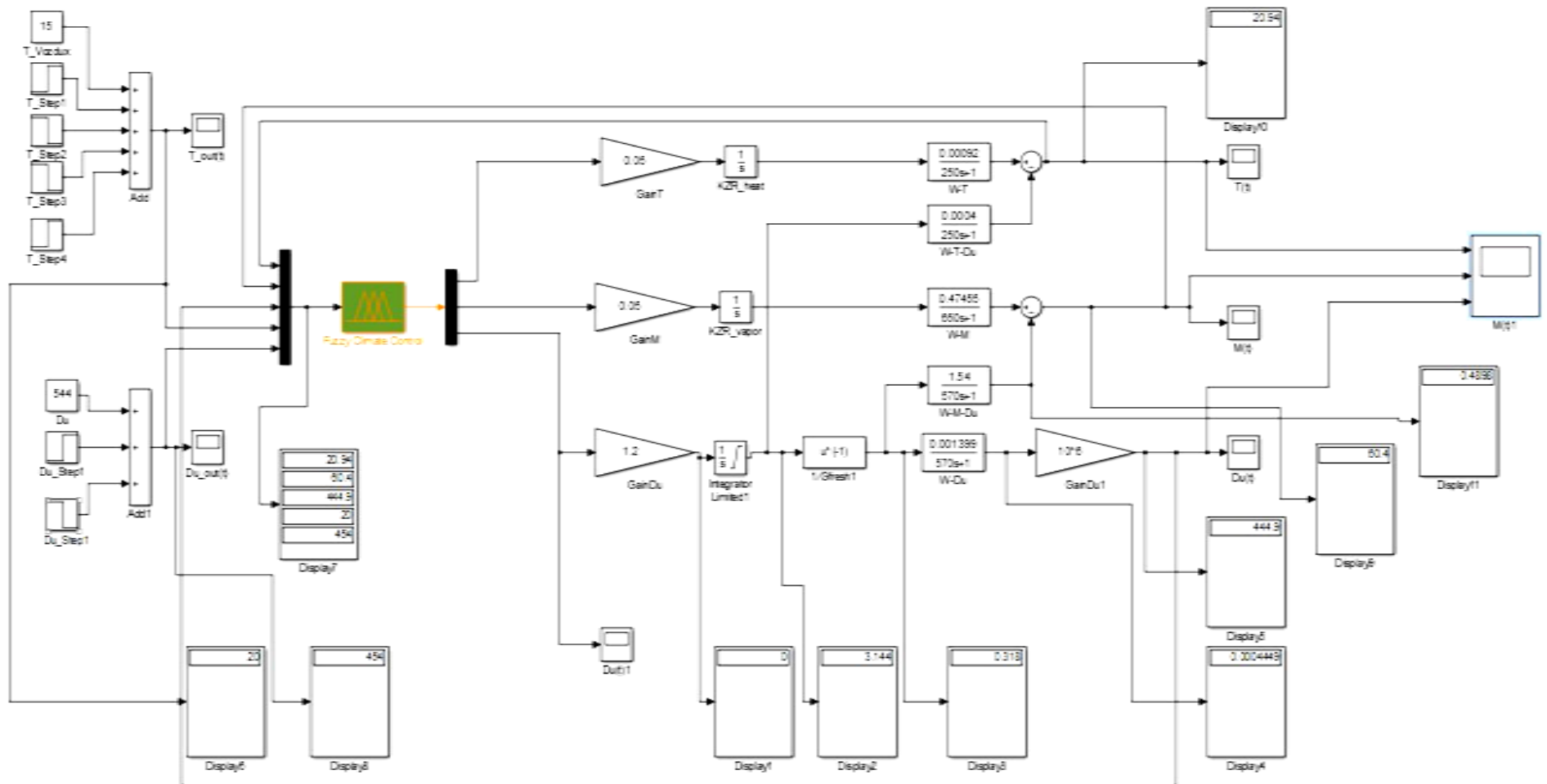


Рисунок 63 – Модель системы управления с нечетким регулятором параметров микроклимата технологического процесса производства

В процессе дефаззификации формируется управляющее воздействие, которое поступает по каналу управления на исполнительные устройства «Упр. Т», «Упр. М» и «Упр. Ду», в которых определяется скорость реакции регулирующих механизмов (калорифер | охладитель, парогенератор, система вентиляции), оказывающих влияние на процесс управления Т, М, Ду.

На рисунках 64, 65, 66 представлены результаты моделирования процесса текущего функционирования САУ КДС при использовании в качестве возмущающего воздействия шумоподобного сигнала. При этом рассмотрены два варианта построения САУ – на основе схемы, реализующей ПИД –регулирование (традиционная КДС), и на основе комплексирования РФ и НР (КДС с НР). Анализ графиков свидетельствует о доминировании САУ, реализующей подход, ориентированный на рекуррентное оценивание, использующее для отработки рассогласования нечеткую логику при формировании управляющего воздействия.

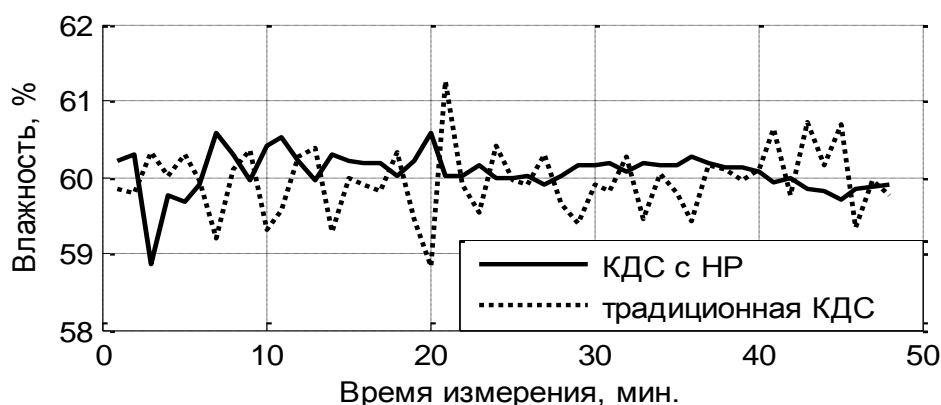


Рисунок 64 – Переходной процесс после возмущения для параметра «Влажность»

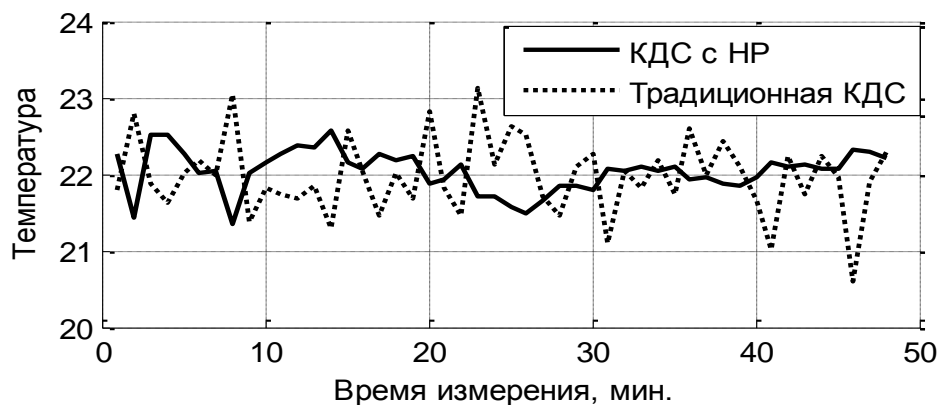


Рисунок 65 – Переходной процесс после возмущения для параметра «Температура»

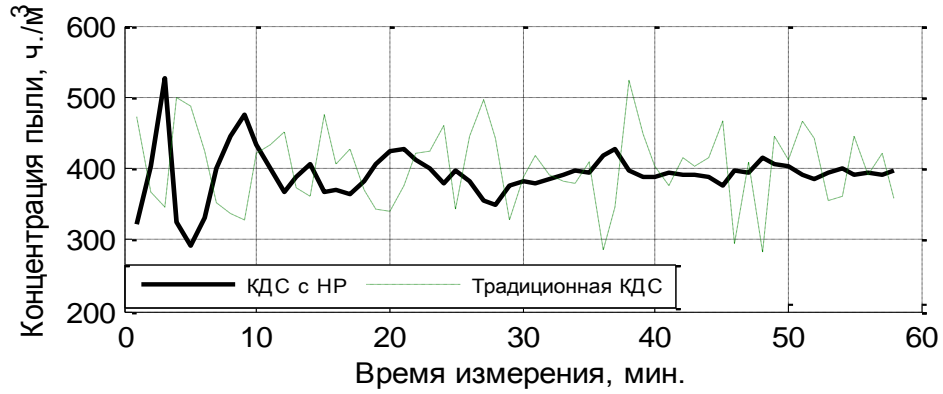


Рисунок 66 – Переходной процесс после возмущения для параметра «Концентрация пыли»

3.5 Анализ качественных показателей процедур управления климатической динамической системой в чистых производственных помещениях на основе результатов статистического моделирования

Автоматическая система с НР должна быть устойчива как к внешним, так и к внутренним возмущающим воздействиям.

Проанализируем влияние разработанного НР на устойчивость системы. При исследовании устойчивости допустимо рассматривать НР как нелинейное звено [41, 50, 68, 106] и оценивать абсолютную устойчивость системы с использованием критерия абсолютной устойчивости Попова [86, 107].

Схема контура нечеткого регулирования температуры приведена на рисунке 67.

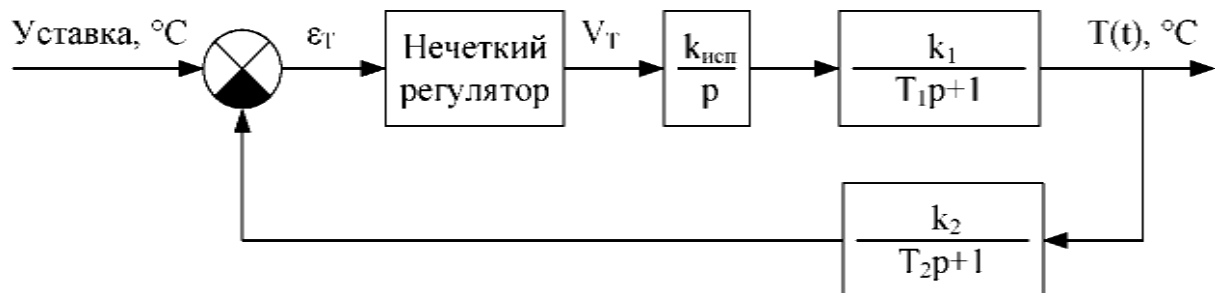


Рисунок 67 – Схема контура температуры

Исполнительный элемент представлен интегратором; объект управления и датчик температуры выражены аperiodическим звеном.

Согласно критерию Попова ограничим сектор расположения пунктирной линией на рисунке 68 (коэффициент наклона k_n).

Эта прямая описывается уравнением $V_t = K_n(\varepsilon_T)$.

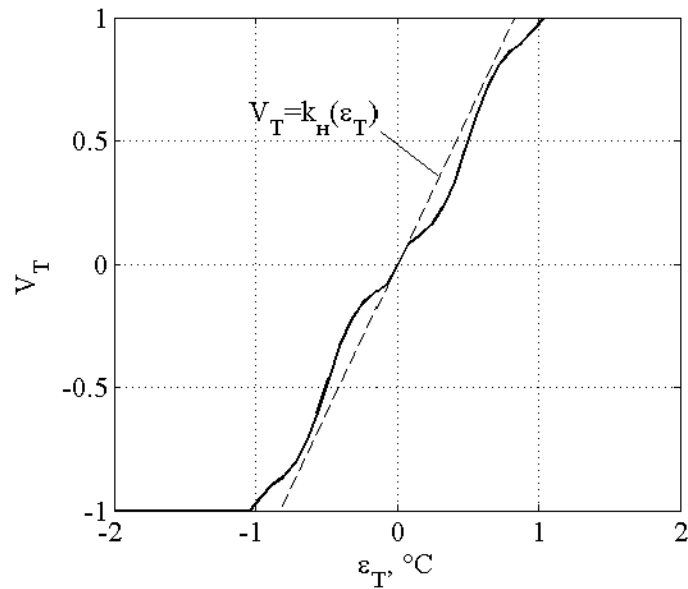


Рисунок 68– Характеристика вход-выход нечеткого регулятора

Годограф Попова построен в Matlab (рисунок 69).

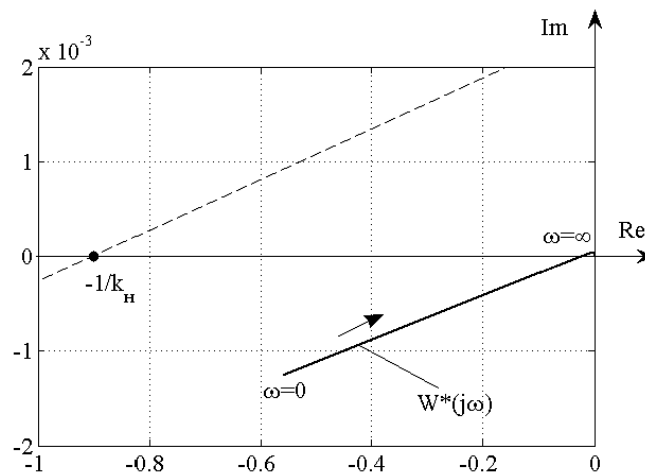


Рисунок 69 – Годограф Попова для контура температуры

Из рисунка 68 следует, что через точку $-1/k_n$, можно провести прямую, лежащую слева модифицированного годографа (пунктир на рисунке 69).

Следовательно, по критерию Попова контур температуры устойчив, и использование нечеткого регулятора не приводит к потере робастности системы.

В виду однотипности контуров влажности и пыли в доказательстве их устойчивости нет необходимости.

В процессе исследования НР анализировались переходные процессы для управляемых параметров $T(t)$, $M(t)$, $Du(t)$ ПП при возмущении внешних параметров (температуры $T_{out}(t)$ и концентрации пыли $Du_{out}(t)$ внешней среды).

Графики переходных процессов приведены на рисунке 70.

На рисунке 70(а) показано влияние наружной температуры, а на рисунке 70(б) – наружной концентрации пыли.

Заданы 4 скачка температуры: $0 \div 15$ °С на участке 1; $15 \div 0$ °С на участке 2; $0 \div -10$ °С на участках 3, 4 и $-10 \div 0$ °С на участке 5. Для наружной концентрации пыли заданы 2 скачка: $900 \div 1100$ част./м³ на участке 2 и $1100 \div 1300$ част./м³ на участке 4.

Ниже (70(в), 70(г), 70(д)) приведены графики переходных процессов для каждой управляемой величины при действии описанных возмущений.

Как видно из графиков, на участке 1 НР повышает температуру в технологическом помещении до 20 °С, понижает влажность до 60 % и понижает концентрацию пыли до 650 част./м³.

Для установившихся значений ФП составляют:

$$\mu_{sp}(21^\circ\text{C})=1, \quad \mu_{sn}(60\%)=1, \quad \mu_n(650 \text{ част./м}^3)=1.$$

Таким образом, НР обеспечил приведение процесса в рекомендуемое состояние, обеспечив его адаптацию к изменению окружающей температуры.

На участке 2 значение внешней температуры $T_{out}=n$, а концентрации наружной пыли $Du_{out}=p$, тогда действует 4 правило базы правил.

НР должен установить следующие параметры КДС: $T=z$, $M=z$, $Du=z$.

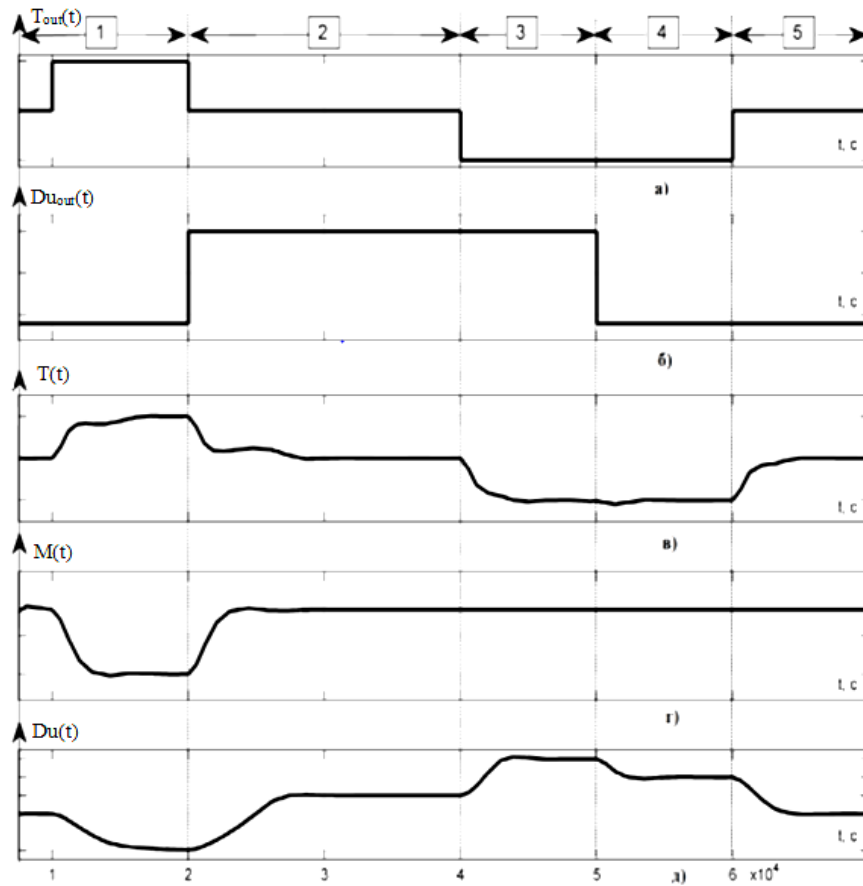


Рисунок 70 – Графики переходных процессов в системе: (а) – график наружной температуры, (б) – график наружной концентрации пыли, (в) – график температуры процесса, (г) – график влажности воздуха, (д) – график концентрации пыли [71]

Следовательно, НР корректно вышел на заданный правилом 4 технологический режим, обеспечив его адаптацию. Значение наружной температуры на участке 3 $T_{out}=bn$, а наружная концентрация пыли $Du_{out}=p$, что соответствует правилу 6. Тогда НР должен установить $T=sn$, $M=z$ и $Du=z$. На участке 4 происходит падение наружной концентрации пыли до уровня $Du_{out}=z$, а наружная температура остается на уровне $T_{out}=bn$, что соответствует правилу 5. НР должен установить $T=sp$, $M=z$ и $Du=s$. На участке 5 значение $T_{out}=n$, а $Du_{out}=z$, и согласно правилу 3, НР должен установить $T=z$, $M=z$, $Du=z$. Внешняя температура $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и наружная концентрация пыли 900 част./м^3 рассматривается, как заниженная температура ($T_{out}=bn$) и номинальная концентрация пыли ($Du_{out}=z$), тогда для

участка 1 действует правило 5 базы правил. При правильном функционировании нечеткого регулятора должны устанавливаться $T=sn$, $M=z$ и $Du=z$.

