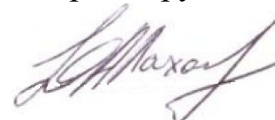


**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**
**«Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»**

Экз. ____

На правах рукописи



ЛАХОВ Юрий Александрович

**Методика и средства мониторинга электроинфраструктуры
предприятия изготовления микроэлектроники**

Специальность 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и
приборостроение)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
Доктор экономических наук, доцент
А.В. Фомина

Санкт-Петербург – 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ ААИС	
12	
1.1. Общая характеристика электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в концепции ААИС	12
1.2 Особенности функционирования системы мониторинга электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС	25
1.3 Анализ систем мониторинга и управления электроинфраструктурой предприятия производства микроэлектроники	32
1.4. Анализ нормативной базы концепции ААИС (Smart Grid)	36
1.5. Анализ приборной базы в процессах мониторинга электроинфраструктуры изготовления микроэлектроники	44
1.6 Обоснование направлений повышения результативности ЭИС МЭП путем применения средств мониторинга электрических показателей	54
1.7 Результаты и выводы по разделу 1	57
РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА В ПОВЫШЕНИИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРО- ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРО- ЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ ААИС	
59	
2.1 Особенности мониторинга элементов электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС	59
2.2 Разработка математической модели системы мониторинга электрических параметров элемента энергокластера ЭИС МЭП	62
2.3 Разработка математической модели процесса мониторинга состояния элемента энергокластера на основе параметрического диагностирования	66

Выбор типа карт для контроля рассеяния.....	73
Алгоритм расчета.....	74
2.4 Разработка методики мониторинга элемента энергокластера ЭИС МЭП с параметрическим диагностированием на основе факторного анализа	79
2.5 Результаты и выводы по разделу 2	90
3. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ	92
3.1 Разработка методики статистического управления процессом функционирования ЭИСП изготовления микроэлектроники.....	92
3.2 Разработка алгоритма моделирования ЭИС МЭП в концепции ААИС.....	97
3.3 Разработка модели функционирования ЭИС МЭП и ее реализация в ПО Statistica и ПО FuzzyTech.....	104
3.4 Анализ показателей функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП на основе статистического моделирования	125
3.5 Результаты и выводы по разделу 3	128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	132
СПИСОК ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ	147
ПРИЛОЖЕНИЕ А	158
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	160
ПРИЛОЖЕНИЕ В	165

ВВЕДЕНИЕ

Эволюционный технический рост радиоэлектронных устройств, условия импортозамещения и постоянно возрастающие требования к качеству продукции отечественной микроэлектроники определяют постановку задачи повышения результативности функционирования электроинфраструктур микроэлектронных предприятий (ЭИС МЭП) в условиях информационно-технического развития концепции активно - адаптивных интеллектуальных сетей.

Следует отметить, что мониторинг и управление процессом производства микроэлектроники реализуется в условиях неопределенности состояния элементов энергокластеров электроинфраструктуры, неполного объема измерительной информации и т.п.

В этих условиях основополагающее значение при управлении производства изделий микроэлектроники приобретает статистическая информация качественного характера в виде данных, получаемая от цифровой измерительной приборной базы системы мониторинга ЭИС МЭП.

Использование статистических методов обработки информации в модели мониторинга и управления ЭИС МЭП позволяет учитывать множество сложных внешних и внутренних взаимосвязей исследуемой электроинфраструктуры производства микроэлектроники. Развитие индустрии микроэлектроники, соответственно, определяет рост зависимости качества изделий от эффективности функционирования элементов ЭИС МЭП, что требует расширения номенклатуры параметров контроля и характеристик показателей функционирования элементов, подлежащих мониторингу и регулированию.

Применение инновационной концепции активно-адаптивной интеллектуальной электроинфраструктуры позволяет в процессе производства микроэлектроники минимизировать отклонения от нормального режима

работы, предикативно определять отказы и аварийные ситуации всех элементов различных типов энергокластеров ЭИС МЭП.

Процесс производства микроэлектроники формируется совместно со всей электроинфраструктурой в составе: систем кондиционирования и вентиляции, систем освещения, систем электрообогрева и т.д. При этом присутствует вариабельность показателей функционирования элементов внешних и внутренних возмущений (изменение температуры и относительной влажности воздуха, изменение нагрузки элементов, изменения режимов работы и т.д.).

Именно поэтому анализ причин отклонения и нарушения эффективного функционирования элементов энергокластеров и выработка решений по устранению или минимизации негативного влияния таких возмущений, представляет как научный, так и практический интерес при проектировании ЭИС производства микроэлектроники в условиях концепции ААИС.

Таким образом, актуальной является научная задача повышения результативности производства микроэлектроники путем разработки методики мониторинга и алгоритма управления электроинфраструктурой на основе статистических методов, соответствующих тенденциям развития концепции активно - адаптивной интеллектуальной сети.

Содержание методики и алгоритма управления ЭИСП включает в себя математическую модель функционирования в соответствии с технологией производства микроэлектроники, которая поддерживает электрические параметры элемента в определенных заданных границах.

В настоящее время нереализованным резервом в производстве микроэлектроники и повышении результативности функционирования ЭИС представляется результативное совершенствование технологий мониторинга и управления процессов производства на основе активно-адаптивных интеллектуальных систем в условиях не прогнозируемых возмущений.

Актуальность исследования существующих и создание перспективных средств мониторинга элементов электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники подтверждается Госпрограммой РФ «Развитие

радиопромышленности 2013 - 2025 годы», утвержденной распоряжением Правительства РФ от 15 декабря 2012 года № 2396-р, а также «Энергетической стратегией России на период до 2035 года», в которой основополагающим направлением обозначена реализация активно-адаптивных интеллектуальных сетей (ААИС).

Степень научной разработанности темы.

Вопросы организации производства получили развитие в работах К. Адамецкого, А.А. Богданова, О.А. Ерманского, А.К. Гастева, в том числе в отрасли приборостроения и радиоэлектроники – в работах Е.Г. Семеновой, Г.И. Коршунова, А.В. Фоминой и других российских ученых. Вопросы разработки и интеграции активно - адаптивных интеллектуальных сетей (ААИС) отражены в трудах В.В. Дорофеева, Б.Б. Кобец, И.О. Волковой и других ученых. Вопросам применения статистических методов анализа и управления в технологических процессах различных отраслей производства посвящены работы А.Н. Колмогорова, Б.В. Гнеденко, В.Н. Клячкина, А.А. Халафяна, В.В. Рыбалко и др., а также зарубежных ученых К. Пирсона, К. Госсета (Стюдента), Р.А. Фишера, Г. Хотеллинга. Вопросы организации производства также получили развитие в работах зарубежных ученых Ф. Тейлора, Х. Эмерсона, Г. Ганта, Х. Ф. Доджа, Х. Дж. Роминга и У. Шухарта.

В выполненных исследованиях недостаточное внимание уделено теоретическим вопросам мониторинга и управления процессами функционирования ЭИС МЭП, развитию научных, методологических и системотехнических основ организации производственного процесса, совершенствованию математических моделей и методик контроля параметров электроснабжения в технологии производства, разработке критериев и методик мониторинга.

Все вышесказанное определяет актуальность темы исследования, поставленные задачи, сформированную цель, предмет и объект исследования.

Цель диссертационного исследования - повышение результативности работы электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники с

применением статистических методов мониторинга показателей приборной базы энергокластеров в условиях концепции активно - адаптивной интеллектуальной сети.

Исходя из обозначенной цели, в работе были определены и решены следующие **научные задачи**:

- совершенствование научных и системотехнических основ организации устойчивого адаптивного управления параметрами работы электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях инновационной технологии ААИС;
- разработка математической модели ЭИС МЭП с учетом внутренних и внешних возмущающих факторов;
- разработка методики статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных приборной измерительной базы;
- разработка алгоритма и средств мониторинга ЭИС МЭП в условиях ААИС;

Предмет исследования - модели, методы и алгоритмы статистического мониторинга работы электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях инновационной технологии ААИС.

Объект исследования - процесс влияния различного рода возмущений на функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях инновационной технологии ААИС.

Методологической и теоретической базой исследования являются научные исследования отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, результаты внедрения инновационной концепции и статистических методов мониторинга и теории управления производственно-технологическими системами и комплексами.

Методологическую основу составляют: системный анализ, логический и сравнительный анализ, методы наблюдения, количественного оценивания, аналитические, статистические и прогностические методы.

Информационной основой исследовательской работы являются, научно-методические, научно-исследовательских материалы институтов и организаций, образовательных учреждений, научные и периодические издания.

Тематика работы соответствует областям исследования п.п. 4, 5, 10, 11 паспорта специальности 05.02.22 - «Организация производства».

На защиту выносятся следующие результаты исследования:

- математическая модель функционирования ЭИС МЭП с учетом внутренних и внешних возмущающих факторов;
- методика статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных приборной измерительной базы;
- модель управления и наблюдения за электроинфраструктурой МЭП в условиях инновационной технологии ААИС;
- рекомендации по модернизации ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС для обеспечения заданных характеристик качества и надежности энергопотребления.