Таким образом, НР привел процесс в рекомендуемое состояние, обеспечив его адаптацию к изменению параметров среды.

Ситуация, представленная на рисунке 71, характеризуется следующими значениями: наружной температуры на участке 2 $T_{out}=bn$, а наружная концентрация пыли $Du_{out}=p$, что соответствует правилу 6. НР должен установить $T=sp$, $M=z$ и $Du=bn$. На участке 3 значение внешней температуры $T_{out}=z$, и концентрация пыли $Du_{out}=p$, тогда согласно правилу 2, НР должен установить $T=sp$, $M=sn$ и $Du=sn$.

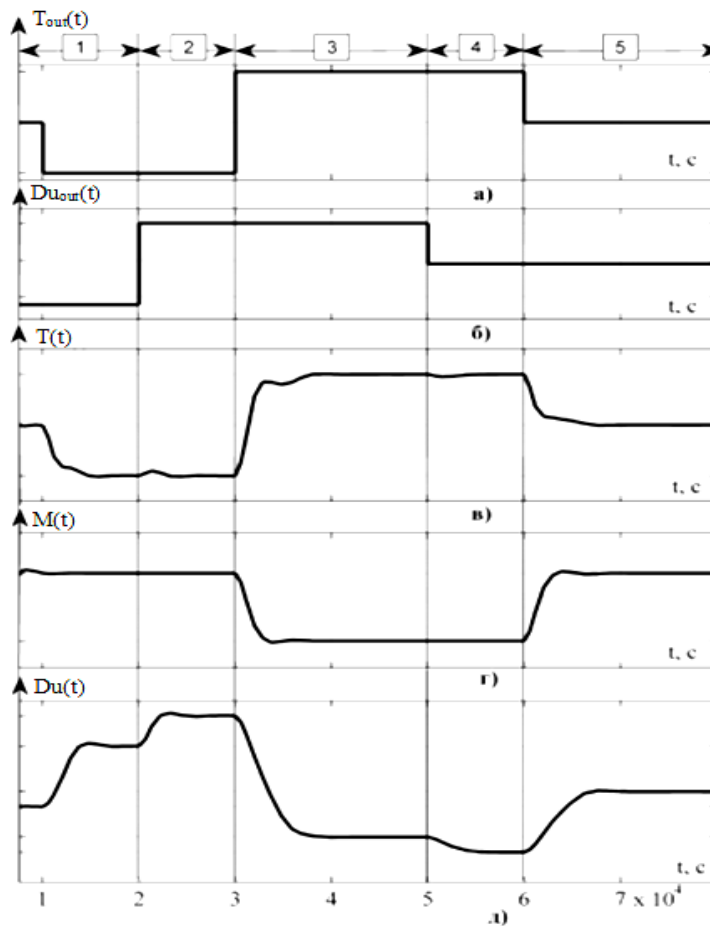


Рисунок 71 – Графики переходных процессов в системе: (а) – график наружной температуры, (б) – график наружной концентрации пыли, (в) – график температуры процесса, (г) – график влажности воздуха, (д) – график концентрации пыли [71]

На участке 4 происходит падение наружной концентрации пыли до уровня $Du_{out=z}$ и $Du_{out=p}$, а наружная температура остается на уровне $T_{out=z}$, что соответствует заданным условиям правил 1 и 2. Согласно принятому алгоритму нечеткого вывода НР должен установить $T=sp$, $M=sn$ и $n < Du < sn$.

Снижение наружной температуры до -10 °С и значение наружной концентрация пыли 1100 част./м³ рассматривается, как номинальная температура $T_{out=z}$ и концентрация пыли, соответствующая среднему уровню между $Du_{out=z}$ и $Du_{out=p}$, тогда для участка 5 действуют правила 3 и 4 базы правил. При корректном функционировании нечеткого регулятора должны устанавливаться $T=z$, $M=z$ и содержание пыли между $Du=sp$ и $Du=z$.

В процессе исследования САУ КДС были проанализированы переходные процессы для управляемых параметров микроклимата: $T(t)$, $M(t)$, $Du(t)$, возникающие при возмущении внешних по отношению к процессу условий (температуры $T_{out}(t)$ и концентрации пыли $Du_{out}(t)$ во внешней среде) (рисунок 72). Графики переходных процессов приведены на рисунке 73 (а, б) для параметра концентрация пыли при скачкообразных возмущениях параметра $Du_{out}(t)$, рисунке 74 (а, б, в) для температуры процесса в ЧПП при воздействии возмущений по параметру $T_{out}(t)$.

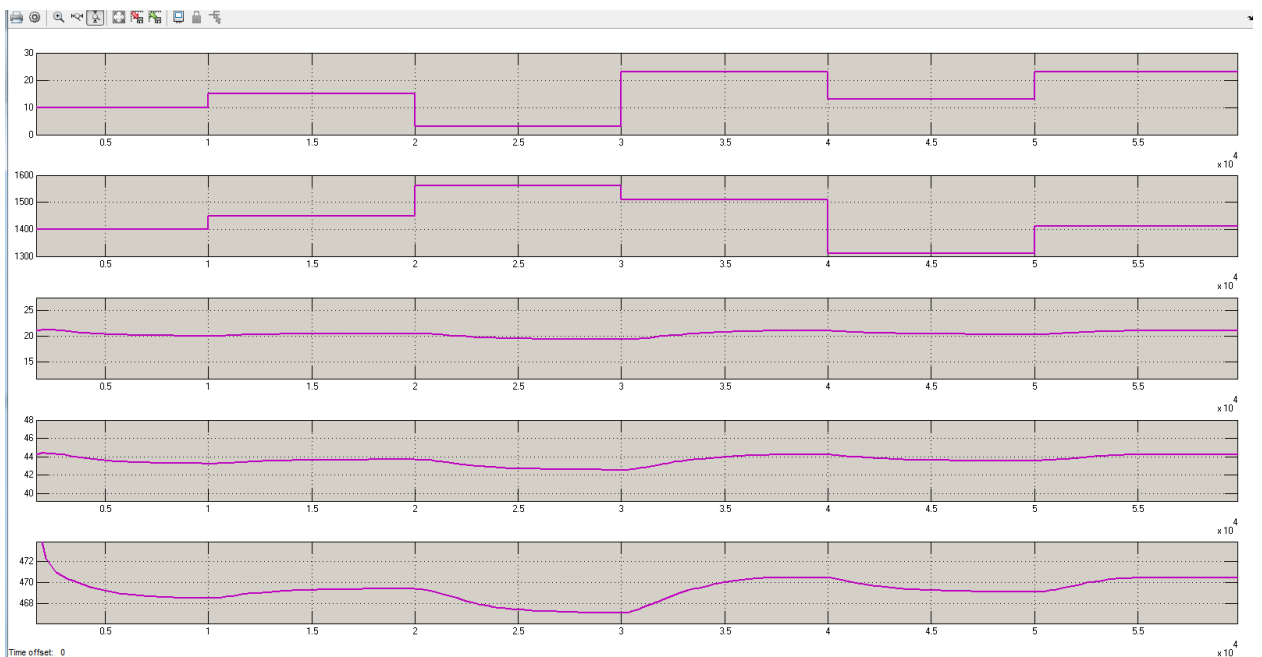
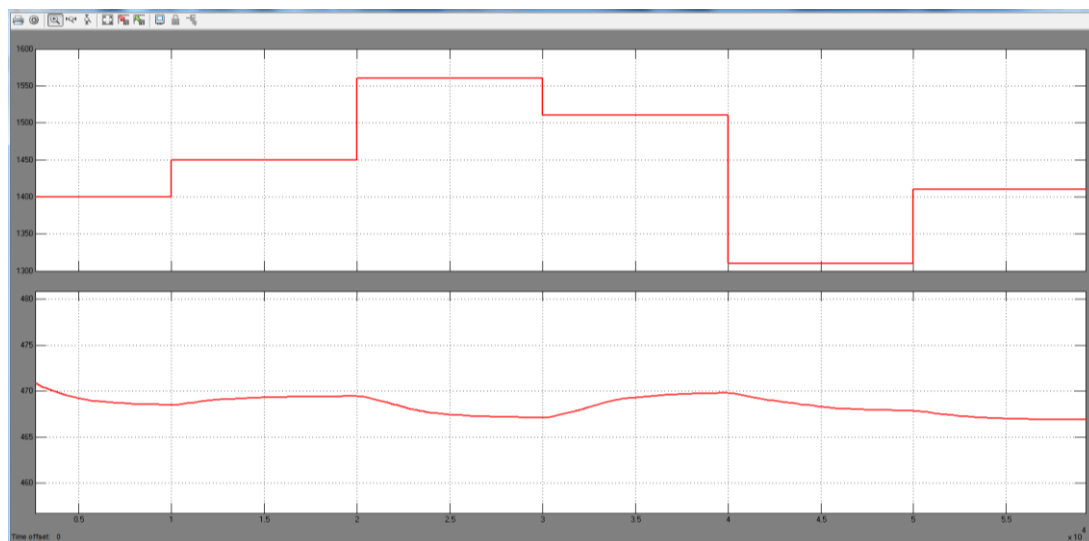
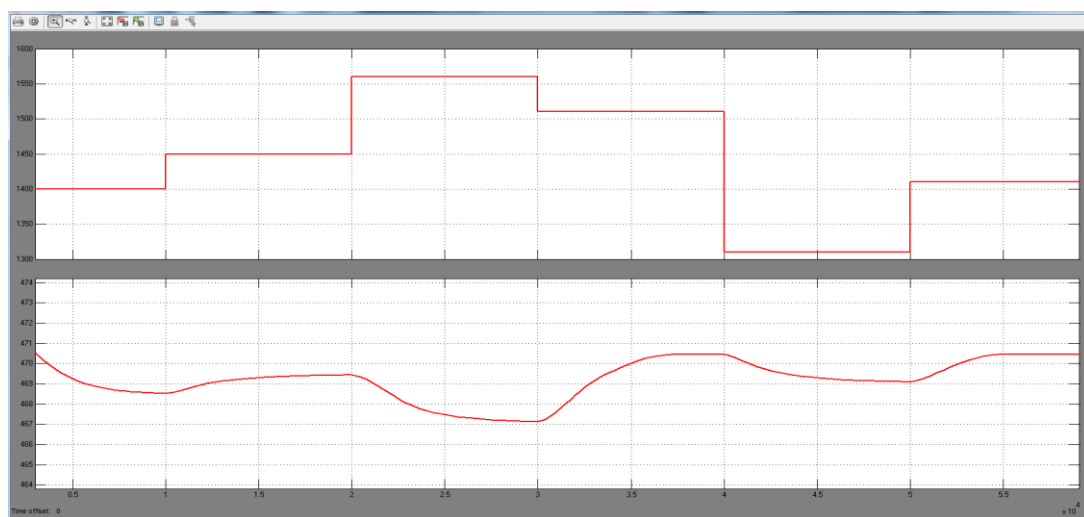


Рисунок 72 – Реакция параметров микроклимата ЧПП на возмущающие воздействия T_{out} и Du_{out}



а)

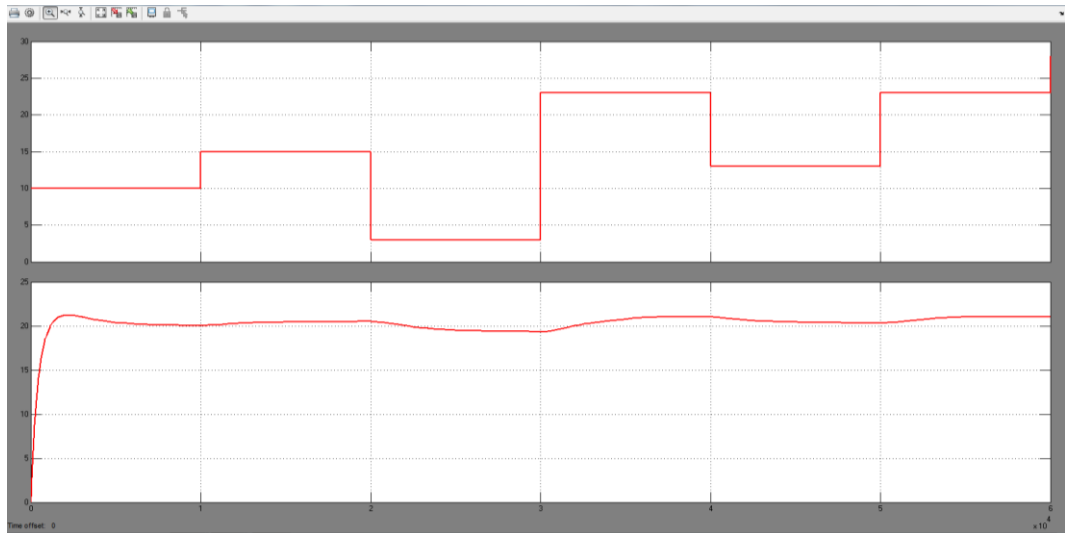


б)

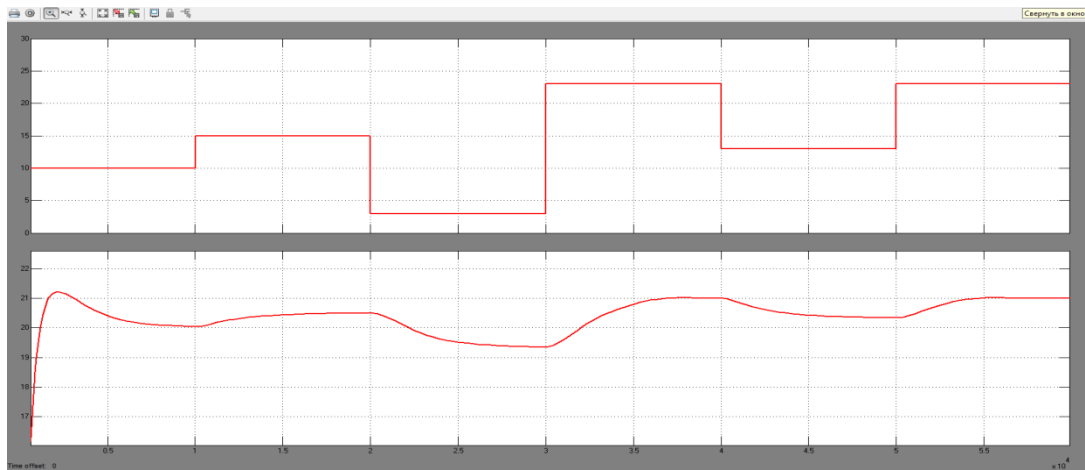
Рисунок 73 (а, б) – Реакция САУ КДС на возмущение (Концентрация пыли)

Анализ графиков позволяет утверждать, что разработанная САУ обеспечивает приведение контролируемых КДС процессов в рекомендуемое состояние. Кроме анализа результатов моделирования процессов парирования возмущений САУ КДС, выполнены исследования собственно характеристик переходных процессов, протекающих в САУ с нечетким регулятором и ПИД – регулированием при одинаковых исходных данных.

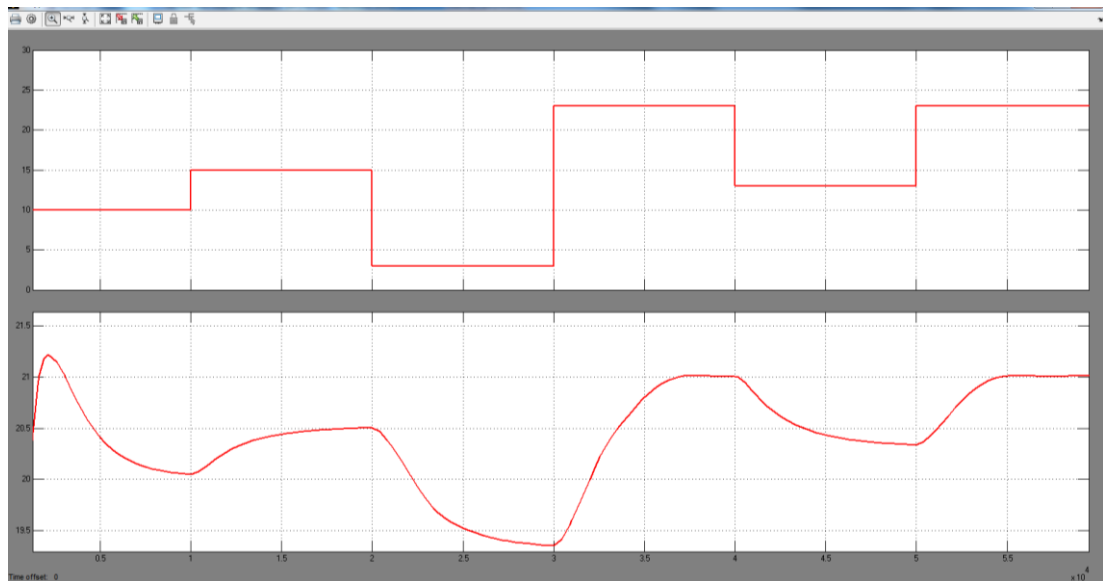
В процессе статистического моделирования, выполненного по методу Монте-Карло анализировались наиболее вероятные ситуации, связанные с нарушением штатных условий функционирования САУ КДС.



а)



б)



в)

Рисунок 74 (а, б, в) – Реакция САУ КДС на возмущение (Температура)

Примеры графиков переходных процессов регулирования температуры для ПИД-регулятора и регулятора с нечеткой логикой представлены на рисунках 75, 76.

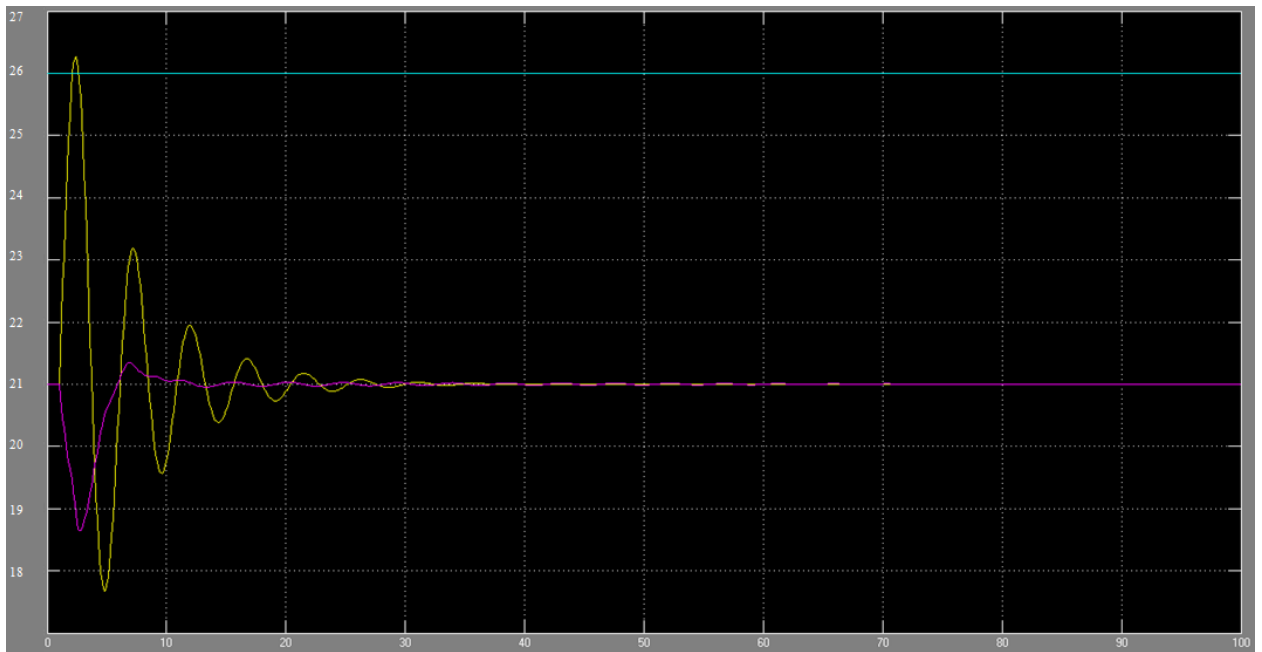


Рисунок 75 – Графики переходных процессов регулирования температуры для ПИД-регулятора (желтый) и Нечеткого регулятора (сиреневый)

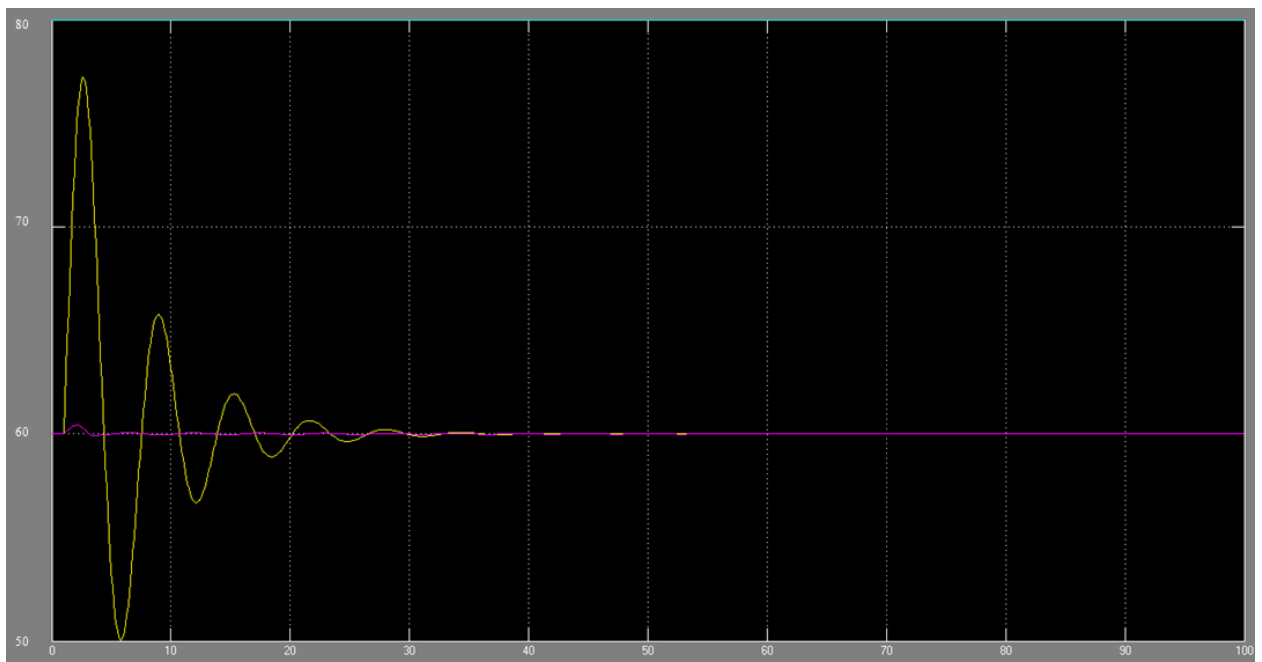


Рисунок 76 – Графики переходных процессов регулирования температуры для ПИД-регулятора (желтый) и Нечеткого регулятора (сиреневый)

Оценка качественных показателей функционирования КДС основывается на анализе характеристик переходных процессов и проведена по следующим основным параметрам:

- время регулирования $t_{рег}$, с;
- перерегулирование γ , %;
- частота колебаний ω ;
- число колебаний n ;
- время достижения первого максимума t_{max1} ;
- время нарастания переходного процесса t_n ;
- декремент затухания χ .

В процессе моделирования выполнен сравнительный анализ качественных показателей переходных процессов для САУ КДС, построенной на основе классической модели с ПИД-регулятором и на основе модели, предложенной в работе.

Были рассмотрены описанные ранее режимы возмущений. Приведем результаты сравнений для переменной «Температура процесса» (таблица 47).

Таблица 47 –Сравнительный анализ показателей качества

Показатель качества	Возмущение 1		Возмущение 2		Возмущение 3	
	ПИД	НР	ПИД	НР	ПИД	НР
$t_{рег}$, с	4	1.5	3	1.2	3	1.5
γ , %	61	40	35	9	3	1
ω	9,4	8	8	7	9	9
N	5	2	4	2	5	3
t_{max1}	0.2	0.25	0.6	0.6	0.5	0.5
t_n	0.16	0,1	0.3	0,5	0.3	0.4
χ	4	19	3	4	2.5	8

По представленным в таблице данным могут быть сделаны следующие выводы.

Возмущение 1.

САУ с НР обеспечивает время переходного процесса меньше, чем ПИД-регулятор (преимущество 62,5 %), также переходной процесс

характеризуется меньшими значениями величины перерегулирования (35%), частоты (16%), числа колебаний (60%) и большим значением декремента затухания (83%).

Возмущение 2.

САУ с НР обеспечивает меньшее время переходного процесса (60%), перерегулирование (74%), число колебаний (50%).

Возмущение 3.

САУ с НР обеспечивает меньшее время переходного процесса (50%), перерегулирование (67%), число колебаний (40%) и большее значение декремента затухания (69%).

На основе разработанного программно-алгоритмического комплекса также были проведены исследования динамических характеристик имитационных моделей систем кондиционирования и нагрева воздуха, парогенерации и вентиляции.

Рассматривались варианты, целью которых был анализ возможности перехода САУ КДС от режима штатного функционирования к экономичному режиму выходного (праздничного) дня или ночного времени, а также затрачиваемого ресурса, необходимого для возврата в исходное невозмущенное состояние.

На рисунке 74 представлен процесс отработки в разработанной САУ КДС директивно предусмотренного в базе правил изменения текущей температуры в ЧПП.

После окончания рабочего дня в САУ допускается понижение температуры до предусмотренных базой правил значений и обеспечивается плавный выход на требуемый к началу рабочего дня возврат к нормативным значениям.

Очевидно, что готовых универсальных рекомендаций по регламенту оптимального функционирования САУ КДС выработано быть не может, поскольку для законченной версии САУ следует учитывать много факторов, например, при выработке комплексной базы правил, или группы баз правил

(динамической базы правил или локально регламентируемых баз), каждая из которых соответствует требуемому режиму.

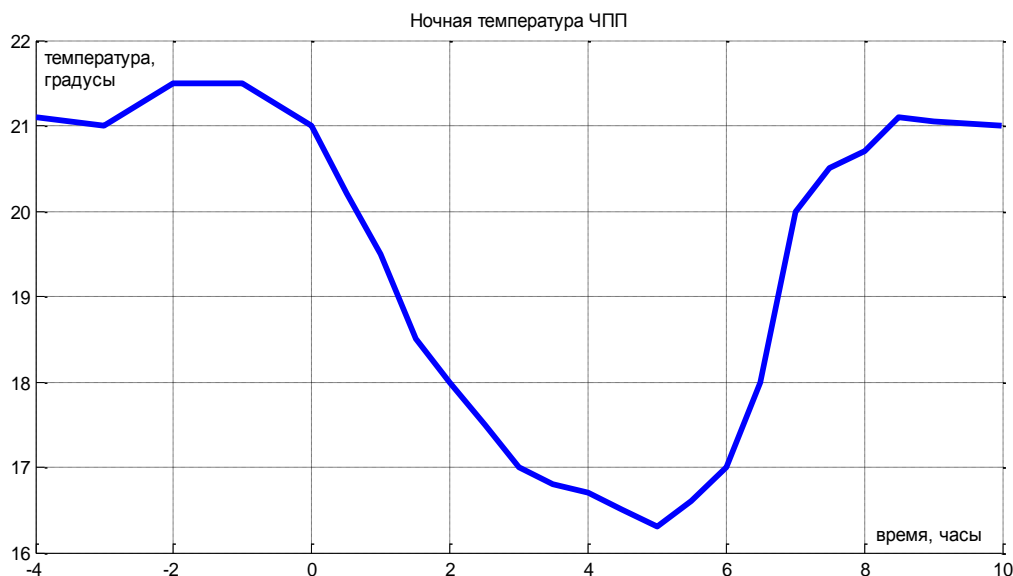


Рисунок 77 – Динамика температуры в ЧПП в нерабочее время

Здесь следует учитывать характеристики и тип ЧПП, использованные при изготовлении материалы, конструкционные особенности производственного помещения, здания, архитектуры окружающих строений и состояния среды и т.д. и т.п.

С другой стороны важно было установить наличие возможности для САУ предлагаемой идеологии реализации синтеза стратегии гибкого управления, позволяющей за ограниченный временной промежуток вывести КДС на штатный режим работы.

Иными словами, определить насколько эффективно для САУ КДС, сочетающей комплекс рекуррентного мониторинга и нечеткого регулятора, использование оптимизационных процедур, направленных на реализацию энергосберегающих директивных технологий.

Возможна ли реализация сценария критического самовосстановления КДС с помощью предлагаемой САУ?

Насколько результативно внедрение провокационных тестирующих

алгоритмов, превентивных процедур, фантомных моделей, использующих аппарат удаленного (выносного мониторинга), идентификации процессов при возникновении в возмущенной окружающей среде признаков критического состояния и т.п.?

Иными словами, в ходе исследований была предпринята попытка создания модели САУ с интуитивно «дружественной» структурой, доступной для внешних дополнений и способной к реализации признаков интеллектуальной системы кибернетического уровня.

Учитывая специфику управления, когда парирование возмущений одного из параметров не должно приводить к критическим изменениям характеристик других параметров КДС. Предлагается осуществить когнитивное управление, то есть будет обеспечено реальное оценивание текущих величин параметров, их прогнозирование и сравнение, в результате чего будет сформулировано значение на величину которого требуется произвести коррекции.

В процессе имитационного моделирования на разработанную САУ были оказаны управляющие воздействия, в соответствии с методикой, изложенной в [72-84], и затем анализировались качественные характеристики управляемых параметров, проиллюстрированных треками, представленными на рисунках.

При заметном изменении возмущающих воздействий рассмотрена такая мера парирования их последствий, как коррекция нормы регулируемого параметра путем динамического управления ядрами ФП. При этом был реализован оригинальный подход параметрического описания ядер ФП, развитие которого позволит заметно повысить оперативность коррекции базы предлагаемых правил и обеспечит возможность применения упрощенного управления в «дифференциальном режиме».

В рамках диссертационного исследования рассматривался способ управления параметрами микроклимата путем изменения параметров ФП лингвистических переменных.

Вариациям подверглись следующие значения ядер ФП переменной режим температуры T:

- для терма sn значения изменены с 20°C на 21°C;
- для терма z значения изменены с 21°C на 22.5°C;
- для терма sp значения изменены с 22°C на 24°C.

Значения ядер ФП переменной режим влажность изменились следующим образом:

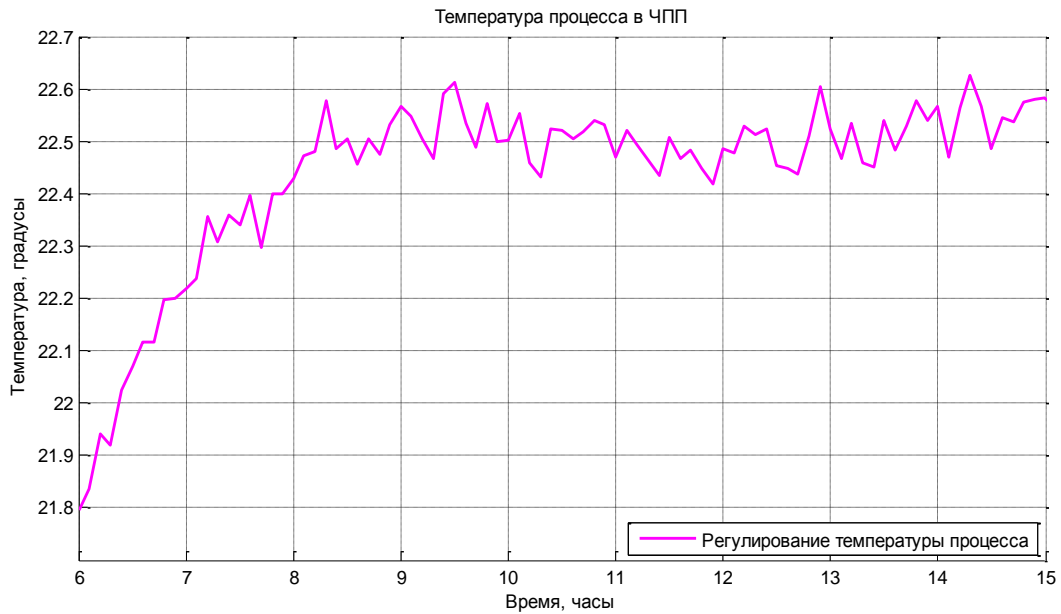
- для терма sn значения изменены с 71% на 63.5%;
- для терма z значения изменены с 73% на 65.5%;
- для терма sp значения изменены с 75% на 67.5%.