Научной новизной обладают следующие результаты исследования:

- математическая модель функционирования ЭИС МЭП с учетом внутренних и внешних возмущающих факторов, обеспечивающая учет основных векторов состояний, измерений и управляющих воздействий;
- принципы построения системы мониторинга ЭИС МЭП, отличающиеся использованием декомпозиции структуры ЭИС МЭП для определения границ и точек мониторинга элементов при необходимом спектре контролируемых параметров;
- методика статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных от приборной измерительной базы, отличающаяся от известных применением параметрического диагностирования на основе факторного анализа с последующим предиктивным управляющим воздействием;
- модель процесса наблюдения за ЭИС МЭП в условиях технологии ААИС, учитывающая все подпроцессы сбора, передачи, обработки и прогнозирования информационных данных.

Практической значимостью обладают:

- научно-методический аппарат моделирования процессов функционирования ЭИС МЭП с учетом требований концепции ААИС, позволяет совместно с теоретическими расчетами регулировать подачу ЭЭ в зависимости от снижения или увеличения режима энергопотребления элемента энергокластера;
- методика статистического мониторинга и управления ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, позволяет в автоматическом режиме диагностировать и предиктивно демпфировать возникающие отказы и аварии;
- методика и алгоритмы мониторинга ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, позволяют снизить потребление ЭЭ чистыми помещениями без снижения заданных классов чистоты при производстве изделий микроэлектроники;
- рекомендации по совершенствованию систем мониторинга и управления ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, могут быть использованы в электроинфраструктурах предприятий различных промышленных отраслей.

Апробация работы: Основные результаты исследования обсуждались и докладывались на конференция и симпозиумах, а именно: 67-ой научно-технической конференции ГУАП (Санкт-Петербург, 2014г.), научно – технической конференции АО «НПП Радар ММС» (Санкт-Петербург, 2014г.), Международной молодежной научной конференции «Прикладные научные исследования: мультидисциплинарный подход» (Самара, 2014г.), V Всероссийской конференции "Молодежная наука в развитии регионов" (Березники, 2015г.), III Международной научной конференции «Технические науки: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2015г.), VIII Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы науки, технологии и производства» (Санкт-Петербург, 2015г.), XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (Рязань, 2015г.), Всероссийском конкурсе инновационных проектов и

разработок в сфере умной энергетики «Энергопрорыв-2015», (организован ФСК ЕЭС, Фондом «Сколково» и Агентством Стратегических Инициатив, 2015г.), Международной научно-практической конференции «Современные тенденции в науке, технике, образовании» (Смоленск, 2016г.), Международной научно-практической конференции «Новая наука: Теоретический и практический взгляд» (Нижний Новгород, 2016г.), XV Международной научно-практической конференции «Управление качеством» (2016г., Москва, МАИ), XXI международном симпозиуме «Надежность и качество» (2016г., Пенза), в научном журнале «Молодой ученый» №18 (122) 2016г., VI Международной научно-технической конференции World Science: Problems and Innovations, (Пенза, 2016г.), IV Международной научной конференции «Актуальные вопросы технических наук» (Краснодар, 2017г.), Международной научно-практической конференции «Современное научное знание: теория, методология, практика» (Смоленск, 2017г.), XXXV Международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (Новосибирск, 2017г.), Международной научно-практической конференции «Научные достижения и открытия современной молодежи» (Пенза, 2017г.), на XIV Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: Актуальные проблемы науки и практики», АПНП-2017 (Тольятти, апрель 2017г.).

Публикации: по результатам диссертационных исследований опубликовано 30 статей, в том числе 7 в ведущих рецензируемых научных изданиях.

Внедрение результатов исследования: внедрение основных научных результатов диссертационной работы, подтверждено актами об использовании АО «Научно-исследовательский институт микроэлектронной аппаратуры «Прогресс», АО «Научно-производственное предприятие «Радар ммс», ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Структура диссертационной работы: диссертация имеет следующее содержание: введение, 3 раздела, заключение, список литературы из 138 наименований, трех Приложений. Текст диссертации изложен на 169 страницах, содержит 34 рисунка и 9 таблиц.

РАЗДЕЛ 1. ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ ААИС

1.1. Общая характеристика электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в концепции ААИС

В настоящее время в мире активно разрабатываются, проходят опробование и внедряются отдельные технологии «умных сетей». Активно - Адаптивная Интеллектуальная Сеть – концептуальная технология инновационной «трансформации» существующей электроинфраструктуры на основе полной интеграции системы с обеспечением всех требований, принципов и способов реализации и необходимой технологической базы для ее инициализации. Рассмотрим ААИС как концепцию интеллектуальной, эффективной, надежной электроинфраструктуры, включающей в себя все основные направления развития типов энергокластеров: генерацию, трансформацию, распределение, передачу и потребление электрической энергии. В России также существуют определенные инициативы в области концепции ААИС. Во многих странах электроинфраструктуры предприятий (ЭИСП) различных промышленных секторов проходят период реформирования и модернизации к условиям функционирования новой концепции развития ААИС (Smart Grid). Происходящие процессы трансформации, модернизации и изменения топологии сети мониторинга и управления, границ сферы деятельности и территориального присутствия заставляют переходить к новому технологическому базису [76].

Электроинфраструктуры предприятий определяют необходимость внедрения новых стандартов эксплуатации и технического обслуживания для

постоянного улучшения соотношения между надежностью энергоснабжения и затратами.

В соответствии с концепцией ААИС основными приоритетными направлениями развития информационных технологий в ЭИСП (Рисунок 1) в ближайшее время являются:

- широкое внедрение на новых и модернизируемых точках измерения интеллектуальных (Smart Metering) измерительных приборов (с дистанционным управлением, с измерительными преобразователями, с коммуникационными интерфейсами связи, с беспроводными протоколами связи и информационной безопасностью);
- установка в ЭИС МЭП АИИС, функционирующих в режиме «real time», которые осуществляют мониторинг процессов энергокластеров, выполняют алгоритмы авторегулирования и имеют средства обмена информацией;
- реализация сети коммуникаций на базе различных типов линий связи - ВОЛС, спутниковых, GPRS, ВЧ - связи по ЛЭП, которая подключена как по основному так и по резервному каналам связи;
- внедрение в ЭИС МЭП автоматизированных систем управления производственной деятельностью.

Автоматизированные системы можно разделить на пять видов систем:

- АСУ ТО и ремонтами;
- АСУ коммерческой диспетчеризация;
- АСУ обслуживания клиентов;
- АСУ управления основным производством: диспетчеризацией, учетом потребления ЭЭ, генерацией, трансформацией, передачей и распределением;
- создание внутренних интерфейсов управления для автоматического обмена данными с другими электроинфраструктурами.

Основным условием высокоэффективного функционирования ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС являются решения в определении протоколов обмена данными и стандарты информационной безопасности для всех типов энергокластеров [68].

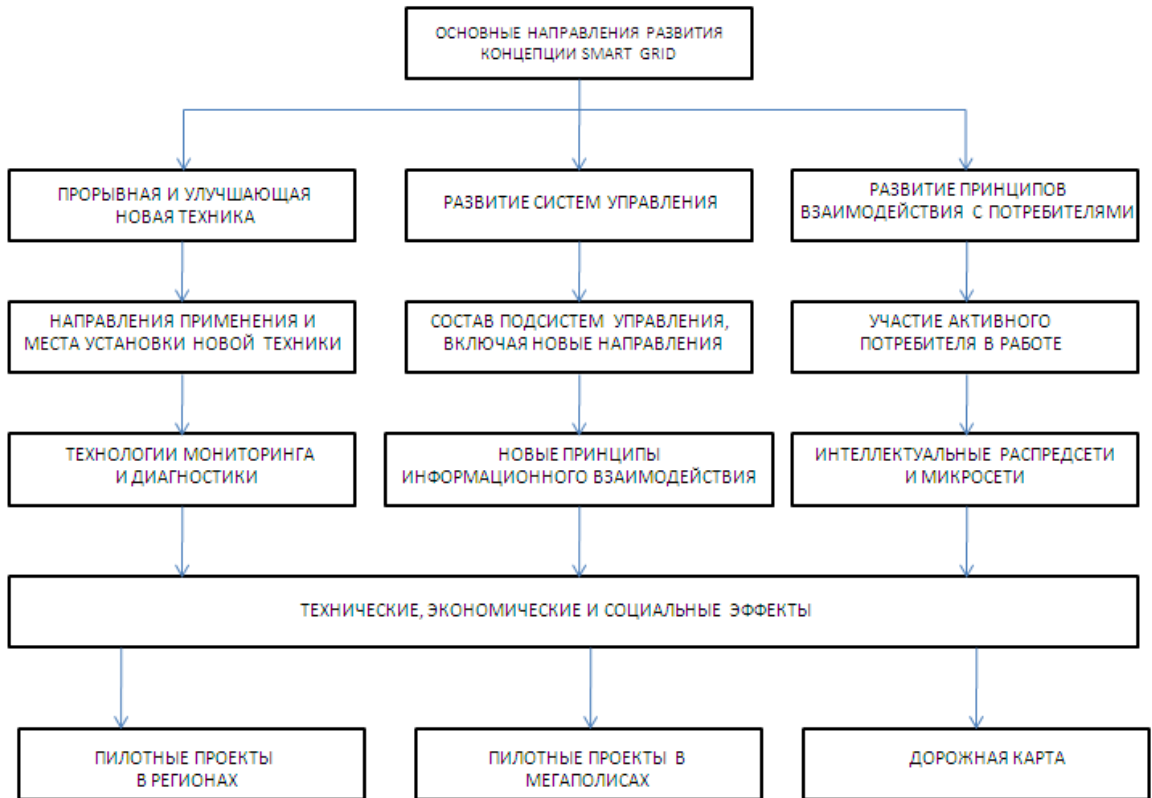


Рисунок 1 - Основные направления развития концепции ААИС

Анализ деятельности основных мировых производителей в реализации концепции ААИС и текущих потребностей российских ЭИСП подтверждает целесообразность развития следующих производств:

- оборудование для мониторинга, распределения нагрузки и оптимизации для автоматизации подстанций (интеллектуальные электронные устройства, сетевые решения);
- оборудование для автоматизации распределительных линий (Volt / VAR-контроллеры, системы обнаружения ошибок и восстановления, системы мониторинга нагрузки);

- устройства для удаленного управления потреблением энергоресурсов (RTU) (подстанционные контроллеры с обратной связью для контроля параметров ЭИС МЭП);
- оборудование для диспетчерского управления и сбора данных (SCADA) (программное обеспечение сбора и обработки информации);
- систему управления распределением электроэнергии (DMS) (интегрирующие интеллектуальные устройства, программное обеспечение);
- оборудование, обеспечивающее регулирование спроса (DR) (управление потреблением энергоресурсов через диспетчерское управление нагрузкой (ресиверы));
- приборы учета с наличием обратной связи (Smart Metering) [69].

Проведенный анализ зарубежных наработок выявил следующие предпосылки и тенденции, принятые при разработке и развитии концепции ААИС:

- концепция предполагает системную трансформацию ЭИС МЭП и объединяет все основополагающие элементы по типам энергокластеров: генерации, трансформации, распределения, передачи и потребления энергии;
- ЭИС МЭП в будущем аналогично сети Интернет предназначена для поддержки энергетических и информационных взаимосвязей между всеми элементами энергокластеров;
- развитие ЭИС МЭП определяет направление на трансформацию существующих энергокластеров и их элементов, обеспечивающих ключевых ценностей инновационной технологии;
- ЭИС МЭП определен как главный элемент реализации инновационного базиса, который дает возможность перехода на более высокий уровень функциональных свойств;
- разработка технологии полностью вбирает в себя все направления развития ЭИС МЭП на всех уровнях: исследование, практическое применение, тиражирование, а также управленческом и информационном, научном, нормативно - правовом технологическом, техническом, организационном;

- реализация технологии ААИС имеет совершенно новый характер и определяет переход к очередному технологическому укладу в целом [93].

Электроинфраструктура промышленного предприятия изготовления микроэлектроники представляет собой совокупность всех электроустановок и электрических сетей, объединенных единством процессов производства, распределения, передачи и потребления электрической энергии (Рисунок 2).

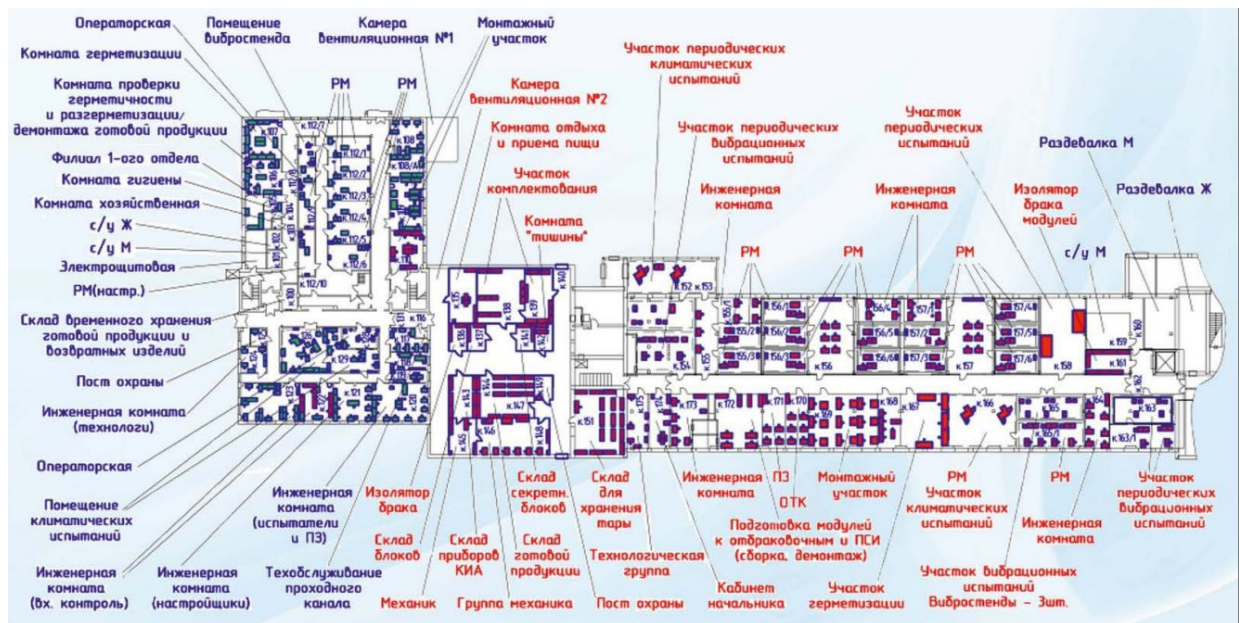


Рисунок 2 - Пример структуры предприятия изготовления микроэлектроники

В реальности, ЭИС МЭП - это сложнейшая многоуровневая инженерная сеть, которая состоит из подстанций, кабельных линий электропередачи и устройств распределения электроэнергии, токоприемников и токопроводов, которые целиком охватывают определенные, так называемые - энергокластеры (по типу генерация, трансформация, распределение и потребление).

С середины 80-х годов XX века, в электроинфраструктурах России начался рост негативного развития: недостаточная видимость действий

функционирования электроинфраструктур, отсутствие адекватного определения возможностей развития предприятий. Сокращение собственных средств электроинфраструктур и резкое снижение объемов инвестиций параллельно происходило с глобальным развалом технического состояния оборудования, на реинжиниринг и модернизацию которого не выделялось финансовых средств [115].

Реформирование российских электроинфраструктур электроэнергетической отрасли происходит с глобальными изменениями в определенных принципах и условиях функционирования предприятий [116].

На сегодняшний момент топология распределенной сети ЭИСП имеет вид закольцованной или радиальной. Согласно концепции ААИС будущая топология должна представлять собой сложную, неструктурированную, разветвленную сеть, оснащенную интеллектуальными счетчиками, в перспективе которой будет реализован принцип динамического управления энергокластерами, регулирование потребления энергии, повышение безопасности и, как следствие, экономия расходов [54].



Рисунок 3 - Количественная оценка балансовых условий в России при ААИС

При анализе существующих ЭИСП выявлены следующие результаты по принадлежности приборной базы к типам энергокластеров: генерация, трансформация, распределение и потребление.

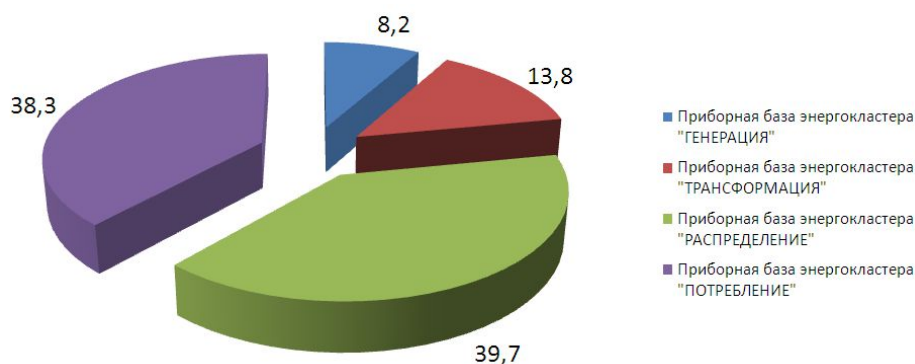


Рисунок 4 - Распределение приборной базы по принадлежности к типам энергокластеров ЭИСП

В гистограмме (Рис. 4) представлено процентное значение принадлежности приборной базы в электроинфраструктурах предприятий России. Видно, что основная часть приборной базы приходится на энергокластеры «потребление» и «распределение».

Анализ современного состояния электроинфраструктур предприятий (ЭИСП) в России позволил выявить основные факторы, вызывающие необходимость дальнейших основательных изменений и преобразований: высокий износ элементов энергокластеров всех типов и систем трансформации, передачи и распределения электроэнергии, составляющий по официальным данным 56%, а по элементам электрических сетей до 80% [118].

Диаграмма износа приборной базы энергокластеров по типам (генерация, трансформация, распределение и потребление) к временным отметкам с 2013 по 2015 гг. представлена ниже.