Параметры ФП термов выходной переменной режим концентрации Du были изменены следующим образом:

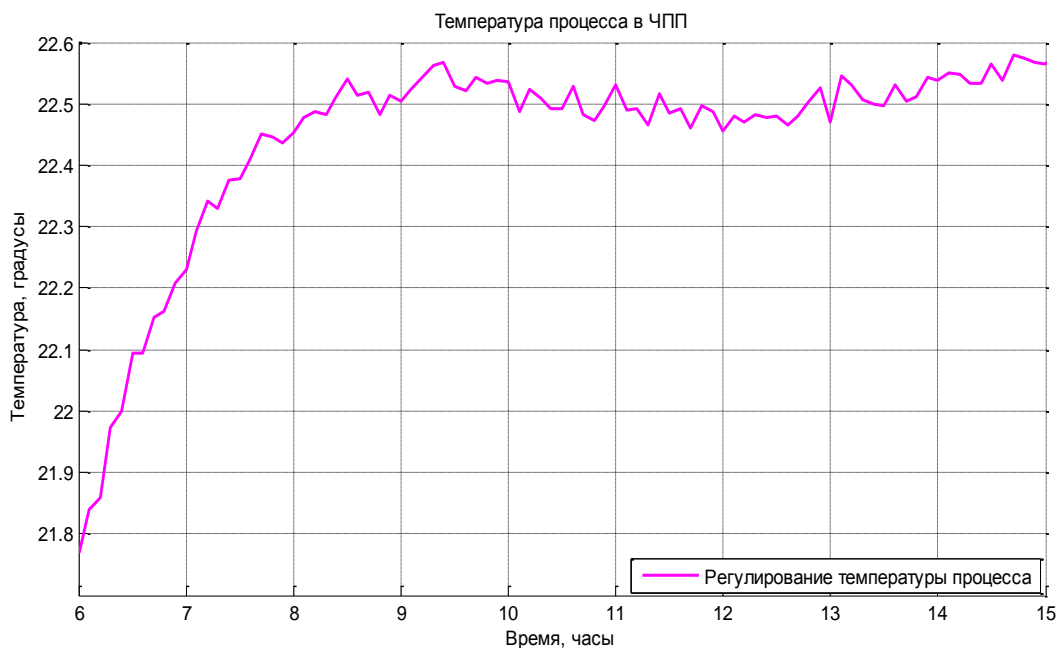
- для терма z значения изменены с 1300 частиц/кг.м³ на 650 частиц/кг.м³;
- для терма sp значения изменены с 1350 частиц/кг.м³ на 700 частиц/кг.м³;
- для терма p значения изменены с 1400 частиц/кг.м³ на 750 частиц/кг.м³.

16-часовой результат работы системы интеллектуального управления параметрами процесса относительно наружной температуры представлен на рисунках 78 а,б (температура), 79 а,б (влажность) и 80 а,б (содержание Du).

В момент времени 06.00 была активирована САУ КДС, и значения температуры, влажности и концентрации Du начали переходить в значение новой уставки, полученной от НР в соответствии с динамическими изменениями ядер ФП.



а)



б)

Рисунок 78 – Динамика температуры при коррекции ядер ФП для различных значений коэффициента передачи (в случае а) коэффициент передачи выше, чем в случае б)).

Из анализа графиков видно, что несмотря на введение временных уставок путем директивного смещения ядер ФП на некоторую величину, система управления обеспечивает плавный переход к новым нормативным значениям с удержанием показателей качества управления процессом в

допустимых значениях, адаптируясь к новым условиям.

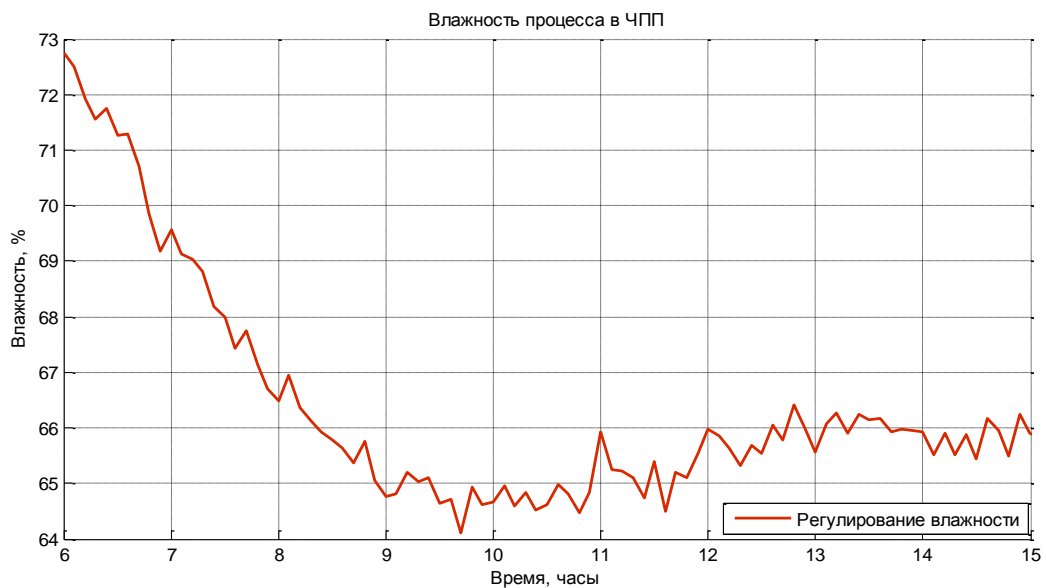
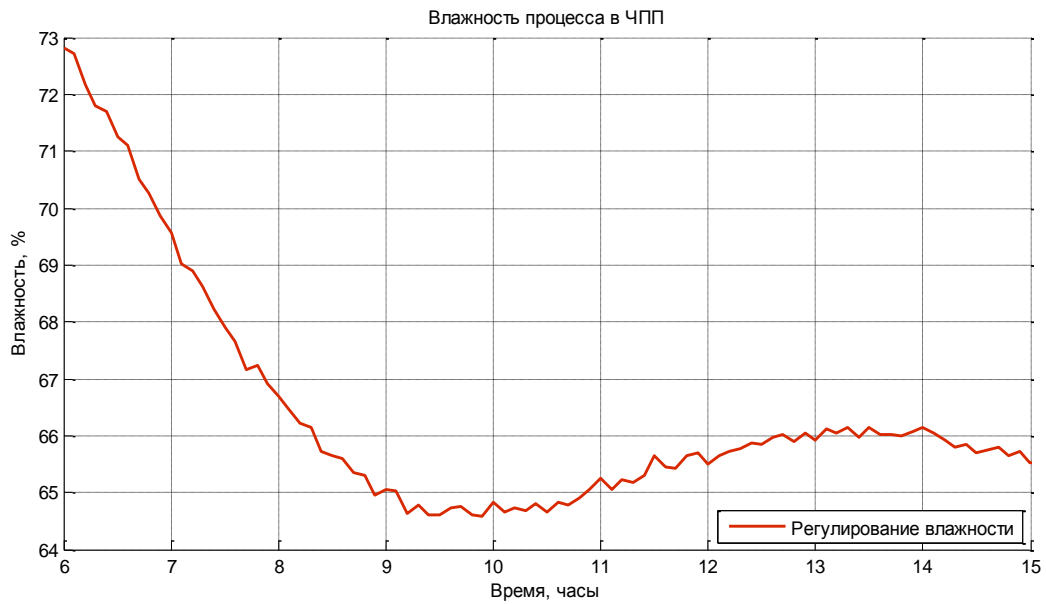
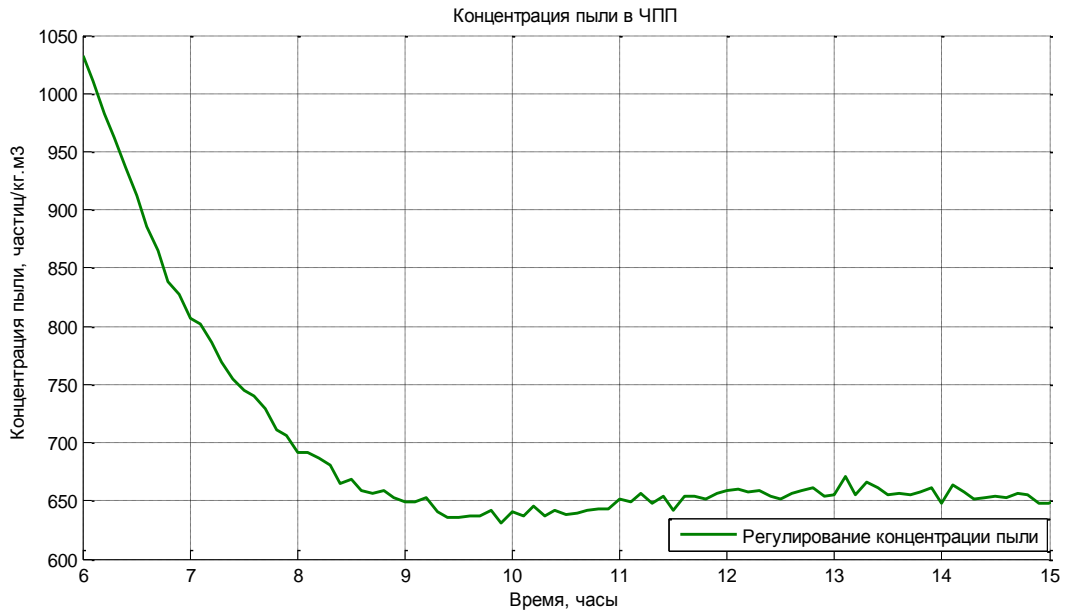


Рисунок 79 – Динамика влажности при коррекции ядер ФП (в случае а) коэффициент передачи меньше, чем в случае б)).

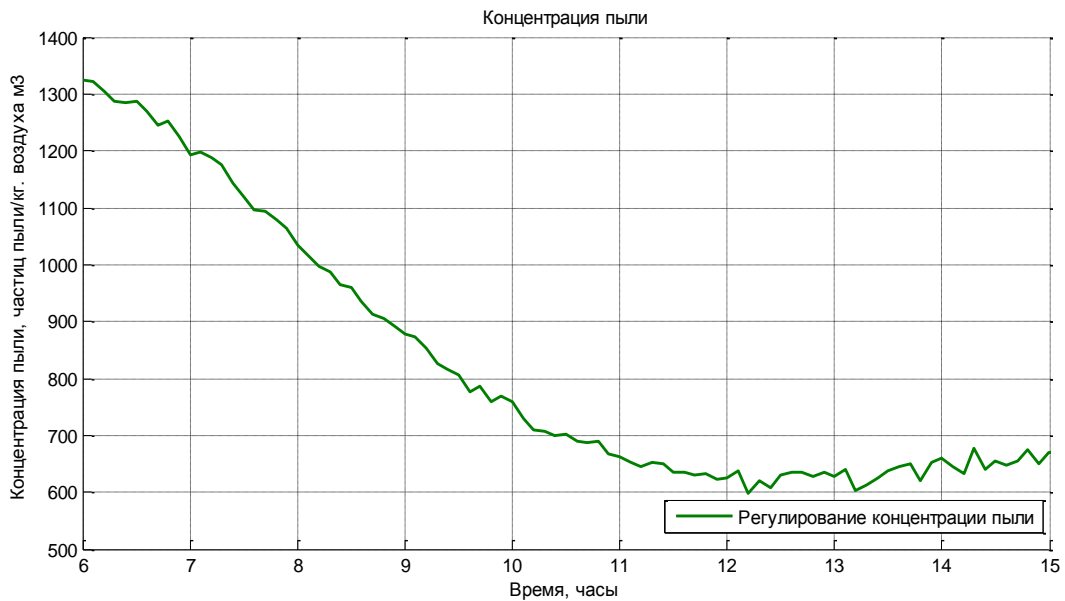
Таким образом, САУ КДС привела параметры ПП в соответствии с заданными правилами при наличии возмущающего воздействия в виде изменения наружной температуры воздуха.

Процесс сопровождается плавной стабилизацией параметров

относительно изменяющейся уставки и внешних возмущений без перерегулирования и в пределах допустимой точности управления.



а)



б)

Рисунок 80 – Динамика концентрации пыли при коррекции ядер ФП (в случае а) коэффициент передачи выше, чем в случае б)).

Эти программно-алгоритмические решения, как показало моделирование, позволяют благоприятно влиять на характеристики

переходных процессов, адаптивно изменяя воздействие на исполнительные устройства.

На основе выявленной возможности директивного управления параметрами микроклимата путем динамического изменения значений ядер ФП было проведено имитационное компьютерное моделирование по реализации ресурсосберегающей технологии управления на квазисуточном интервале, результаты которого подробнее.

Переходный процесс системы поддержания температуры может быть охарактеризован как монотонный с запаздыванием.

При генерировании в момент времени 06.00 часов возмущающего воздействия значение температуры воздуха равнялось $17,0^{\circ}\text{C}$ и по окончании директивного процесса, обеспечивающего принудительное изменение уставки температуры, приняло значение $21,50^{\circ}\text{C}$ (момент времени 10.00 часов).

Характер поведения контролируемого параметра – температура процесса - приведен на рисунке 81.

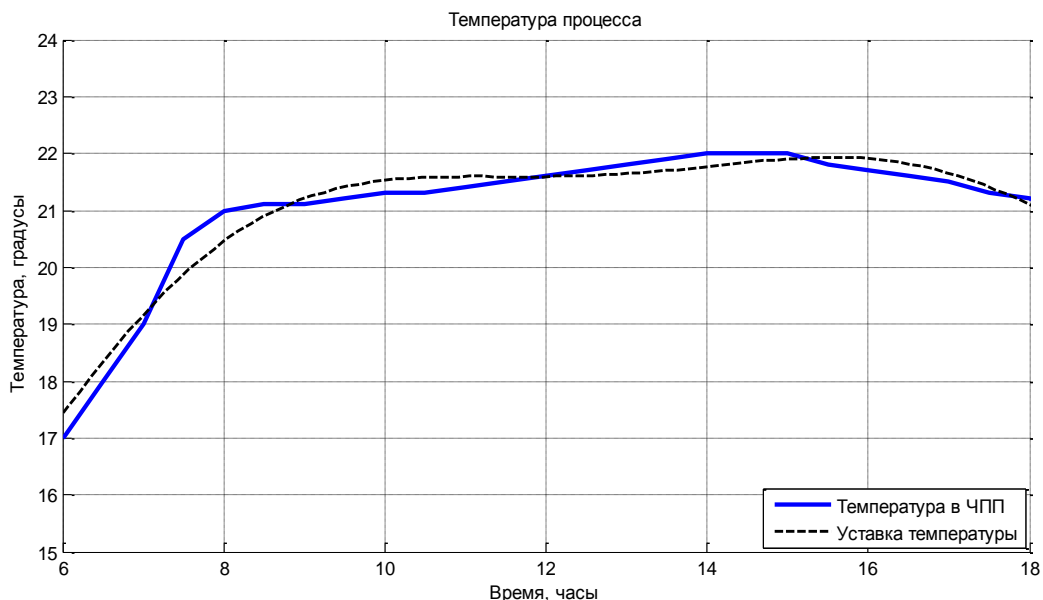


Рисунок 81 – Динамика температуры в ЧПП при наличии уставки

То есть в условиях жестко заданных ограничений на диапазон параметров КДС, парирование возмущающих воздействий в виде изменения

наружной температуры предложенная САУ КДС обрабатывает достаточно результативно.

На рисунках 82, 83 представлены различные варианты функции уставок и разовые реализации процессов их обработки.

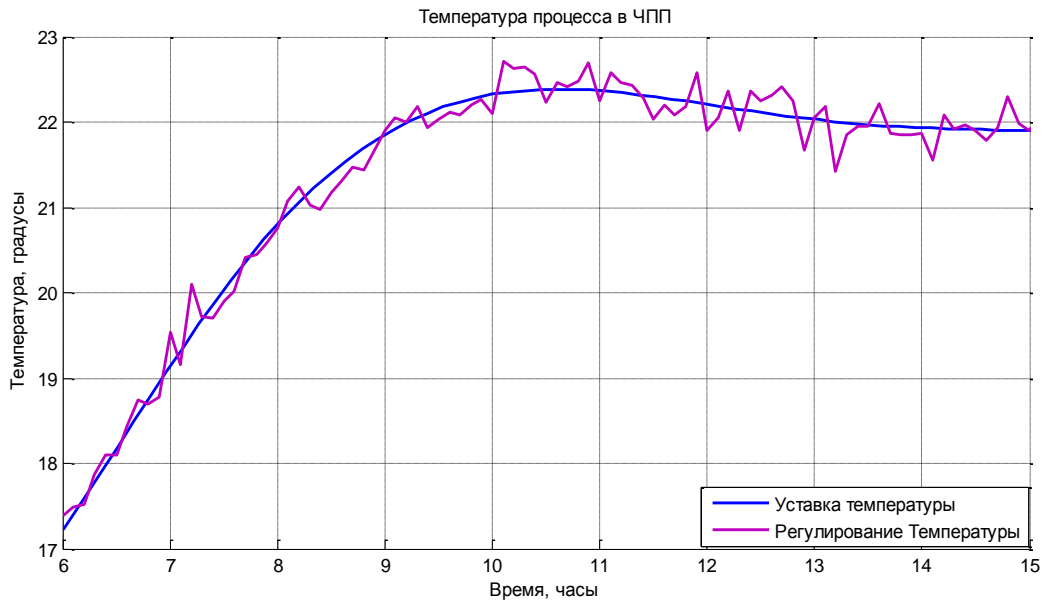


Рисунок 82 – Динамика температуры в ЧПП при наличии уставки

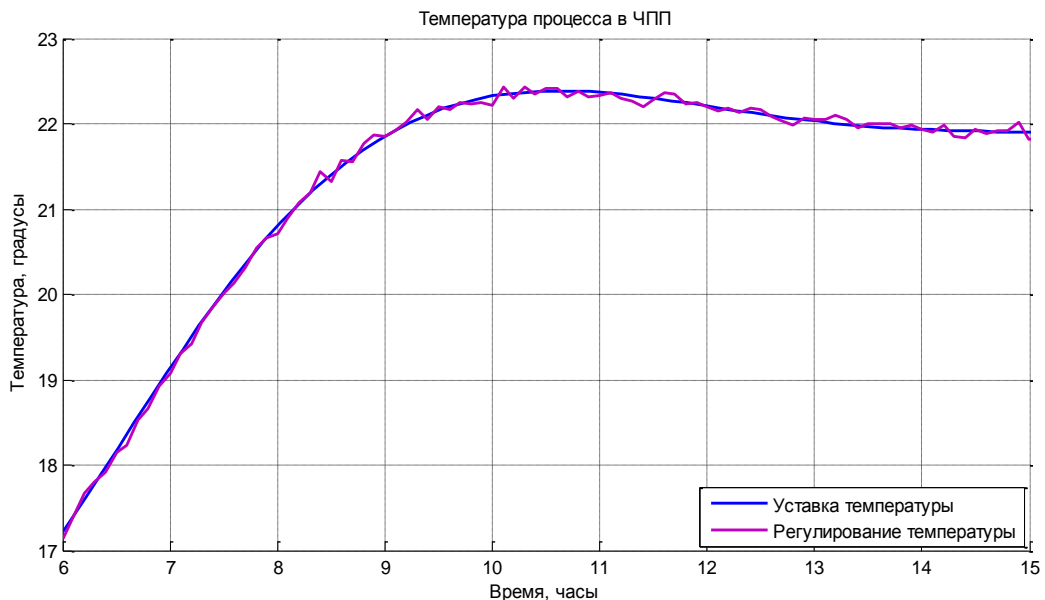


Рисунок 83 – Динамика температуры в ЧПП при наличии уставки

Анализ представленных графиков позволяет утверждать, что в системе с динамически изменяющейся уставкой отработка директивного управляющего воздействия осуществляется с несколько большей

дисперсией, нежели при непрогнозируемых возмущениях относительно фиксированных значений ядер ФП.

Следует отметить, что уменьшение размаха переходных процессов может быть нивелировано адаптацией коэффициентов настройки передаточных звеньев САУ (рисунок 83).

Этот вопрос составляет предмет дополнительных исследований. Его решение возможно по пути рационально обоснованного расширения базы правил (либо разработки локальной базы регламентированного включения), обеспечивающей адекватность характеристик управления для особо выделенных ситуаций.

Динамика процессов отработки возмущений по уставкам для системы вентилирования изображена на рисунках 84 и 85.

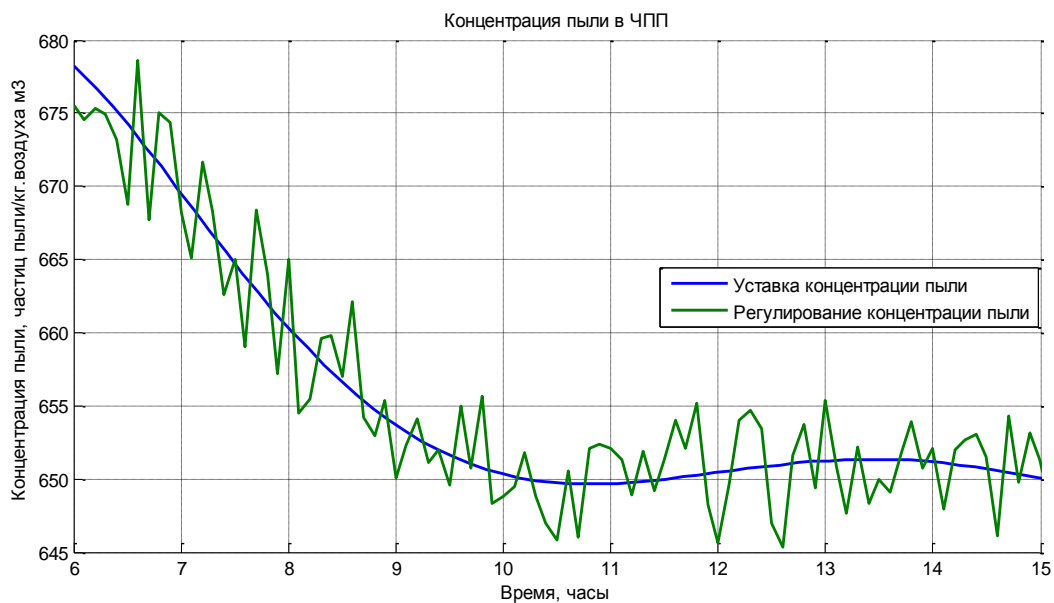


Рисунок 84 — Динамика концентрации пыли в ЧПП при наличии уставки

Возмущающее воздействие — монотонное с переменным знаком производной. В начальный момент времени 06.00 часов уставочное значение концентрации пыли находилось на уровне $678 \text{ частиц/кг.м}^3$, после окончания монотонного процесса значение стабилизировалось на уровне $650 \text{ частиц/кг.м}^3$.

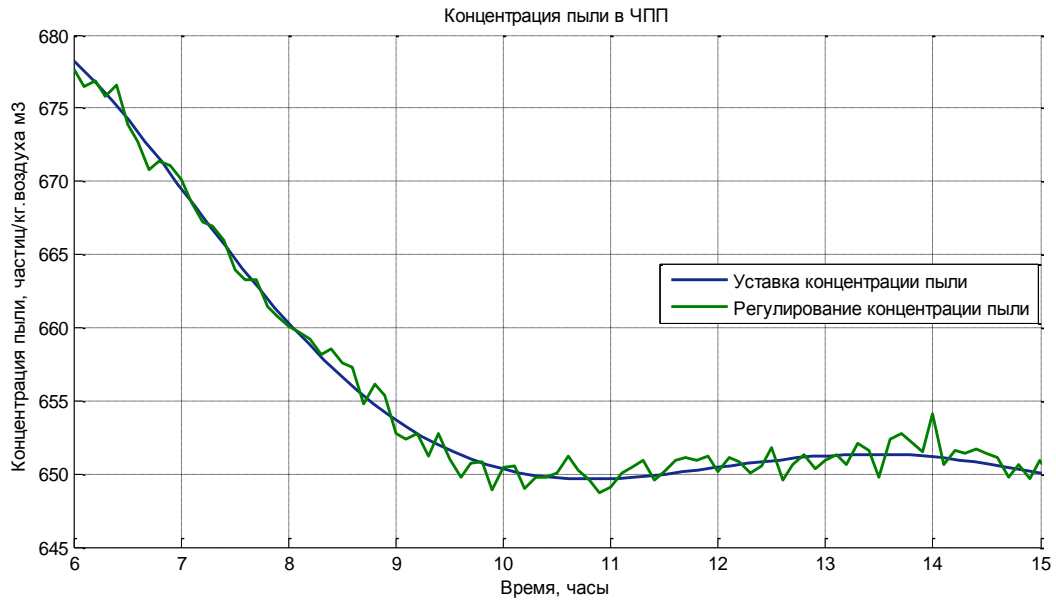


Рисунок 85 – Динамика концентрации пыли в ЧПП при наличии уставки

На рисунках 86, 87 представлен процесс управления влажностью в соответствии с поведением функции уставок.

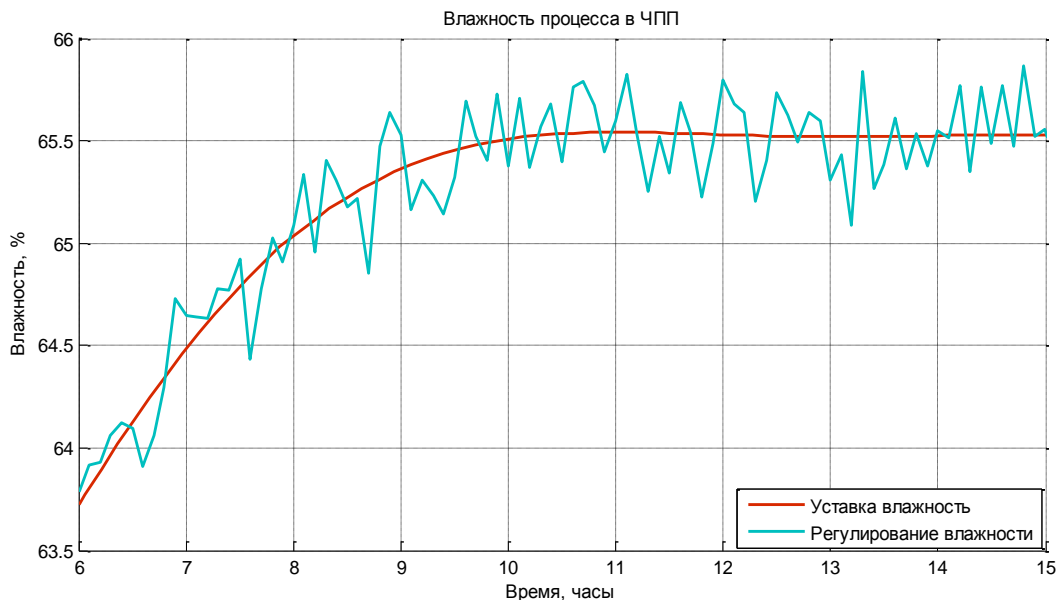


Рисунок 86 – Динамика влажности в ЧПП при наличии уставки

Рассуждения, касающиеся возможности управления дисперсией отработки возмущений по концентрации пыли с помощью регулирования коэффициентов передачи САУ, сохраняют свою справедливость и в рассматриваемом случае для контура управления влажностью в ЧПП

(рисунок 83, 84). При изменении наружной температуры воздуха система нечеткого управления адекватно регулирует уставку концентрации пыли.

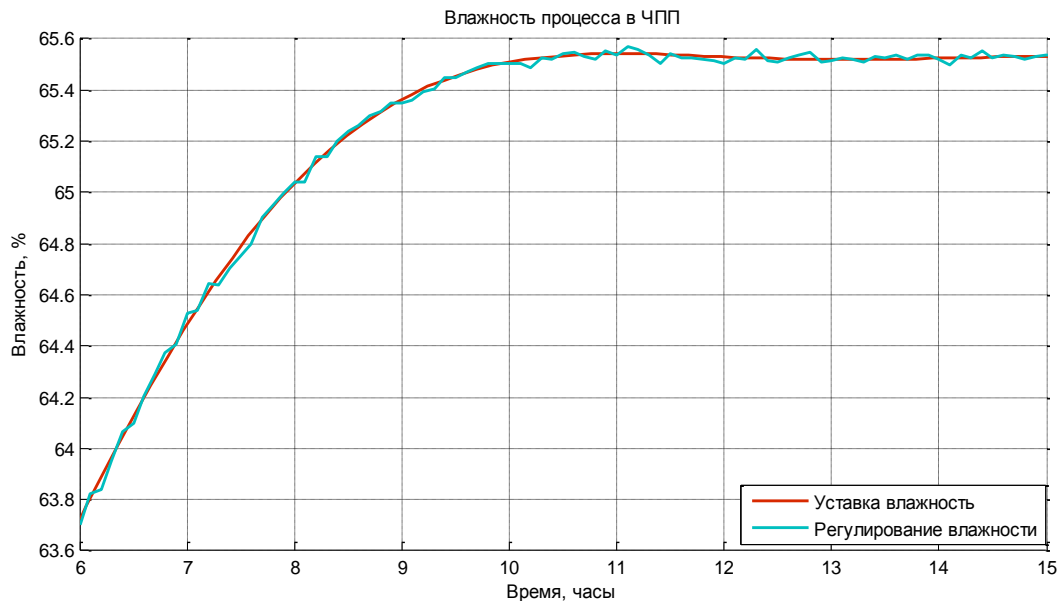


Рисунок 87 – Динамика влажности в ЧПП при наличии уставки

Таким образом, результаты проведенных исследований переходных процессов контуров кондиционирования и вентиляции позволили сделать вывод о корректности разработанной математической модели САУ КДС ПП изготовления микроэлектроники.

В результате испытаний САУ, сформированной на основе РФ с нечеткой логикой, были получены графики внешних возмущений по отношению к процессу управления и результатов их отработки.

На рисунке 88 представлен график, иллюстрирующий закон изменения наружной температуры, а на рисунке 89 график температуры воздуха в ЧПП в зависимости от наружной температуры воздуха при выходе на штатное функционирование КДС после режима эксплуатации ЧПП в ночное время.

Исследования выявили следующие закономерности.

При понижении температуры наружного воздуха в соответствии с разработанными уставками САУ КДС обеспечивает удержание температуры воздуха в ЧПП, приводя температурный режим в диапазон значений, соответствующих заданным в базе правил требованиям.

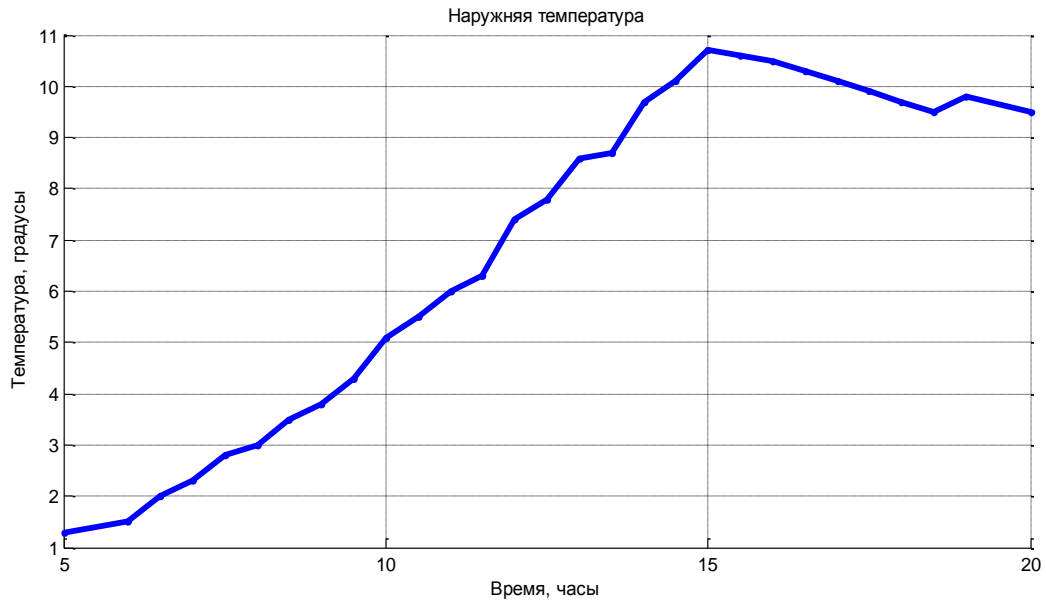


Рисунок 88 – Вариант уставки для наружной температуры

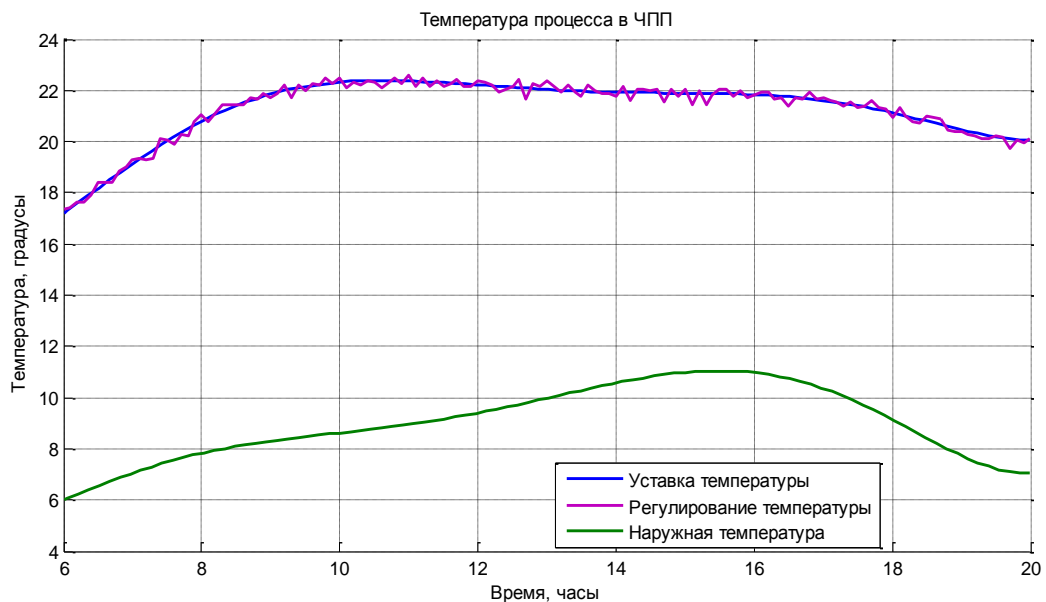


Рисунок 89 – Реакция КДС на уставки по наружной температуре и заданной для ЧПП

Согласно базе правил одновременно со снижением наружной температуры воздуха система понижает значение влажности с 67,5 до 63,5 % и удерживает значение по мере непрерывного изменения наружной температуры воздуха в пределах 2 %.

При повышении температуры наружного воздуха система управления устанавливает значение влажности на уровне 65% (рисунок 90).