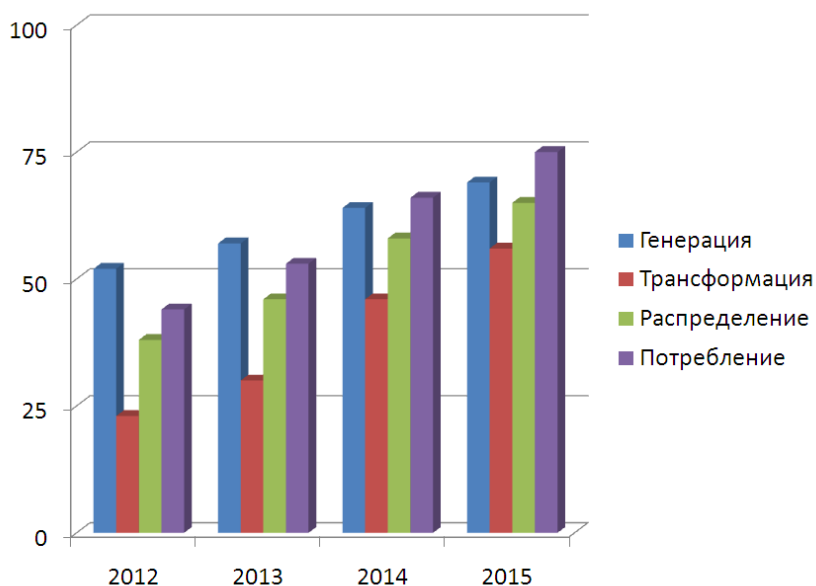


Рисунок 5 - Диаграмма износа приборной базы электроинфраструктуры предприятий по типам энергокластеров

Доля распределительных электрических сетей, выработавших свой нормативный срок, составляет 50%, около 7% электрических сетей выработало по два нормативных срока. Общий износ распределительных электрических сетей достигает 70 % [118].

В электроинфраструктурах предприятий лишь частично ликвидирована физически изношенная и морально устаревшая электротехническая приборная база.

Задача обеспечения надежности современных ЭИСП является ключевой, которая определяет безопасные условия функционирования производства. Общее мнение при анализе многих экспертов, в ближайшие 20 лет надежность и качество ЭЭ определяется глобальной проблемой в электроэнергетике.

Ниже представлена гистограмма анализа причин аварийности в электроинфраструктурах предприятий по типам энергокластеров генерация, трансформация, распределение и потребления.

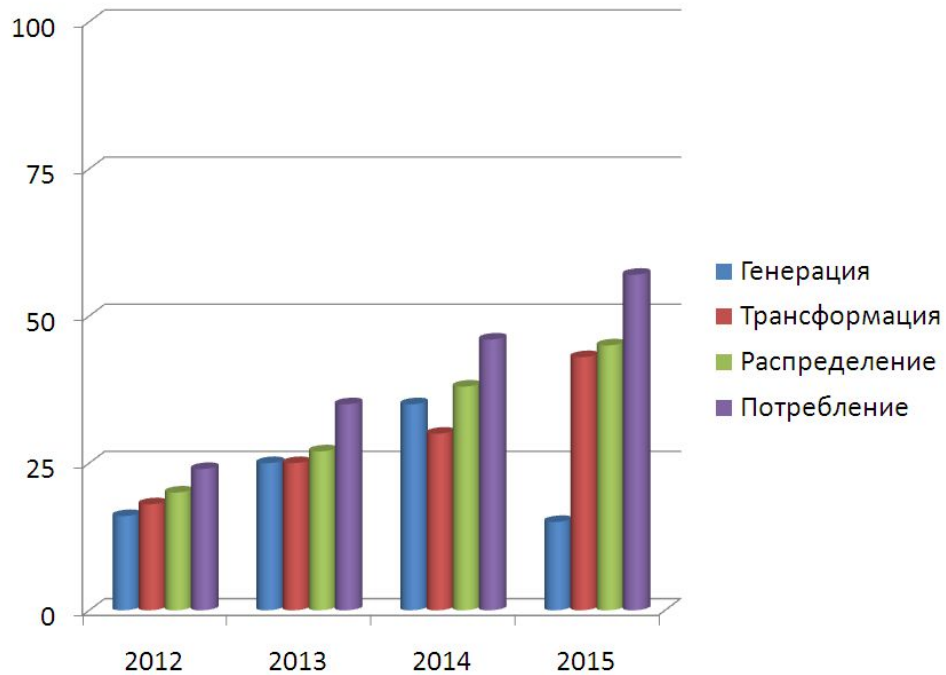


Рисунок 6 - Показатель аварийности по типам энергокластеров электроинфраструктуры предприятий

По результатам проведенного анализа были получены следующие результаты о динамике показателей надежности функционирования приборной базы энергокластеров при сопоставлении времени простоя и устранения аварии.

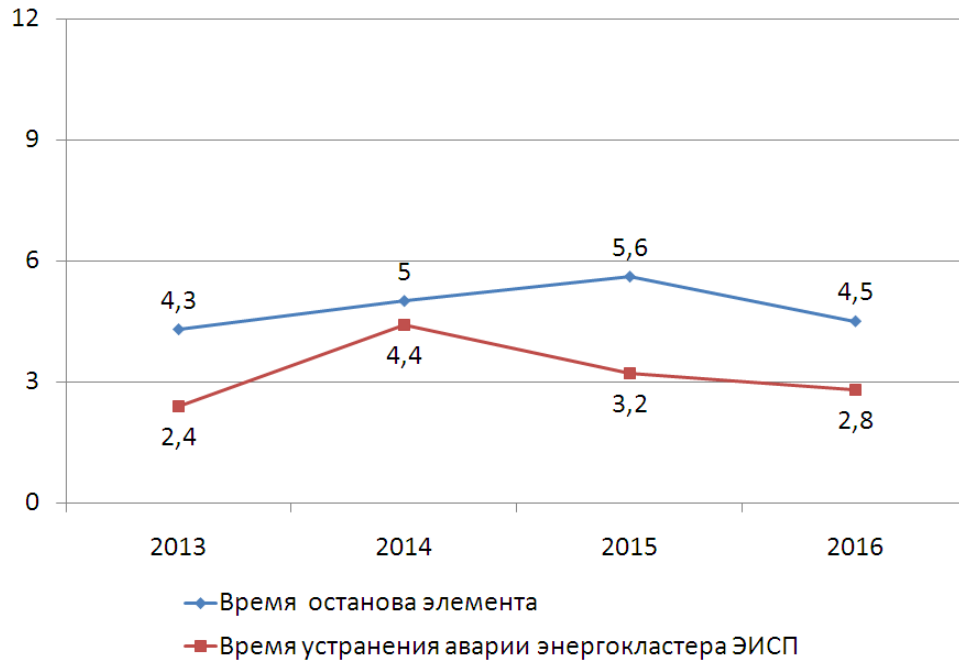


Рисунок 7 - Графики сопоставления времени устранения аварии и времени простоя энергокластеров в результате аварий

Анализ энергобалансов электроинфраструктуры предприятия выявил в сфере функционирования энергокластеров, наличие при потреблении ЭЭ высоких потерь и ограничений мощности.

Процессы трансформации, распределения и потребления, происходящие в ЭИСП, по мнению экспертов, все больше угрожают безопасности, надежности и качеству электроснабжения.

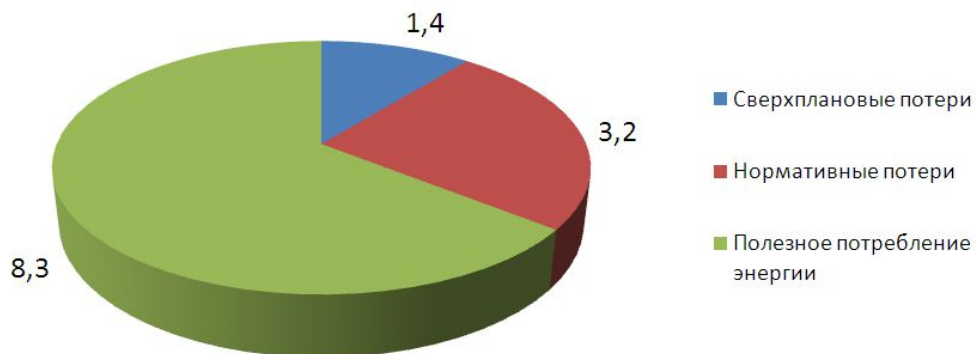


Рисунок 8 - Анализ потерь энергии в электроинфраструктуре предприятия

Существующие ЭИСП характеризуются древовидной топологией сети, разнообразием схем коммутаций энергокластеров, влиянием на режимы функционирования случайных факторов, практически непрерывным изменением структуры схем в эксплуатации [121].

Результаты анализа и прогноз на будущий период времени, дают основание для подтверждения повышения потребления ЭЭ ЭИСП.