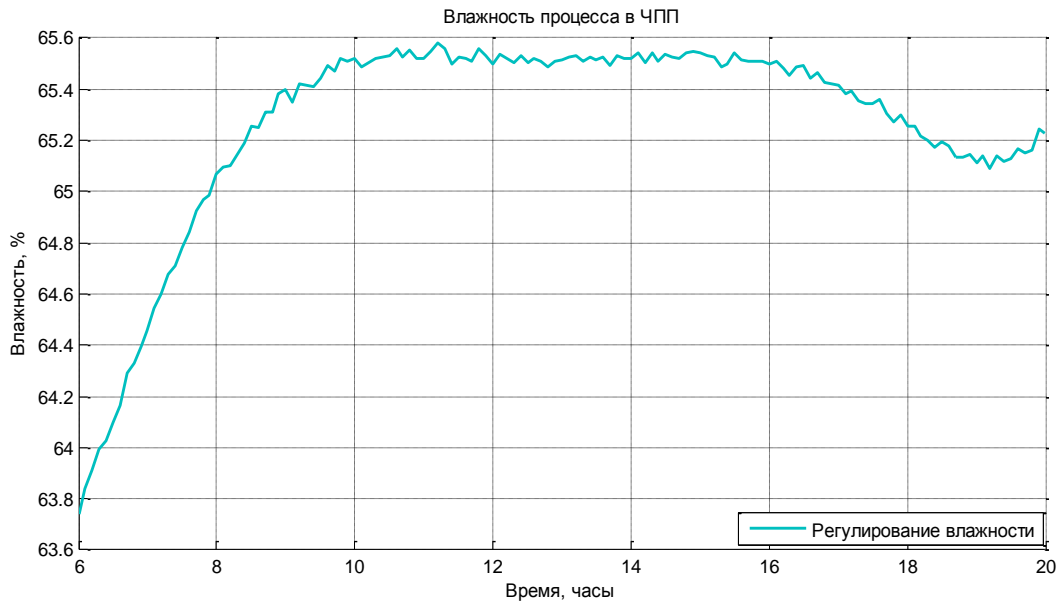


Рисунок 90 – Динамика влажности при отработке уставки по наружной температуре

Таким образом, система нечеткого управления удерживает текущее значение параметров в заданных пределах на всем промежутке изменения уставок, обеспечивая непрерывность адаптации параметров к изменяющимся условиям.

В процессе исследований по управлению ПП на базе разработанного программно-моделирующего комплекса САУ КДС с нечетким управлением обеспечила адаптацию параметров процесса при непрерывно изменяющихся внешних условиях со стабилизацией параметров в пределах допустимой точности управления, удовлетворяющей требованиям, установленным ГОСТ.

Результаты управления продемонстрированы в процессе имитационного компьютерного моделирования при различных диапазонах внешних воздействий с различной динамикой их изменений.

На основании полученных в ходе исследований результатов можно сделать вывод, что замена классической САУ на основе ПИД – регулирования на САУ идентичной структуры с нечеткой логикой приводит к заметному повышению качества переходных процессов, а следовательно результативности управления КДС при реализации ПП изготовления

электроники.

Таким образом, проведенные исследования указывают на следующее:

– разработанная САУ, основанная на комплексировании процедуры рекуррентного оценивания и рекуррентной фильтрации, обеспечивает необходимое качество переходных процессов, осуществляет адекватную реакцию на возникающие изменения климатических параметров, а также является устойчивой к внешним воздействиям;

– нечеткий регулятор обеспечивает автоматическое изменение климатических параметров ПП, тем самым обеспечивается адаптация КДС к изменениям внешних условий;

– процедура адаптации и удержания текущих параметров микроклимата ЧПП к заданным в соответствии с [8, 17-19] значениям, осуществляется базой правил, которая может быть модернизирована в процессе эксплуатации, за счет интеллектуальности САУ;

– система нечеткого управления ПП обеспечивает необходимое качество переходных процессов, что позволяет достигать поставленные задачи.

Иначе говоря, исследование подтвердило правильность принципиальных решений комплексирования систем рекуррентного оценивания и нечеткого регулирования процессом, а также достижимость сформулированных целей управления.

3.6. Результаты и выводы по разделу 3

1. Обоснована целесообразность использования для автоматизации управления КДС при производстве бортовой микроэлектроники интеллектуальных технологий управления на основе комплексирования систем рекуррентного оценивания и нечеткого регулирования.

2. Решена задача фаззификации информации: определены лингвистические переменные и их термы, установлена связь между

интервалами изменения физических величин технологических параметров и термами лингвистических переменных.

3. Разработана методика формирования функций принадлежности для управляемых технологических параметров микроклимата, возмущений и управляющих воздействий и базы лингвистических правил при использовании методов экспертного оценивания и учета данных рекуррентного мониторинга климатических параметров.

4. Предложена методика аппроксимации ФП временными полиномами, что позволило упростить их математическое описание и последующую реализацию в системе нечеткого управления.

5. На основе анализа и обобщения опыта технологического процесса разработана база правил для системы нечеткого управления, обеспечивающая адекватный учет взаимовлияния отслеживаемых параметров, адаптацию процесса управления в условиях возмущений и его оптимизацию по результативности.

6. Разработана математическая модель процедуры нечеткого вывода для системы нечеткого управления.

7. Разработанная система оценивания, прогнозирования и нечеткого управления технологическим процессом может быть использована в качестве обобщенной модели для разработки системы нечеткого управления технологическим процессом с переменной структурой при производстве радиоэлектроники.

8. Разработана Matlab-модель РФ и нечеткого регулятора, реализующих предлагаемые в работе технические решения. С использованием средств пакета FuzzyLogicToolbox разработана функция расширения пакета для моделирования специальных функций принадлежности, синтезированных в процессе решения задачи фаззификации входной информации.

9. Разработана Matlab-модель системы управления технологическим процессом, основанная на комплексировании рекуррентного мониторинга климатических параметров и нечеткого регулирования воздействий на

исполнительные устройства.

10. Выполнено исследование модели с целью определения устойчивости системы и качества переходных процессов, а также реализации свойств адаптации системы к изменению условий осуществления процесса.

12. Исследования подтвердили наличие ожидаемых свойств у исследуемой системы и правильность предложенных решений по комплексированию системы рекуррентного оценивания и нечеткого управления КДС в технологическом процессе производства микроэлектроники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе решена актуальная научно-техническая задача повышения результативности ПП изготовления бортовой микроэлектроники путем разработки моделей и методик адаптивного управления микроклиматом в чистом производственном помещении, реализованная на основе концепции комплексирования рекуррентной фильтрации и нечеткого регулирования.

В процессе выполнения работы были получены следующие основные результаты, имеющие научное и практическое значение:

- обоснована целесообразность интеллектуализации системы управления КДС в технологическом процессе производства бортовой радиоэлектроники, реализуемой на основе комплексирования рекуррентного оценивания и нечеткой логики с обобщением научно-практического опыта путем учета дополнительной информации о ПП, представленной в лингвистической форме, при использовании методов экспертного оценивания и учета данных рекуррентного мониторинга климатических параметров;

- разработана модель процессов оценивания, прогнозирования и идентификации на основе аппарата рекуррентной фильтрации, использование которой для формирования текущего рассогласования регулируемых параметров и коррекции ФП обеспечивает адаптивность и робастность процесса автоматического управления КДС;

- разработана математическая модель динамики параметров микроклимата ПП с учетом влияния произвольного комплекса факторов, взаимосвязей между климатическими характеристиками процесса и сигналами управления;

- разработана методика мониторинга климатических параметров ПП на основе рекуррентной фильтрации наблюдений в условиях нестационарных возмущений;

- предложен алгоритм устойчивого автоматического управления

микроклиматом в ПП на основе формирования управляющих воздействий при использовании нечеткого регулирования;

- разработана методика фаззификации параметров микроклимата ПП, а также синтеза базы лингвистических правил, обеспечивающих адекватность формирования управляющих воздействий в условиях априорной недоопределенности модели состояния КДС;

- предложена методика разработки оригинальных функций принадлежности, основанная на использовании методов экспертного оценивания и учета данных рекуррентного мониторинга климатических параметров;

- разработана методика организации управления микроклиматом в ПП изготовления бортовой микроэлектроники, обеспечивающая реализацию ресурсосберегающих процедур и минимизацию технических рисков;

- разработана имитационная модель системы автоматического управления КДС в ПП изготовления микроэлектроники на основе комплексирования системы рекуррентного оценивания и нечеткого регулятора;

- исследования модели с целью определения устойчивости системы, качества переходных процессов и реализации свойств адаптации системы к изменению условий осуществления процесса подтвердили наличие ожидаемых свойств и правильность предложенных решений;

- разработано программное обеспечение и Matlab-модель для РС-совместимой среды, позволяющие проводить оценку качественных показателей принятых решений и анализ условий их наиболее результативного применения.

Как показали исследования, САУ КДС, реализующая концепцию комплексирования РФ и НР обеспечивает время переходного процесса заметно меньше (в 1,3 - 2,7 раза), чем ПИД-регулятор, характеризуется меньшими значениями величины перерегулирования частоты

(в 1,25 – 2,2 раза), числа колебаний (в 1,12 – 1,33 раза) и большим значением декремента затухания (2,3 - 3,7 раза).

Результаты математического моделирования подтвердили, что предложенная система обеспечивает требуемое качество управления и является адаптивной по отношению к условиям осуществления ПП. Также система имеет возможность совершенствования технологии управления при накоплении нового опыта.

Представляется важным с позиции определения направлений дальнейших исследований рассмотрение следующих вопросов:

- топологии размещения исполнительных устройств и датчиков мониторинга климатических параметров;
- разработки методики синтеза моделей поведения полей пространственных градиентов контролируемых параметров в ЧПП;
- разработки научно-методического аппарата учета пространственных полей климатических параметров при описании взаимовлияния в базе лингвистических правил;
- разработка технологии синтеза динамической базы лингвистических правил, реализующей принципы параметрического задания ФП и множественной идентификации при формировании гибких стратегий управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральная целевая программа "Развитие электронной компонентной базы и радиоэлектроники" на 2008 - 2015 годы: Распоряжение Правительства РФ от 23 июля 2007 г. № 972-р.
2. Свод правил СП: СНиП 118.13330.2012. Общественные здания и сооружения. М.: Институт общественных зданий, 2014. 72 с.
3. Строительные нормы и правила: СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений. М.: Минстрой РФ, 2002. 71 с.
4. Строительные нормы и правила: СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. М.: Минстрой РФ, 1995. 68 с.
5. ГОСТ 23554.1-79. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции. М.: Изд-во стандартов, 1980. – 28 с.
6. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытания на горючесть. М.: Изд-во стандартов, 2008. 18 с.
7. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Изд-во стандартов, 1995. 11 с
8. ГОСТ ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха. М.: Изд-во стандартов, 2006. 20 с.
9. ГОСТ ИСО 14698-1-2005. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Контроль биозагрязнений. Часть 1. Общие принципы и методы. М.: Изд-во стандартов, 2008. 28 с.
10. ГОСТ ИСО 14698-2-2005. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Контроль биозагрязнений. Часть 2. Анализ данных о биозагрязнениях. М.: Изд-во стандартов, 2008. 12 с.
11. ГОСТ Р 15.011-96. Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения. М.: Изд-во стандартов, 1996. 23 с.
12. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении.

Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. М.: Изд-во стандартов, 2001. 23 с.

13. ГОСТ Р ЕН 13779-2007. Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования. М.: Изд-во стандартов, 2008. 49 с.

14. ГОСТ Р ЕН 1822-1-2009. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха (HEPA и ULPA). М.: Изд-во стандартов, 2009. 15 с.

15. ГОСТ Р ЕН 779-2007. Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение эффективности фильтрации. М.: Изд-во стандартов, 2008. 51 с.

16. ГОСТ Р ИСО 14644-10-2014. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 10. Классификация чистоты поверхностей по концентрации химических загрязнений. М.: Изд-во стандартов, 2014. 36 с.

17. 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. М.: Изд-во стандартов, 2015. 8 с.

18. ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2008. 54 с.

19. ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию. М.: Изд-во стандартов, 2002. 35 с.

20. ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация. М.: Изд-во стандартов, 2005. 36 с.

21. ГОСТ Р ИСО 14644-6-2010. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 6. Термины. М.: Изд-во стандартов, 2008. 24 с.

22. ГОСТ Р ИСО 14644-7-2007. Чистые помещения и связанные с ними

контролируемые среды. Часть 7. Изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини-окружения). М.: Изд-во стандартов, 2007. 40 с.

23. ГОСТ Р ИСО 14644-8-20014. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. Классификация молекулярных загрязнений в воздухе. М.: Изд-во стандартов, 2009. 15 с.

24. ГОСТ Р ИСО 14644-9-2013. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц. М.: Изд-во стандартов, 2014. 24 с.

25. ГОСТ Р ИСО 31000-2009. Менеджмент рисков. Принципы и руководящие указания. М.: Изд-во стандартов, 2009. 23 с.

26. ГОСТ Р ИСО 9000:2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 87 с.

27. ГОСТ Р ИСО 9001:2015. Основные положения и словарь. М.: Стандартинформ, 2015. 92 с.

28. ГОСТ РВ – 0015.002 – 2012. Система разработки и постановки на производство военной техники. Системы менеджмента качества. Общие требования. М.: Стандартинформ, 2012. 42 с.

29. ГОСТ 12.1.044-89 (СТ СЭВ 4831-84, СТ СЭВ 6219-88, МС ИСО 4589, СТ СЭВ 6527-88) Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (утв. постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. N 3683) (с изменениями и дополнениями). М.: Изд-во стандартов, 2001. 112 с.

30. Пат. 1819573 Российская Федерация, МПК А01 G7/00; А01 G9/26. Метод и система для управления микроклиматом в теплице / А.М. Хребтович, В.М. Гарбуз, В.И. Иванов (Россия); Университет. N 2000131736/09; Открытия. Изобретения. 1993. № 21. 3 с.

31. ISO 14644-14. Cleanrooms and associated controlled environments.

Biocontamination control - Part 3: Measurement of the efficiency of processes of cleaning and/or disinfection of inert surfaces bearing biocontaminated wet soiling or biofilms. Geneva: International Organization for Standardization, 2016. 21 с.

32. Аверкин, А.Н. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, А.Ф. Блиншун, Б.В. Силаев, Б.Н. Тарасов. М.: Наука, 1986. 312 с.

33. Алиев, Р.А. Управление производством при нечеткой исходной информации / Р.А. Алиев, А.Э. Церковный, Г.А. Мамедов. М.: Энергоатомиздат, 1991. 240 с.

34. Алиев, Р.А., Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. М.: Радио и связь, 1990. 264 с.

35. Антимиров, В.М. Проектирование аппаратуры систем автоматического управления / В.М. Антимиров. Екатеринбург: Изд-во УФУ им.Б.Н. Ельцина, 2015, 92 с.

36. Барский, А.Г. К теории двумерных и трехмерных систем автоматического регулирования / А.Г. Барский. М.: Логос, 2015, 192 с.

37. Батыршин, И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения / И.З. Батыршин. Казань: Отечество, 2001. 100 с.

38. Богословский, В.Н. Тепловой режим здания / В.Н. Богословский. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.

39. Грошева, Л.П. Принцип составления энергетического (теплового) баланса и тепловые расчеты химико-технологических процессов: учебное пособие / Л.П. Грошева; НовГУ им. Ярослава Мудрого, 2006. 14 с.

40. Егизаров, А.Г. Общая теплотехника, теплоснабжение и вентиляция / А.Г. Егизаров. М.: Стройиздат, 1982. 215 с.

41. Заде, Л. Нечеткая логика: Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде; пер. с англ. А.Г. Подвесецкий, Ю.В. Тюменцев. М.: Мир, 1976. 167 с.

42. Интеграция моделей, методов и инструментов управления

проектами: монография / Ю.А. Антохина, А.Г. Варжапетян, Н. Иняц, А.А. Оводенко, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова. СПб.: Политехника, 2015. 360 с.

43. Иняц, Н. Современная история качества / Н. Иняц; пер. с хорватского Л.Н. Белинькой. М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. 224 с.

44. Исикава К. Японские методы управления качеством / К. Исикава; пер. с англ. А.В. Гличев. М.: Экономика, 1988. 199 с.

45. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов, Е.П. Марков. М.: Наука, 1986. 360 с.

46. Коршунов, Г.И. Управление процессами и инновациями при обеспечении качества приборов и систем / Г.И. Коршунов. Изд-во: ГУАП. 2008. 164 с.

47. Кулаков, С.М. Интеллектуальные системы управления технологическими объектами: теория и практика: Монография / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов. Новокузнецк: СибГИУ, 2009. 223 с.

48. Кьюсака, Э. Искусственный интеллект. Применение в интегрированных производственных системах / Э. Кьюсака: пер. с англ. А.Н. Дащенко, Е.В. Левнера. М.:Машиностроение, 1991. 544 с.

49. Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

50. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов. М.: Наука, 2006. 333 с.

51. Марголин, В.И. Физические основы микроэлектроники / В.И. Марголин, В.А. Жабреев, В.А. Тупик; под ред. Н.В. Лысенко. М.: Академия, 2008. 400 с.

52. Мельников, В.П. Методология адаптивно-ситуационного управления технологической подготовкой производства РЭА с применением экспертных моделей / В.П. Мельников, Т.Ю. Васильева. М.: Буки Веди, 2014.

262 с.

53. Мишин, Г.Т. Современная аналоговая микроэлектроника. Теория и практика / Г.Т. Мишин. М.:Радиотехника, 2007. 208 с.

54. Нефедов, В.И. Основы радиоэлектроники и связи / В.И. Нефедов, А.С. Сигов. М.: Высшая школа, 2009, 735 с.

55. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.

56. Оптимизация программных мероприятий развития оборонно-промышленного комплекса: Монография / А.М. Батьковский, А.В. Фомина, Е.Ю. Байбакова, М.А. Батьковский, С.И. Боков, В.В. Клочков, Г.А. Лавринов, А.Н. Стяжкин, Ю.Ф. Тельнов, В.Я. Трофимец, Е.Ю. Хрусталеv. М.: Тезариус, 2014. 504 с.

57. Пивкин, В.Я. Нечеткие множества в системах управления / В.Я. Пивкин, В.П. Бакулин, Д.И. Кореньков. Новосибирск: изд-во НГУ, 1998. 75 с.

58. Поспелов Д.А. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.

59. Поспелов, Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. / Д.А. Поспелов. М.:Радио и связь, 1989. 184 с.

60. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. М.: Наука, 1986. 288 с.

61. Птускин, А.С. Нечеткие модели и методы в менеджменте / А.С. Птускин. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 216 с.

62. Пьявченко, Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы / Т.А. Пьявченко, В.И. Финаев. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. 271 с.

63. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс; пер. с англ. И.А. Ушакова, М.: Радио и связь, 1991. 224 с.

64. Сканави, А.Н. Конструирование и расчет систем водяного и

воздушного отопления зданий / А.Н. Сканави. М.: Стройиздат, 1983. 304 с.

65. Стратонович, Р.Л. Условные марковские процессы и их применение к теории оптимального управления / Р.Л. Стратонович. М.: изд-во МГУ, 1966. 319 с.

66. Уайт, В. Проектирование чистых помещений / В. Уайта; пер. с англ. О.Ф. Алексашина. М.: Клинрум. 2004. 360 с.

67. Уайт, В. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации / В. Уайт; пер. с англ. О.Ф. Алексашина. М.:Клинрум. 2002. 304 с.

68. Усков, А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления: монография / А.А. Усков; Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ "Российский университет кооперации", 2013. 153 с.

69. Хаякава, И. Чистые помещения / И.Хаякава; пер. с японского В.Г. Ржанов В.Г., В.И. Ушаков В.И. М.: Мир. 1990. 454 с.

70. Колязов, К.А. Система управления энергозатратами для технологических процессов на основе нечетких алгоритмов (на примере автоматизации технологических установок в молочно-консервной промышленности) :автореф. дис. ... канд. техн. наук : 09.12.2010 / Колязов Константин Александрович. Уфа, 2010. 19 с.

71. Пешко, М.С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процессов производства и хранения пищевых продуктов: дис. ... канд. техн.наук : защищена 05.11.2015 : утв. 02.10.2015 / Пешко Михаил Сергеевич. Омск, 2015. 200 с.

72. Алёшкин Н.А., Иванов Д.В. Устойчивое оценивание вектора состояния динамической системы с неточно заданной матрицей наблюдения путем адаптивной формализации априорных ограничений в виде неравенств в условиях интенсивных шумов измерений / Н.А. Алёшкин, Д.В. Иванов // Вопросы радиоэлектроники: серия Общетеχνическая. 2016. Вып. 2. С. 77-82.

73. Алёшкин, Н.А. Автоматическое управление микроклиматом в

производственных помещениях на основе реализации процедур нечеткого регулирования / Н.А. Алёшкин // Изв. вузов: Приборостроение. 2016. Т. 59. № 9. С. 787-789.

74. Алёшкин, Н.А. К вопросу о совершенствовании интеллектуальных технологий аппаратно-программного обеспечения при управлении качеством производства специальной микроэлектроники / Н.А. Алёшкин // Вопросы радиоэлектроники: серия «Радиолокационная техника». 2015. Вып. 4, С. 150-160.

75. Алёшкин, Н.А. Математическая модель поведения параметров состояния динамической системы мониторинга микроклимата в производственном помещении для изготовления микроэлектроники / Н.А. Алёшкин // Проблемы и перспективы современной науки: сб. ст. / ISI-journal. 2016. С. 65-72 .

76. Алёшкин, Н.А. Обеспечение устойчивости динамической системы управления климатом помещений производства изделий бортовой радиоавионики / Н.А. Алёшкин // Современные тенденции в науке, технике, образовании: сб. науч. тр. / ООО «НОВАЛЕНСО». 2016. С.35-38.

77. Алёшкин, Н.А. Определение путей совершенствования климатических динамических систем в производственном процессе изготовления микроэлектроники на основе анализа патентной активности / Н.А. Алёшкин, А.А. Петрушевская // Вопросы радиоэлектроники: серия Общетеchnическая. 2016. Вып. 10. С. 61-67.

78. Алёшкин, Н.А. Пути улучшения качества управления климатическими параметрами в технологическом процессе производства бортовой электроники / Н.А. Алёшкин // Радиолокация и радионавигация. Проектирование и технология производства РЭА: сб. докладов / АО «НПП «Радар ммс». 2016. С.4-7.

79. Алёшкин, Н.А. Разработка математической модели мониторинга параметра запыленности промышленного помещения при производстве микроэлектроники // Теория и практика приоритетных научных

исследований: сб. науч. тр. / ООО «НОВАЛЕНСО». 2016. С.14-16.

80. Алёшкин, Н.А. Совершенствование систем автоматического регулирования климатических параметров технологического процесса при производстве микроэлектроники в условиях возмущений / Н.А. Алёшкин, Е.Г. Семенова // Вопросы радиоэлектроники: серия «Радиолокационная техника». 2016. Вып. 6. С. 57-61.

81. Алёшкин, Н.А. Совершенствование технологий автоматического управления микроклиматом при производстве микроэлектроники на основе синтеза интеллектуальных процедур в условиях непрогнозируемых возмущений / Н.А. Алёшкин // Инновационные направления в науке, технике, образовании: сб. науч. тр. / ООО «НОВАЛЕНСО». 2016. С.79-81.

82. Алёшкин, Н.А., Математическая модель автоматического управления вектором состояния недоопределенной динамической системы на основе принципов нечеткого регулирования / Н.А. Алёшкин, В.М. Балашов, В.Ю. Терещенко // Вопросы радиоэлектроники: серия «Радиолокационная техника». 2015. Вып. 4. С. 160-172.

83. Алёшкин, Н.А. Динамическая модель концентрации пыли для САУ производством микроэлектроники / Н.А. Алёшкин // Изв. вузов: Приборостроение. 2016. Т. 59. № 10. С. 884-887.

84. Алёшкин, Н.А. Роль проведения патентных исследований при разработке системы управления микроклиматом / Н.А. Алёшкин, А.А. Петрушевская // Интеллектуальная собственность. Промышленная собственность. 2016. № 11. С. 61-67.

85. Атапина, Н.В. Сравнительный анализ методов оценки рисков и подходов к организации риск-менеджмента / Н.В. Атапина, В.Н. Кононов // Молодой учёный. Ежемесячный научный журнал. 2013. №5. С. 67-71.

86. Белоглазов, Д. В. Анализ методов устойчивости нечетких систем управления / Д.В. Белоглазов, Е.Ю. Косенко // Известия ЮФУ: Технические науки. 2013. № 2. С. 127-132.

87. Бураков, В.В. Управление качеством программных средств /

В.В. Бураков // Информационно-управляющие системы / ГУАП. 2009. - № 5. С. 43-47.

88. Гайдук, А.Р. Системы автоматического управления. Примеры, анализ и синтез. / А.Р. Гайдук // Изд-во ТРТУ. 2006. № 3. С. 59-65.

89. Газизов, Т.Р. Моделирование реальных процессов с помощью дифференциальных уравнений / Т.Р. Газизов, И.А. Гизетдинов, Ф.А. Ихсанова // В сборнике: Материалы 42-й Международной научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. 2015. С. 375-381.

90. Денисенко, В.В. Протоколы и сети Modbus и Modbus TCP / В.В. Денисенко // Современные технологии автоматизации. 2010. №4. С. 94-98.

91. Морозов, О.Г. Процедура решения задач калибровки совмещенных датчиков давления и температуры / О.Г. Морозов, А.Ж. Сахабутдинов, Д.Ф. Салахов, И.И. Нуреев // Нелинейный мир. 2015. Т. 13. № 8. С. 32-38.

92. Заргарян, Е.В. Многокритериальная задача нечеткой максимизации независимых критериев / Е.В. Заргарян // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 5. С. 117-122.

93. Захаров В.Н. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления / В.Н. Захаров, С.В. Ульянов // Известия РАН: Техническая кибернетика. 1993. №4. С. 189-205.

94. Ицкович, Э.Л. Современные тенденции развития автоматической части систем управления технологическими процессами / Э.Л. Ицкович // Датчики и системы. 2015. № 11. С. 68-76.

95. Коршунов, Г.И. Сокращение времени производственного цикла на основе внедрения методов менеджмента и технологических инноваций / Г.И. Коршунов, С.Л. Поляков. // Информационно-управляющие системы / ГУАП. 2013. №4. С.78-82.

96. Кочетков, С.В. Управление и планирование создания нового хозяйственного механизма / С.В. Кочетков, Е.Г. Семенова, М.С. Смирнова //

Актуальные проблемы экономики и управления. 2014. № 4. С. 48-53.

97. Кулаков, С.М. Разработка интеллектуальной системы автоматического управления тепловым режимом воздухонагревателей / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов // Научный вестник НГТУ им. Алексея. 2008. № 3. С. 3-14.

98. Манцеров, С.А. Развитие систем единой функциональной систематики для хранения данных о техническом состоянии объекта / С.А. Манцеров, А.Ю. Панов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. № 6. С. 235–238.

99. Медведев, А. Каким быть производству российской электроники / А. Медведев // Компоненты и технологии. 2007. № 4. С. 21-29.

100. Медведев, А. Каким быть производству российской электроники / А. Медведев // Компоненты и технологии. 2007. № 5. С. 18-37.

101. Медведев, А. Каким быть производству российской электроники / А. Медведев // Компоненты и технологии. 2007. № 6. С. 9-18.

102. Пешко, М.С. Раскрытая математическая модель микроклимата грибной теплицы / М.С. Пешко // Молодой ученый. 2011. № 9. С. 42-48.

103. Семенов, В.Г. Математическая модель микроклимата теплицы / В.Г. Семенов, Е.Г. Крушель // Известия ВолгГТУ. 2009. № 6. С. 32-35.

104. Семенова, Е.Г. Системный подход при анализе процессов производства прецизионных сложнопрофильных конструкций / Е.Г. Семенова Е.Г., О.И. Васильев // Информационно-управляющие системы. 2014. №1. С.102-107.

105. Соловьев, В.В. Постановка задачи синтеза управления сложной системой в условиях априорной неопределенности / В.В. Соловьев, В.И. Финаев // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. № 5. С. 59-65.

106. Усков, А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой / А.А. Усков // Управление, контроль, диагностика / Приборы и системы. 2004. № 6. С. 7-13.

107. Усков, А.А. Устойчивость систем с блоками нечеткого

логического вывода в объекте управления / А. А. Усков // Управление большими системами: сборник трудов. 2012. Т. 39. С. 155-164.

108. Якунин, А.С. Перспективы развития радиоэлектронной промышленности / А.С. Якунин // Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 4. № 2. С. 5-20.

109. Passino, K.M. Fuzzy control / K.M. Passino. Addison Wesley Publishing Company. 1997. 522 p.

110. Ross, T.J. Fuzzy logic with engineering applications / T.J. Ross. McGraw-Hill. 1995. 600 p.

111. Shtovba, S.D. Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic / S.D. Shtovba. Vinnitsa: Continent-Prim, 2003. 198 p.

112. Caputo, Antonio C. Fuzzy control of heat recovery systems from solid bed cooling / Antonio C. Caputo, Pacifico M. Pelagagge // Applied Thermal Engineering. 2000. Vol. 20. P. 49-67.

113. Dounis, A.I. Design of a fuzzy system for living space thermal-comfort regulation / A.I. Dounis, D.E. Manolakis // Applied Energy. 2001. Vol. 69. P. 119-144.

114. Koucheryavy, A Fuzzy logic and Voronoi diagram using for cluster head selection in ubiquitous sensor networks / A. Koucheryavy, Ya. Al-Naggar // Lecture Notes in Computer Science. 2014. Т. 8638. С. 319-330.

115. Kalman, R.E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems / R. E. Kalman // Journal of Basic Engineering. 1960. Vol. 82. P. 35-45

116. Kalman, R.E. Mathematical Description of Linear Dynamical Systems / R.E. Kalman // SIAM J. Control. Vol. 1. 1963. P. 152-192.

117. Kalman, R.E., Bucy R. S., New Results in Linear Filtering and Prediction Theory / R. E. Kalman, R.S. Bucy // Journal of Basic Engineering. 1961. Vol. 83. P. 95-107.

118. Kuentai, C. Modeling of thermal comfort in air conditioned rooms by fuzzy regression analysis / C. Kuentai, M.J. Rys, E.S. Lee // Mathematical and Computer Modelling. 2006. Vol. 43. P. 809-819.

119. Mamdani, E.H. Application of Fuzzy Algorithm for Control of Simple Dynamic Plant / Mamdani, E.H. // Proc. IEEE. 1974. Vol. 121. № 12. P. 1585–1588.
120. Saridis, G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines / G.N. Saridis // Automatics. 1989. Vol. 25, № 3. P. 157-180.
121. Soyguder, S. Design and simulation of self-tuning PID-type fuzzy adaptive control for an expert HVAC system / S. Soyguder, M. Karakose, H. Alli // Expert Systems with Applications. 2009. Vol. 36. P. 4566-4573.
122. Morozov, O.G. Calibration of combined pressure and temperature sensors / O.G. Morozov , A.Z. Sahabutdinov, A.Z. Kuznetsov, I.I. Nureev, L.M. Faskhutdinov, A.V. Petrov, S.M. Kuchev // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. T. 10. № 24. C. 44948-44957.
123. Tianyi, Z. Experimental study on a duty ratio fuzzy control method for fan- coil units / Z. Tianyi, Z. Jili, S. Dexing // Building and Environment. 2011. Vol. 46. P. 527-534.
124. Touati, F.A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar / F. Touati, M. Al-Hitmi, K. Benhmed, R. Tabish // Computers and Electronics in Agriculture. 2013. Vol. 98. P. 233-241.
125. Touati, F.A fuzzy logic based irrigation system enhanced with wireless data logging applied to the state of Qatar / F. Touati, M. Al-Hitmi, K. Benhmed, R. Tabish // Computers and Electronics in Agriculture. 2013. Vol. 98. P. 233-241.
126. Зайцев А.И. Применение нечетких систем управления в электроприводах, URL: [www.electro.nizniy.ru// papers/4/00407.html](http://www.electro.nizniy.ru//papers/4/00407.html).
127. Орлов А.И. Теория экспертных оценок в нашей стране, URL: www.ej.kubagro/2013/pdf.

Приложение А**Требования к чистым производственным помещениям при изготовлении микроэлектроники****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 стеллажи 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 бликующими материалами, 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 кубометров на 1 м² площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

Кратность воздухообмена определяется расчетным путем с учетом тепловой нагрузки, наличия вытяжек, класса чистоты, численности персонала, типа одежды с учетом эмиссии частиц, требуемого перепада давления и др. Здесь приведены ориентировочные значения объема подаваемого воздуха на 1 м² площади в 1 ч при высоте помещения 3,0 м.

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 бликующими 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 кубометров на 1 м² 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%.

3.3.6. Требования к воде для охлаждения теплообменника в установке экспонирования PrintProcessExromat АЕХ-II Н:

3.3.6.1. Температура поступающей воды — +8 °С.

3.3.6.2. Ориентировочный расход воды — 1,5 м³/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 кубометров на 1 м² 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 при возможных проливах 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 эмалевой краской.

5.3.2. Требования к классу чистоты помещения: общие санитарно-гигиенические требования.

5.3.3. Требования к температурному режиму: 21 ±5 °С.

5.3.4. Требования к режиму влажности: 65 ±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 при возможных проливах 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 эмалевой краской. 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 кубометров на 1 м² площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

6.3.3. Требования к температурному режиму: 21 ±5 °С.

6.3.4. Требования к режиму влажности: 65 ±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 склепывания 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 кубометров на 1 м² площади помещения

(уточняется по результатам тепловых расчетов).

7.3.4. Требования к температурному режиму: 21 ± 5 °С.

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 кубометров на 1 м² площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

8.3.4. Требования к температурному режиму: 21 ± 5 °С.

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 (AOI), 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 (ампервольтметры (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 кубометров на 1 м² площади помещения (уточняется по результатам тепловых расчетов).

10.3.3. Требования к температурному режиму: 21 ±5 °С.

10.3.4. Требования к режиму влажности: 50 ±5%.

11. Склад материалов и химикатов

11.1. Наименование операций: отдельное хранение кислых, 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 при возможных проливах 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 эмалевой краской. Температура: 15–25 °С. Требования к режиму влажности: 65 ±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: 15–25 °С. Требования к режиму влажности: 65 ±15% [99-101].