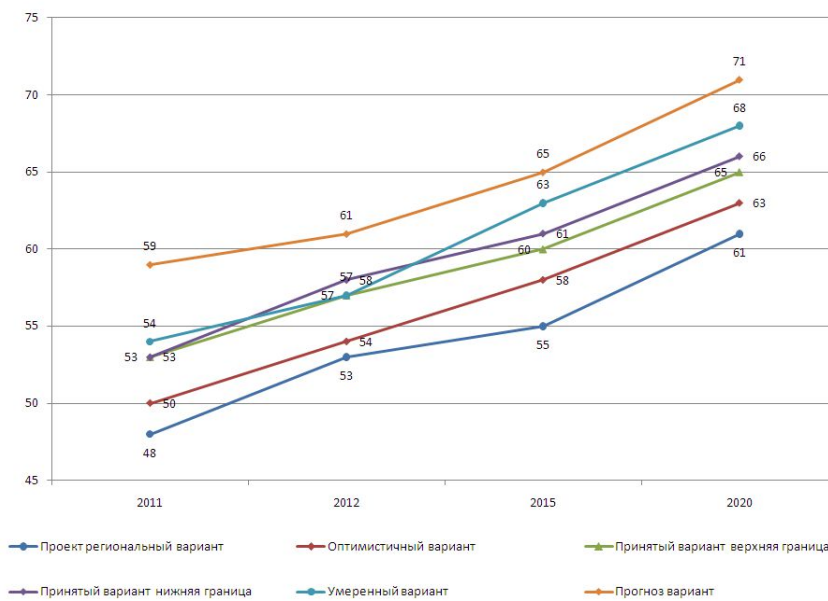


Рисунок 9 - Прогнозы динамики электропотребления ЭИСП с 2011 по 2020
ГОДЫ

Основными разработчиками концепции ААИС выступают США и страны Европейского Союза (ЕС), принимающие ее как основополагающие направления в новой энергополитике. Концепция ААИС имеет свое признание и развитие во многих промышленно развитых странах. Наиболее глобальные проекты реализуются в США, Франции, Италии, Германии, Канаде, Швейцарии, Австралии, Китае и Корее [76].

В США программа ААИС находится в статусе национальной и реализуется при поддержке страны. В странах Европейского Союза для развития электроэнергетики в 2004 году реализована и действует технологическая платформа ААИС - «Европейская энергетическая система будущего», цель которой определена реализация и инициализация основного пути развития ЕЭС до 2020 года и далее [76].

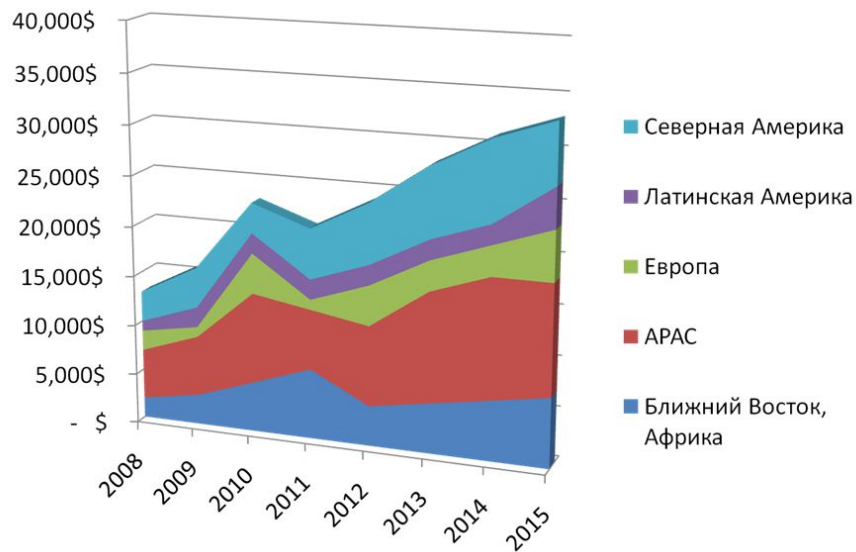


Рисунок 10 - Анализ финансовых расходов на интеллектуальные сети в мире до 2015

В западной концепции ААИС, в первую очередь, в основном направлении развития базируется на следующих факторах:

- внедрение систем интеллектуального учета энергоресурсов;
- автоматизации управления энергокластера «потребление», где особое место занимает использование РЭ, подключения альтернативных возобновляемых источников генерации [121].

В основу технологии Smart Metering входят интеллектуальные приборы учета с двунаправленным каналом связи, установленные на стороне элементов

потребления, которые обеспечивают регулярный мониторинг потребления энергии, обработку информации, предоставление данных и реализацию возможности удаленного автоматического управления [131].

Концепция Smart Metering определяет следующие возможности:

- правильное измерение потребление электроэнергии;
- автоматическую обработку, передачу, преобразование и представление данных о потреблении электроэнергии;
- управление контролем режима электропотребления;
- получение энергобаланса для выявления без учетного потребления;
- выявление потерь в сетях;
- ограничение и отключение электропотребления;
- оценивание результативности энергосберегающих мероприятий;
- управление потоками мощности [137].

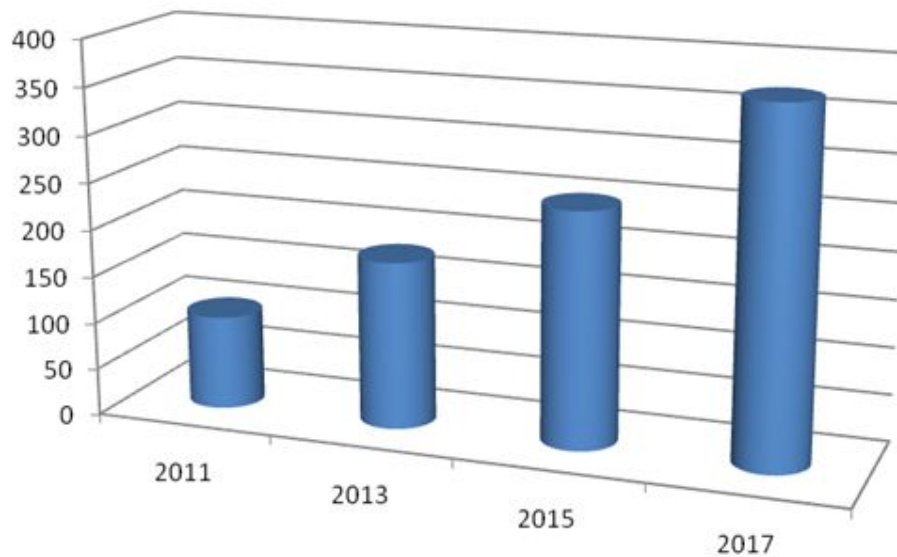


Рисунок 11 - Общее количество Smart приборов учета в мире (млн. штук)

На оснащение приборной базы, в основном «умными» приборами учета **Smart Metering**, в западной технологии ААИС отдается до 40% от общей

суммы затрат на проекты ААИС. В мире ежегодно затраты на умные счетчики и на их установку достигли 8,3 млрд. долларов к 2015г. [137].

Дополнительный функционал приборной базы, выполняемый Smart счетчиками:

- определены основными датчиками в сети НН;
- сбор статистики состояния ЭИСП, что позволяет предиктивно обнаруживать проблемы в энергокластерах [129].

«Умные» счетчики интегрированы в систему мониторинга и управления мониторинга электроинфраструктуры предприятия, функционирование которой, влияет на сокращение потребления ЭЭ, уменьшить аварий. В России, по информации от Минэнерго РФ, не более 5% установленных Smart счетчиков обладают функцией обратной связи, то есть являются «умными» [137].

1.2 Особенности функционирования системы мониторинга электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС

В сегменте производства микроэлектроники и приборостроения необходимым условием эффективного развития является создание систем мониторинга и управления ЭИСП с контролируемыми электрическими параметрами. В данных системах процессы принятия управляющих решений протекают в условиях неопределенности и основываются на результатах мониторинга внешних и внутренних возмущающих факторов [117].

В ЭИС МЭП в каждом типе энергокластера различные элементы оснащены комплексом приборной измерительной базы (датчиков, счетчиков, и.т.д.) для мониторинга текущего вектора состояния. В Таблице 1 представлены задачи, решаемые ЭИСП ААИС в процессе производства микроэлектроники.

Таблица 1 - Области и задачи мониторинга функционирования электроинфраструктуры

Область мониторинга	Задачи мониторинга энергокластеров
Эффективность взаимодействия	Измерение и обеспечения параметров функционирования в режиме «реального времени» сбора и анализа информации.
Топология сети электроинфраструктуры	Контроль информации о сетевой топологии для мониторинга и реконфигурации между различными типами энергокластеров.
Неисправности. Аварии. Предупреждения	Выявление параметров для установки безопасного и надежного режима работы. Мониторинг наиболее важных параметров безаварийной работы. Функция самовосстановление действующей топологии.
Информационная безопасность	Выявление несанкционированного доступа в сеть, Регистрация, Администрирование, Устранение сбоев передачи данных.
Ресурсы энергокластера	Измерение параметров нагрузки сети, потребляемой и генерируемой мощности в энергокластерах на разных иерархических уровнях электроинфраструктуры. Анализ дает инструмент принятия решений в топологии работы электроинфраструктуры предприятия.

Распространенный метод классического управления в условиях априорной неопределенности и при наличии взаимного влияния параметров мониторинга не способен обеспечить заданные показатели функционирования элемента энергокластера.

Система мониторинга ЭИС МЭП в концепции АИИС должна соответствовать принципам построения, обеспечивать высокую точность и быстродействие, реализовывать устойчивость к внешним и внутренним возмущениям, действуя предиктивно на исполнительные элементы энергокластеров, удерживающие параметры в заданном интервале. Также она

должна свободно интегрироваться в ЭИС МЭП и включать себя в инженерные, технологические и информационные процессы. Одновременно система мониторинга должна обеспечивать надежность функционирования ЭИС МЭП и защиту отдельных ее элементов от сбоев и аварий при возникновении внутренних и внешних возмущений.

Систематизируем и выделим отличительные признаки концепции ААИС:

- согласно стандарту инновационный гибкий интерфейс «сеть-генератор-потребитель»;
- совершенно другой тип сетевой топологии с регулированием мощности в соответствующей системе управления элементами ААИС и элементами генерации ЭЭ;
- предиктивная реакция ААИС на изменение режима функционирования в реальном времени, включая связи с локальными и централизованными элементами;
- информационный базис и технологии для определения ситуаций и принятия решений;
- возможность множества разнородных типов генерирующих источников ААИС, обеспечить предиктивное реагирование на изменение потребления на ЭЭ с поддержанием баланса в реальном времени;
- результативное использование ЭЭ за счет реализации алгоритмов ситуационного регулирования потребления ЭЭ;
- возможность сбора и обработки данных о состоянии ЭИСП ПМ и ее энергокластеров, внешней возмущающей среде (освещенность, осадки, температура окружающей среды, ветровые нагрузки и другие метеофакторы);
- возможность предиктивной реакции на текущую ситуацию в ЭИСП в режиме realtime, демпфируя возникновение аварий;
- возможность самодиагностики элементов энергокластеров ААИС с применением полученных результатов в алгоритмах работы;

- применение высокопроизводительных контроллеров и ПО для выработки предиктивно управляющих воздействий;
- инновационное программное обеспечение и технологии для определения ситуаций, обработки и принятия решений;
- обеспечение надежного ЭЭ элементов при функционировании электроинфраструктуры;
- снятие сетевых ограничений по пропускной способности в узлах сети;
- сохранение полной функциональности ЭИСП, при авариях, с возможностью к противоаварийному управлению и самовосстановлению элементов и ЭИСП в совокупности;
- обеспечение высокого уровня кибербезопасности за счет защиты информационного пространства электроинфраструктуры, включая элементы энергокластеров, во всех режимах работы;
- обеспечение ЭМС вторичных элементов и их защиты от внешних электромагнитных и других воздействий [68].

Технология ААИС характеризуется несколькими инновационными свойствами такими как:

- двунаправленная активная схема взаимодействия в режиме «real time» инфообмена между всеми элементами и энергокластерами ЭИСП, от генерации ЭЭ до потребления;
- охват всей технологической цепочки ЭИСП от энергокластеров генерации и распределения до энергокластеров потребления;
- обеспечение практически непрерывного управляемого баланса электрической энергии [69].

Основные различия функциональности существующих электроинфраструктур от активно - адаптивных интеллектуальных структур представлены в Таблице 2.

Таблица 2 - Различия функциональности электроинфраструктуры и ААИС

Функциональность	Существующая электроинфраструктура	ААИС
Автоматизированная система учета	Недостаточно	повсеместно
Система регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности	недостаточно	в необходимом объеме
Резервные источники генерации	практически отсутствуют	в необходимом объеме
Единый центр управления	Нет	есть
Система контроля	Есть	есть
Интеллектуальные энергосберегающие технологии в системах энергоснабжения	практически отсутствуют	повсеместно
Системы контроля напряжения в контрольных точках сети	не развита	повсеместно
Системы оценки текущего состояния сети	есть пассивная	есть активная
Наличие элементов изменяющих топологию сети по управлению	нет	есть
Система мониторинга критических нагрузок и управления для их разгрузки	Есть	резервное АСУ параметрами и топологией сети
Система регулирования параметров ПКЭ и реализация управления баланса мощности в энергокластерах при авариях	не развита	есть

Автоматизирования технология реконфигурации электросети	местное применение в сетях	есть
Системы мониторинга процессов на базе векторных измерений	локальное применение	повсеместно
Системы контроля качества электроэнергии в узлах сети	Незначительно	повсеместно

Энергокластеры ЭИСП в режиме реального времени обмениваются друг с другом данными о параметрах ЭЭ, режимах электропотребления и генерации ЭЭ.

Соответственно, все элементы, входящие в состав ААИС, оснащены техническими средствами, осуществляющими информационное взаимодействие. В Таблице 3 представлена сравнительная характеристика функциональных свойств ЭИСП существующей и ЭИСП на основе концепции ААИС.

Таблица 3 - Сравнительная характеристика функциональных свойств

Электроинфраструктура	Электроинфраструктура в концепции ААИС
Однонаправленная коммуникация между энергокластерами либо полное ее отсутствие	Двунаправленная коммуникации
Генерация - сложноинтегрируемая	Распределенная топология генерации
Топология - преимущественно радиальная	Преимущественно сетевая
Действие на последствия аварийной ситуации	Действие на предотвращения аварийной ситуации
Работа элементов на отказ	Мониторинг и самодиагностика, продлевающие срок эксплуатации оборудования
Ручное восстановление	Автоматическое восстановление -

	«самовосстанавливаемые сети»
Подверженность системным авариям	Предотвращение системных аварийных ситуаций
Мануальное выделение сети	Активно – адаптивное выделение
Диагностика элементов по месту	Удаленный мониторинг элементов
Ограниченный контроль мощности	Управление мощностью
Недоступная данные о цене для потребителя	Цена в «realtime»

После рассмотрения существующих электроинфраструктур и ЭИСП в концепции ААИС и анализа функциональных свойств и характеристик можно сделать вывод о том, что «трансформация» требует применение последних разработок приборной базы, нормативного базиса и совершенно нового подхода в реализации инновационного технологического уклада в ЭИС МЭП.

Совокупность устройств и технологий, направленных на сокращение энергопотребления до уровня, при котором сохраняются оптимальные параметры функционирования ЭИС МЭП, требует реализации инновационной концепции ААИС.

Методика, разрабатываемая в диссертационной работе, предполагает единую основу как интеллектуальной приборной базы, нормативного базиса, так и технических решений в системах обеспечения электроснабжения предприятия производства микроэлектроники.

Применение концепции ААИС позволяет получить оптимальные сочетания технологий и инженерного оборудования с учетом демпфирования различных внутренних и внешних возмущений, возникающих в ЭИС МЭП, что как следствие, создает условия для повышения качества производимой продукции.

Таким образом, тенденция к применению интеллектуальных систем управления и мониторинга электрических параметров элементов энергокластеров, имеющих в своем составе инструмент статистического управления, который обеспечит предиктивную оценку текущего вектора

состояния ЭИС МЭП, прогнозирование ее динамики и применение регулирующего воздействия на исполнительные элементы.

Надежное функционирование ЭИС МЭП в концепции ААИС определяет устойчивое управление процессом изготовления микроэлектроники к воздействию внешних и внутренних факторов.

1.3 Анализ систем мониторинга и управления электроинфраструктурой предприятия производства микроэлектроники

При анализе систем мониторинга параметров функционирования ЭИС МЭП следует определить принципы организации непрерывного мониторинга состояния различных типов энергокластеров в условиях функционирования активно - адаптивной интеллектуальной сети. По мере развития технологии производства электроники, соответственно и приборная база систем мониторинга и управления ЭИС МЭП претерпевают естественный генезис.

В настоящее время распространена система мониторинга параметров между текущим и желаемым состоянием элементов энергокластеров ЭИС МЭП, которая представляет собой замкнутую автономную систему автоматического управления. При реализации модели с внутренними и внешними возмущениями, которая позволяет количественно описать поведение функционирования элементов различных типов энергокластеров ЭИС МЭП, выбор решения сводится к применению классической замкнутой формализованной системы автоматического управления.

Если в системе мониторинга с присутствием предиктивного регулирования стабильности процесса интегрированы принципы учета изменений текущих параметров функционирования элементов различных типов энергокластеров, то такая электроинфраструктура имеет принадлежность к концепции ААИС. Для повышения результативности функционирования ЭИС МЭП одним из решений в задаче синтеза активно - адаптивной интеллектуальной системы мониторинга и управления, представляется

возможным применения параметрического диагностирования на основе анализа факторов, обеспечивающего мониторинг параметров элементов в реальном времени, для предиктивного управления и прогнозирования параметров состояния элементов различных типов энергокластеров ЭИС МЭП.

Основной целью системы мониторинга является формирование управляющего воздействия, парирующего внешние и внутренние возмущения функционирования, которое бы максимально поддерживало стабильное состояние процесса энергоснабжения элементов энергокластеров ЭИС МЭП.

В систему мониторинга возможно включение модуля, который, опираясь на полученную информацию от измерительной приборной базы, будет осуществлять статистическое управление элемента энергокластера и реализовывать ААИУ.