Нормативная документация для проектирования ЧПП

Условное обозначение	Наименование документа
СНиП 31-06-2009	«Общественные здания и сооружения»
ГОСТ 30244-94	«Материалы строительные. Методы испытания на горючесть»
ГОСТ 30247.1-94	«Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость»
СНиП 21-01-97	«Пожарная безопасность зданий и сооружений»
ГОСТ 12.1.044-89	«Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»
ГОСТ Р ЕН 13779-2007	«Вентиляция в нежилых зданиях. Технические требования к системам вентиляции и кондиционирования»
ГОСТ Р ЕН 13779-2007	«Фильтры очистки воздуха общего назначения. Определение эффективности фильтрации»
ГОСТ Р ЕН 1822-1,2,3	«Высокоэффективные фильтры очистки воздуха HEPA и ULPA»
ГОСТ ИСО 14644-1-2002	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха»
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»
ГОСТ Р ИСО 14644-3-2007	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний»

ГОСТ Р ИСО 14644-4-2002	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 4. Проектирование, строительство и ввод в эксплуатацию»
ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация»
ГОСТ Р ИСО 14644-6-2010	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 6. Термины»
ГОСТ Р ИСО 14644-7-2007	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 7. Изолирующие устройства (укрытия с чистым воздухом, боксы перчаточные, изоляторы и мини-окружения)»
ГОСТ Р ИСО 14644-8-2014	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 8. Классификация чистоты воздуха по концентрации химических загрязнений»
ГОСТ Р ИСО 14644-9-2013	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 9. Классификация чистоты поверхностей по концентрации частиц»
ГОСТ Р ИСО 14644-10-2014	«Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 10. Классификация чистоты поверхностей по концентрации химических загрязнений»
ГОСТ Р ИСО 14698 - 1	«Контроль биологического загрязнения — основные принципы и методы»
ГОСТ Р ИСО 14698 – 2	«Контроль биологического загрязнения — оценка и интерпретация данных биологического загрязнения»
СНиП 23-05-95	«Естественное и искусственное освещение»

Методика анализа достоверности оценок эксперта

$$R = \frac{N_c}{N} \times 100, \quad (1.1)$$

где N_c – число случаев, в которых эксперт, встретившись с несколькими альтернативными гипотезами, приписал наибольшую вероятность той, которая подтвердилась;

N – общее число случаев, когда эксперт производил оценку.

Относительная надежность эксперта рассчитывается по формуле:

$$\frac{R}{R_c} \times 100, \quad (1.2)$$

где R – степень надежности (абсолютная) данного эксперта;

R_c – средняя степень надежности, рассчитанная для некоторой группы экспертов.

Необходимо учитывать, что в связи с субъективностью выносимого экспертами решения необходима проверка их согласованности. Степень согласованности мнений экспертов можно выявить на основе коэффициента конкордации:

$$W = \frac{12 \times S}{m^2 (n^3 - n)}. \quad (1.3)$$

где S – сумма квадратов отклонений суммы рангов каждого объекта от средней суммы рангов;

m – количество порядковых переменных;

n – объем выборки.

Коэффициент конкордации принимает значения от 0 до 1. Он равен 1 при максимальной согласованности и равен 0 при максимальной несогласованности.

Если $W < 0.2-0.4$, значит согласованность экспертов слабая, если $W > 0.6-0.8$, то согласованность экспертов сильная.

Слабая согласованность обычно является следствием следующих причин:

- в группе экспертов отсутствует общность мнений;
- внутри группы существуют коалиции с высокой согласованностью мнений, однако, обобщенные мнения коалиций противоположны.

S можно найти по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m R_{ij} \right)^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m R_{ij} \right)^2}{n}, \quad (1.4)$$

где $R_{ij} \in \{1, \dots, n\}$ – ранг i -го элемента в X_j выборке.

Также можно оценить значимость коэффициента конкордации по критерию χ^2 - квадрат:

$$\chi^2 = \frac{12 \times S}{m \times n \times (n+1)}, \quad (1.5)$$

Если $\chi_{расч}^2 > \chi_{табл}^2$, то можно утверждать, что при уровне доверительной вероятности $P=1-a$ имеется неслучайная согласованность мнений экспертов по ранжировке объектов.

Табличное значение критерия Пирсона определяется по таблицам квантилей χ^2 – распределения в столбце, соответствующем уровню достоверности $a=1-P$, в строке, соответствующей числу степеней свободы $\nu=m-1$ (количество оцениваемых объектов без одного).

Табличное значение $\chi_{табл}^2$ находят по таблице распределения χ^2 с заданной вероятностью и числом степеней свободы, равным $n-1$.

Если $\chi_{расч}^2 > \chi_{табл}^2$, то гипотеза об отсутствии связи отклоняется на уровне значимости a .

Листинг подпрограммы Matlab

```

clc
close all
clear all

[data]=dlmread('tabldis0'); %Загружаем точки 0 гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on
hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

p = polyfit(x,y,7); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'--k')

[data]=dlmread('tabldis'); %Загружаем точки гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on
hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

p = polyfit(x,y,6); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'--k')

%Загружаем точки второй гистограммы
[data]=dlmread('tabldis1'); %Загружаем точки гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on
hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

```

```

p = polyfit(x,y,6); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'--k')

%Загружаем точки 3 гистограммы
[data]=dlmread('tabldis2'); %Загружаем точки гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on
hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

p = polyfit(x,y,6); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'--k')

%Загружаем точки 3 гистограммы
[data]=dlmread('tabldis3'); %Загружаем точки гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on
hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

p = polyfit(x,y,6); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'--k')

%Загружаем точки 4 гистограммы
[data]=dlmread('tabldis4'); %Загружаем точки гистограммы

x=data(:,1);
y=data(:,2);

figure(2) % рисуем их
grid on

```

```

hold on
plot(x,y,'o','MarkerFaceColor',[0.5,0.5,0.5])

p = polyfit(x,y,7); % вычисляем коэффициенты полинома заданной степени

x1 = linspace(x(1), x(end),100); % разбиваем отрезок на 100 частей от первого до
последнего значения
y1 = polyval(p,x1); % аппроксимируем полиномом
plot(x1,y1,'-k')

```

```
disp('коэф полинома равны')
```

```

p
 1
 2  20.0,0.1
 3  20.2,0.16
 4  20.4,0.33
 5  20.6,.5
 6  20.8,1
 7  21,1,
 8  21.2,1
 9  21.4,.5
10  21.6,0.33
11  21.8,0.16
12  22,0.1
13  |

```

Листинг программы Fuzzy Logic Climate Control

```

[System]
Name='fuzzysau'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=5
NumOutputs=3
NumRules=158
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'

[Input1]
Name='Tempreture'
Range=[18 24]
NumMFs=6
MF1='Z':'trimf',[19.02 20.02 21.02]
MF2='SN':'trimf',[18 19 20]

```

MF3='SP':'trimf',[20.02 21.02 22.02]
 MF4='P':'trimf',[21 22 23]
 MF5='N':'trimf',[17 18 19]
 MF6='BP':'trimf',[22 23 24]

[Input2]
 Name='Moisture'
 Range=[45 75]
 NumMFs=4
 MF1='SP':'trimf',[70 75 80]
 MF2='SN':'trimf',[53 60 67]
 MF3='Z':'trimf',[60 67 75]
 MF4='N':'trimf',[45 53 60]

[Input3]
 Name='Dust'
 Range=[500 800]
 NumMFs=3
 MF1='Z':'trimf',[500 570 620]
 MF2='SP':'trimf',[570 620 690]
 MF3='P':'trimf',[650 730 800]

[Input4]
 Name='Tout'
 Range=[0 30]
 NumMFs=5
 MF1='bn':'trimf',[-5 0 10]
 MF2='z':'trimf',[10 20 25]
 MF3='bp':'trimf',[25 30 35]
 MF4='n':'trimf',[0 10 20]
 MF5='p':'trimf',[20 25 30]

[Input5]
 Name='Duout'
 Range=[900 1300]
 NumMFs=5
 MF1='z':'trimf',[900 950 1000]
 MF2='sp':'trimf',[1000 1050 1116.40211640212]
 MF3='p':'trimf',[1050 1100 1185.18518518519]
 MF4='bp':'trimf',[1150 1200 1300]
 MF5='sp1':'trimf',[950 1000 1050]

[Output1]
 Name='Condition'

```

Range=[-1 1]
NumMFs=3
MF1='Close':'trimf',[-1 -1 -1]
MF2='Stop':'trimf',[0 0 0]
MF3='Open':'trimf',[1 1 1]

```

```

[Output2]
Name='Steam'
Range=[-1 1]
NumMFs=3
MF1='Close':'trimf',[-1 -1 -1]
MF2='Stop':'trimf',[0 0 0]
MF3='Open':'trimf',[1 1 1]

```

```

[Output3]
Name='Fan'
Range=[-1 1]
NumMFs=3
MF1='Close':'trimf',[-1 -1 -1]
MF2='Stop':'trimf',[0 0 0]
MF3='Open':'trimf',[1 1 1]

```

```

[Rules]

```

```

5 0 0 2 0, 3 0 0 (1) : 1      5 4 1 5 3, 2 3 3 (1) : 1      6 4 1 2 1, 3 3 2 (1) : 1
2 0 0 2 0, 3 0 0 (1) : 1      5 4 2 5 3, 2 3 3 (1) : 1      4 0 2 2 1, 3 0 1 (1) : 1
1 0 0 2 0, 3 0 0 (1) : 1      2 2 2 3 3, 2 2 3 (1) : 1      4 3 1 3 1, 3 3 2 (1) : 1
3 0 0 2 0, 2 0 0 (1) : 1      2 2 2 3 3, 3 3 3 (1) : 1      4 3 0 3 0, 3 2 3 (1) : 1
4 0 0 2 0, 1 0 0 (1) : 1      4 3 2 3 3, 3 2 3 (1) : 1      4 1 0 3 0, 3 3 3 (1) : 1
6 0 0 2 0, 1 0 0 (1) : 1      4 1 3 5 3, 3 3 3 (1) : 1      1 3 0 3 0, 2 3 2 (1) : 1
0 4 0 2 0, 0 3 0 (1) : 1      6 1 2 3 3, 3 3 3 (1) : 1      1 3 0 3 0, 2 3 1 (1) : 1
0 2 0 2 0, 0 2 0 (1) : 1      4 3 2 5 3, 3 2 3 (1) : 1      0 0 1 0 3, 0 2 0 (1) : 1
0 1 0 2 0, 0 1 0 (1) : 1      4 3 2 3 3, 3 2 3 (1) : 1      0 0 2 0 3, 0 3 0 (1) : 1
0 3 0 2 0, 0 1 0 (1) : 1      1 3 2 2 3, 2 2 3 (1) : 1      0 0 3 0 3, 0 0 3 (1) : 1
0 0 1 2 1, 0 0 1 (1) : 1      1 4 2 2 3, 2 1 3 (1) : 1      0 0 2 0 2, 0 3 0 (1) : 1
0 0 2 2 1, 0 0 1 (1) : 1      1 1 0 1 0, 1 2 0 (1) : 1      4 0 2 2 3, 3 0 3 (1) : 1
0 0 2 2 1, 0 0 3 (1) : 1      1 2 0 1 0, 1 3 0 (1) : 1      4 0 2 2 2, 3 0 3 (1) : 1
0 0 1 2 1, 0 0 3 (1) : 1      1 3 0 1 0, 2 2 0 (1) : 1      4 0 2 1 2, 3 0 2 (1) : 1
0 0 2 2 3, 0 0 3 (1) : 1      1 4 0 1 0, 2 3 0 (1) : 1      4 0 1 1 3, 3 0 2 (1) : 1
0 0 2 2 1, 0 0 3 (1) : 1      4 4 0 3 0, 3 3 0 (1) : 1      1 0 1 2 2, 2 0 1 (1) : 1
0 0 3 2 3, 0 0 3 (1) : 1      4 4 0 4 0, 3 3 0 (1) : 1      1 0 1 2 1, 2 0 1 (1) : 1
0 0 2 2 2, 0 0 3 (1) : 1      4 4 0 2 0, 3 3 0 (1) : 1      1 0 1 2 3, 2 0 3 (1) : 1
0 0 1 2 1, 0 0 1 (1) : 1      4 4 0 5 0, 3 3 0 (1) : 1      1 0 2 2 1, 2 0 3 (1) : 1
5 0 0 4 0, 3 0 0 (1) : 1      5 3 0 2 0, 3 2 0 (1) : 1      0 2 3 4 4, 0 3 3 (1) : 1

```

20040,300(1):1	52020,320(1):1	02345,033(1):1
10040,200(1):1	61020,310(1):1	02343,033(1):1
30040,100(1):1	62020,310(1):1	02342,032(1):1
40040,100(1):1	64020,330(1):1	00201,001(1):1
60040,100(1):1	01121,111(1):1	00202,002(1):1
04040,030(1):1	01323,113(1):1	00203,003(1):1
03040,030(1):1	01223,113(1):1	00204,003(1):1
01040,030(1):1	01222,113(1):1	00205,002(1):1
00140,001(1):1	03222,133(1):1	00101,001(1):1
00141,001(1):1	04222,133(1):1	00101,002(1):1
00241,001(1):1	01321,123(1):1	00102,002(1):1
00242,001(1):1	61321,323(1):1	00103,002(1):1
00142,002(1):1	51321,123(1):1	00104,003(1):1
00143,002(1):1	41321,323(1):1	00105,003(1):1
00241,003(1):1	21321,123(1):1	00110,001(1):1
00243,003(1):1	44321,333(1):1	00210,003(1):1
00342,003(1):1	00101,321(1):1	00110,002(1):1
00343,003(1):1	00102,323(1):1	00110,003(1):1
50010,300(1):1	00103,323(1):1	13121,113(1):1
20010,200(1):1	00301,323(1):1	13121,111(1):1
10010,100(1):1	00201,322(1):1	23121,211(1):1
30010,100(1):1	00203,323(1):1	33121,311(1):1
40010,100(1):1	00302,023(1):1	43121,311(1):1
60010,100(1):1	00303,023(1):1	51353,333(1):1
04010,030(1):1	00302,323(1):1	51352,333(1):1
02010,030(1):1	03301,013(1):1	51342,333(1):1
03010,030(1):1	04301,023(1):1	51332,333(1):1
01010,010(1):1	02102,021(1):1	51321,333(1):1
54321,223(1):1	20323,203(1):1	22221,323(1):1
44221,323(1):1	20333,203(1):1	64221,333(1):1
31233,333(1):1	20332,203(1):1	20131,202(1):1
64321,333(1):1	20231,203(1):1	20132,202(1):1
	20133,201(1):1	20133,202(1):1

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № - от

Наш № 2016Э10815

*При переписке следует ссылаться на наш №
и сообщать дату получения
настоящей корреспонденции от 13.10.2016*

190000,
Санкт-Петербург,
ул. Казанская, 41, кв. 6,
Алёшкину Н.А.



**У В Е Д О М Л Е Н И Е
о государственной регистрации**

Ставим Вас в известность о том, что база данных: База данных состояний климатической динамической системы в технологическом процессе производства микроэлектроники

(21) по заявке № 2016621126/69

(22) Дата поступления заявки 17.08.2016

(71) Заявитель(и) Алёшкин Никита Андреевич (RU)

внесена в Реестр баз данных, регистрационный № 2016621383 от 13.10.2016

Приложение: свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

При оформлении последующих заявок на регистрацию просим учесть, что с 18.07.2016 г. действуют новые "Правила оформления заявки на государственную регистрацию ПрЭВМ или БД", "Правила составления документов, являющихся основанием для осуществления юридически значимых действий по государственной регистрации ПрЭВМ или БД, и их формы", "Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации ПрЭВМ или БД и выдаче свидетельств о государственной регистрации ПрЭВМ или БД, их дубликатов".

С указанными, а также иными нормативными документами можно ознакомиться на сайте Роспатента и ФИПС: www.rupto.ru и www.fips.ru.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сведения о сертификате ЭП

Сертификат: 2E9B6857000200000F94

Владелец: Кирий Любовь Леонидовна

Срок действия с 07.06.2016 по 01.04.2030

Заместитель руководителя

Кирий Л.Л.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2016621383

**База данных состояний климатической динамической
системы в технологическом процессе производства
микроэлектроники**

Правообладатель: *Алёшкин Никита Андреевич (RU)*

Автор: *Алёшкин Никита Андреевич (RU)*

Заявка № 2016621126

Дата поступления 17 августа 2016 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 13 октября 2016 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев Г.П. Ивлиев



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № - от

Наш № 2016Э10811

*При переписке следует ссылаться на наш №
и сообщать дату получения
настоящей корреспонденции от 13.10.2016*

190000,
Санкт-Петербург,
ул. Казанская, 41, кв. 6,
Алёшкину Н.А.



**У В Е Д О М Л Е Н И Е
о государственной регистрации**

Ставим Вас в известность о том, что база данных: База данных параметров математической модели системы автоматического управления микроклиматом на основе комплексирования процедур нечеткой логики и рекуррентного оценивания

(21) по заявке № 2016621136/69

(22) Дата поступления заявки 17.08.2016

(71) Заявитель(и) Алёшкин Никита Андреевич (RU)

внесена в Реестр баз данных, регистрационный № 2016621384 от 13.10.2016

Приложение: свидетельство о государственной регистрации на 1 л. в 1 экз.

При оформлении последующих заявок на регистрацию просим учесть, что с 18.07.2016 г. действуют новые "Правила оформления заявки на государственную регистрацию ПрЭВМ или БД", "Правила составления документов, являющихся основанием для осуществления юридически значимых действий по государственной регистрации ПрЭВМ или БД, и их формы", "Административный регламент предоставления Федеральной службой по интеллектуальной собственности государственной услуги по государственной регистрации ПрЭВМ или БД и выдаче свидетельств о государственной регистрации ПрЭВМ или БД, их дубликатов".

С указанными, а также иными нормативными документами можно ознакомиться на сайте Роспатента и ФИПС: www.rupto.ru и www.fips.ru.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сведения о сертификате ЭП

Сертификат: 2E9B6857000200000F94

Владелец: Кирий Любовь Леонидовна

Срок действия с 07.06.2016 по 01.04.2030

Заместитель руководителя

Кирий Л.Л.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации базы данных

№ 2016621384

**База данных параметров математической модели системы
автоматического управления микроклиматом на основе
комплексирования процедур нечеткой логики и
рекуррентного оценивания**

Правообладатель: *Алёшкин Никита Андреевич (RU)*Автор: *Алёшкин Никита Андреевич (RU)*

Заявка № 2016621136

Дата поступления 17 августа 2016 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре баз данных 13 октября 2016 г.Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности Г.П. Ивлиев