Используя статистические данные, полученные от приборной измерительной базы и позволяющие системе мониторинга ЭИС МЭП вести статистику, оценивать повторяемость событий, «запоминать» частоту и интенсивность возмущающих воздействий, система мониторинга сможет осуществлять параметрическое диагностирование элементов энергокластеров (вентиляционных установок, систем освещения и электрообогрева коммутационных аппаратов, линий передач ЭЭ, электродвигателей), определять мощность потребления элементов, тем самым предиктивно управлять режимами функционирования и адаптировать энергокластеры к внешним и внутренним возмущениям, что позволяет повысить результативность ЭИС МЭП.

Для решения поставленной задачи система мониторинга на основе ретроспективных данных определяет состояние элементов энергокластеров, оптимальный вариант функционирования и при возникновении возмущающих воздействий, дестабилизирующих параметры работы элемента, переходит к выбранному действию. Прогнозирование состояния элемента система мониторинга и управления реализует при помощи математической модели ЭИС

МЭП, в которой определены функции изменяющихся условий (режимов работы) функционирования элементов энергокластеров.

Математическая модель должна быть построена в соответствии со строгими математическими методами и обладать свойством реагирования на непрогнозируемые внешние и внутренние возмущения при функционировании ЭИС МЭП до их обнаружения. Система мониторинга в реальном времени осуществляет обработку значений модели в соответствии с текущими параметрами режимов работы элементов энергокластеров. При этом используется параметрическое диагностирование на основе анализа факторов, позволяющего предикативно выявлять возникновение внешних и внутренних возмущений и реализовать управляющее воздействие [52].

Таким образом, основным преимуществом активно - адаптивной интеллектуальной электроинфраструктуры микроэлектронного предприятия (ААИС ЭИС МЭП) перед традиционной является возможность адаптации к возникающим внешним и внутренним возмущениям.

Выявленные коррелированные закономерности между параметрами и факторами позволяют системе мониторинга прогнозировать состояние элемента и его электропотребления при различных режимах функционирования. При этом в алгоритме статистического анализа процесса функционирования элемента сравниваются параметры текущие (в реальном времени) с допустимыми значениями (по ГОСТ).

Анализ материалов касаясь темы концепции активно - адаптированной интеллектуальной сети позволяет сделать следующие выводы относительно свойств разрабатываемой системы мониторинга:

1. Мгновенность переходных динамических процессов в ЭИС МЭП, быстродействие (малая дискретность сбора данных) контроля (мониторинга) параметров функционирования элементов энергокластеров, режимов работы, изменение топологии сети электроинфраструктуры, оказывают влияние на запаздывание установления показателей качества ЭЭ, нормального режима функционирования элемента, требуемых значений показателей потребления ЭЭ.

2. Зависимости данных параметров и факторов функционирования элемента при переходных процессах в ЭИС МЭП имеют характерный неслучайный вид. Это обстоятельство указывает на возможность применения параметрического диагностирования на основе анализа факторов по информации, полученной от измерительной ПБ системы мониторинга, с целью выявления зависимостей между внутренними и внешними воздействиями и параметрами системы управления процессом, а также разработки математической модели рассматриваемых параметров элемента энергокластера [109].

Таким образом, при реализации системы мониторинга в условиях концепции ААИС необходимо учитывать то, что для сложных динамических элементов энергокластеров ЭИС МЭП либо отсутствуют математические модели (ММ), либо ММ обладают сложностью построения, отсутствием алгоритма статистического анализа для воздействия по управлению, необходимо учитывать определенную иерархичность топологии ЭИС МЭП (что недопустимо при концепции ААИС) и многообразие критериев показателей качества ЭЭ, высокий уровень внешних и внутренних возмущений.

Классические методы мониторинга и управления адекватно применяются при детерминированном объекте управления и статичной внешней среде [109]. Для ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС с высокой сложностью элементов управления приемлемо использование активно - адаптивных интеллектуальных систем мониторинга, основанных на принципах статистического управления [112].

Реализация системы мониторинга электроинфраструктуры предприятия производства микроэлектроники направлена:

- на адаптивность предиктивного реагирования на внешние и внутренние возмущения, генерируя управляющие воздействия;
- на соответствие требованиям концепции ААИС, отвечающей показателям надежности и безотказности функционирования элементов энергокластеров, а также возможностями самовосстановления.

1.4. Анализ нормативной базы концепции ААИС (Smart Grid)

Современные направления в среде разработки нормативной базы для интеллектуализации ЭИСП позволяют сформировать условия ее реализации. Рассмотрим один из основных нормативов коммуникационных связей электроинфраструктуры - МЭК 61850. Стандарт МЭК 61850 представляет собой основное направление в реализации коммуникации ААИС. В настоящее время разрабатываются новые редакции стандартов и документов стандартов МЭК и IEEE в области инновационной концепции [68].

Стандарт МЭК 61850 - это IT - технология, которая позволяет реализовать систему управления и мониторинга ЭИСП в «цифре» и интегрировать в цифровую среду все функции, включая функции управления и мониторинга элементов энергокластеров ЭИСП, релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики, а также функции передачи данных измерений от счетчиков.

Основные функции стандартов МЭК 61850:

- приведение всей информации в энергокластере к виду стандартных информационных моделей и структурированных форм для облегчения управления;
- применение абстрактного коммуникационного сервисного интерфейса ACSI (Abstract Communication Service Interface) для обеспечения независимости приложений и баз данных от коммуникационных протоколов и сред;
- стандартизация языка SCL (Substation Configuration description Language) для описания топологии, информационных моделей, связей, передачи данных в энергокластерах;
- обеспечение функционирования SCADA - системы, протоколов GOOSE (Generic Object Orientated Substation Event - стандарт МЭК 61850-8-1 - протокол передачи данных о событиях элементов энергокластеров), GSSE (Generic Substation Status Event - широковещательное сообщение об изменении

состояния элемента энергокластера), SMV (Sample Measured Value - стандарт МЭК 61850-9-2 - протокол передачи данных дискретных мгновенных значений от измерительных ТТ и ТН) [68].

Процесс «трансформации» (перехода) существующих ЭИСП в новую концепцию является одним из перспективных направлений развития и реализации стандарта МЭК 61850. Разработанные стандарты IEEE имеют более чем 100 нормативных документов, для использования в развитии интеллектуальных сетей [69].

Центральный офис Международной Электротехнической Комиссии (МЭК) представил интерактивную карту применимости действующих стандартов, где применимость МЭК 61850 достаточна велика. Архитектура стандартов состоит из подсистем Smart Grid (ААИС).

В каждой подсистеме есть определенный набор элементов. Применимость стандарта к определенному элементу обозначается выделением интересующего элемента. Подсвечиванием определяются те элементы, которые должны подчиняться требованиям обозначенных стандартов.

На рисунке 12 представлена интерактивная карта архитектуры стандартов ААИС с учетом их взаимодействия на различных уровнях, начиная с физического уровня и заканчивая уровнем бизнес процессов.

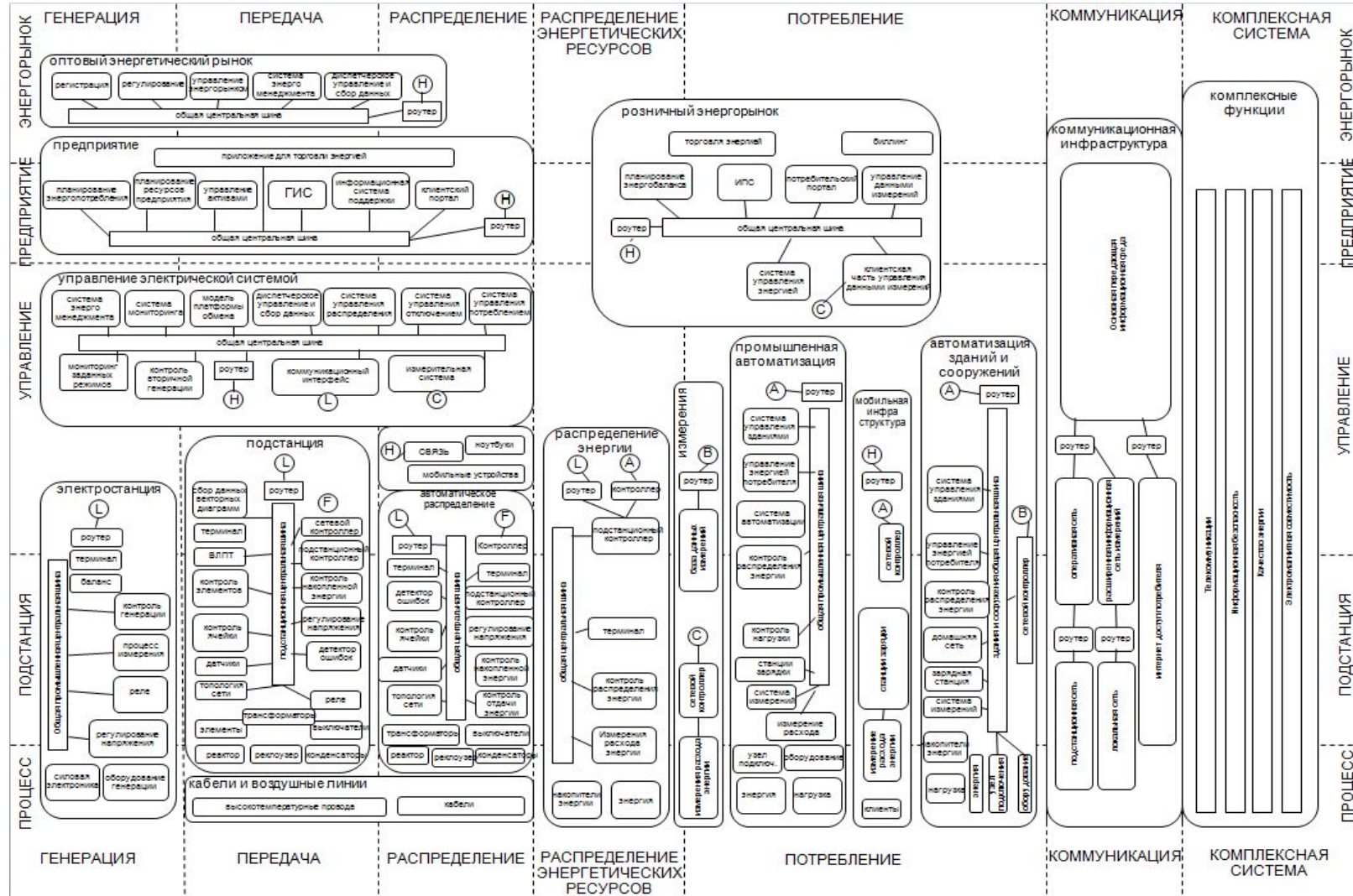


Рисунок 12 - Архитектура стандартов ААИС (Smart Grid)

(Интерактивная карта архитектуры стандартов Smart Grid с сайта © IEC 2017) Источник <http://smartgridstandardsmap.com>

*Примечание A, B, C, D, F, H, L – обозначение интеграции между стандартами

Анализ результатов применения МЭК 61850 в проектах концепции ААИС определил ряд несоответствий непосредственно в самом стандарте, что является необходимостью его доработки. Разработка новых методик и программного обеспечения для формализации процесса «трансформации» ЭИСП в соответствии со стандартом МЭК 61850, говорит о том, что к данному вопросу в мире проявляется интерес.

Стандарт МЭК 61850, изначально применяемый в системах автоматизации подстанций ЭИСП, успешно интегрируется и при развитии электроинфраструктуры в условиях концепции ААИС [67].

Модель CIM разработана институтом Electric Power Research Institute (EPRI) в рамках проекта Control Center Application Program Interface (CCAPI). Затем она была стандартизована Международной электротехнической комиссией (МЭК) в виде стандарта МЭК 61970 - Energy Management System Application Programming Interface (EMS - API). Целью стандарта IEC 61970 является создание общей модели обмена информацией между электроэнергетическими приложениями, разработанными разными производителями. Модель CIM представляет наиболее существенные элементы энергокластеров ЭИСП, обычно содержащиеся в информационной модели управления электроэнергией (EMS - Energy Management System). Модель подходит для создания интегрированных приложений в вычислительных системах и имеет положительный опыт апробирования при моделировании ЭИСП за рубежом [69].

Модель CIM использует UML - нотацию для описания сущностей, под которыми понимается как элемент ЭИСП, например двигатель или разъединитель, так и логические элементы модели электроинфраструктуры (узлы, ветви), эквивалентные модели участков ЭИСП или ее элементов и логические структуры (например, график). Число классов, описывающих различные сущности CIM - модели, велико; они сгруппированы в пакеты, объединяющие близкие по смыслу классы [69].

UML - диаграмма пакетов CIM, где указаны связи классов, входящих в их состав, представлена на рисунке.

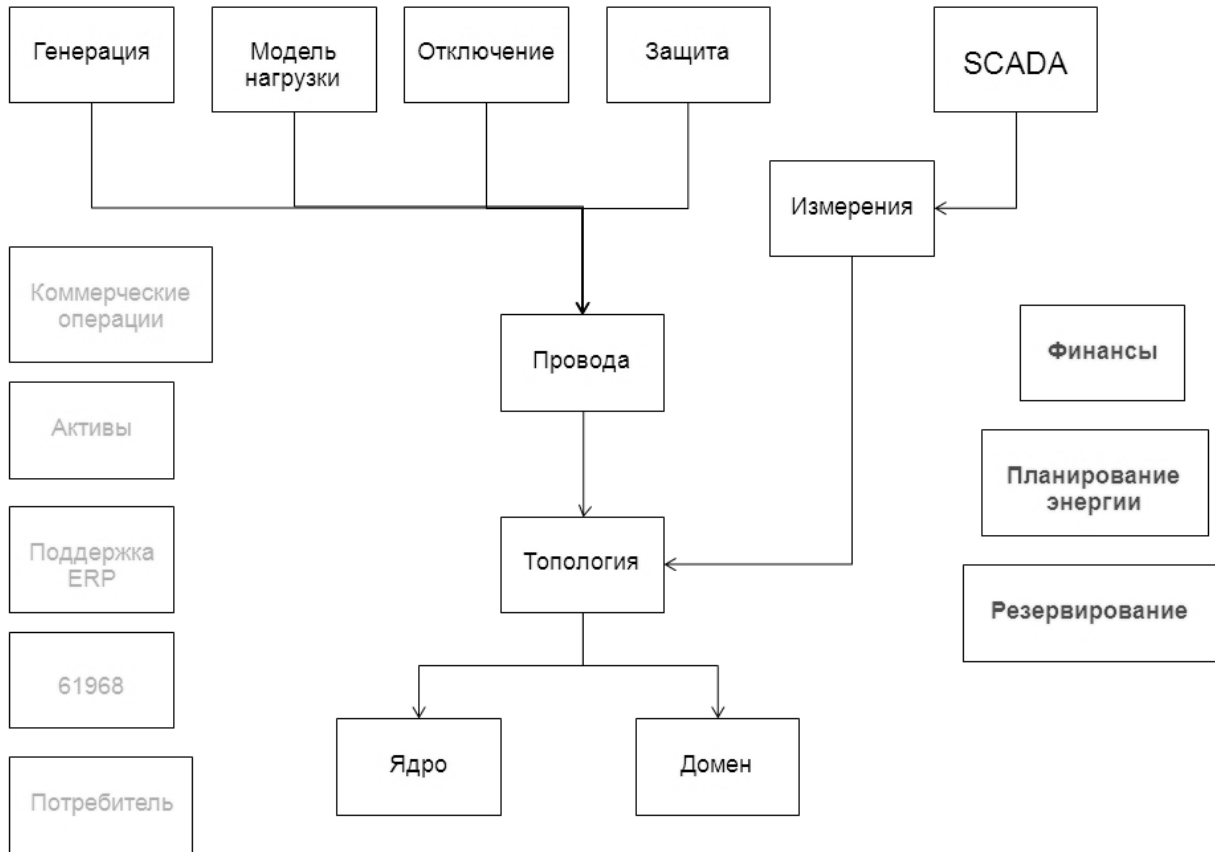


Рисунок 13 - Общая информационная модель CIM

Основные пакеты CIM - модели описаны в документе IEC 61970-301 - Common Information Model base.

Core - пакет, содержащий описания базовых классов, от которых наследуются классы, включенные в остальные пакеты.

Пакет Domain содержит определения типов данных, включенных в каждый класс. Тип данных кроме значения может также описывать единицу измерения. Например, тип Voltage служит для описания типа и единицы измерения напряжения, тип Susceptance служит для описания величины проводимости.

Пакет Topology совместно с классами пакета Core позволяет моделировать граф сети.

Пакет Wires является расширением пакетов Core и Topology, которое моделирует информацию об электрических характеристиках сети и оборудования.

Пакет Outage является расширением пакетов Core и Wires для моделирования текущей и планируемой конфигурации сети.

Пакет Protection является расширением пакетов Core и Wires для моделирования устройств защиты.

Пакет Meas содержит классы описания данных телеизмерений. Классы пакета Load Model отвечают за моделирование потребителей электроэнергии любого уровня в виде графиков нагрузки и связанных с ними данных. В пакет включены классы для описания данных, влияющих на прогноз потребления. Пакет Generation делится две части - Production и Generation Dynamics.

Пакет Production содержит информацию по моделям экономического распределения нагрузки и определения резерва, который используется для выбора состава генерирующего оборудования и прогноза нагрузки. В пакете Generation Dynamics моделируется тепловая часть оборудования станции.

Документ IEC 61970-302 - Common information model financial, energy scheduling and reservations - определяет пакеты Energy Scheduling (Планирование), Reservation (Управление резервами) и Financial (Финансы).

В документе IEC 61970-303 определен пакет SCADA [69].

Анализ нормативной базы концепции ААИС определил основные стандарты:

- IEC 61970 и IEC 61968 - определяют концепцию (CIM) Общей Информационной Модели, реализация которой нужна для связи данных между элементами и сетями, в основном при передаче в сегменте (IEC 61970) и распределении (IEC 61968);
- IEC 61850 - реализует автоматизацию «распределения» и связи полностью совместимой на единого формате;

- IEC 608706 - реализует связь между элементами управления;
- IEC 62351 - информационная безопасность протоколов связи.

Данные стандарты имеют следующие преимущества:

- снижение затрат - обеспечивают способность взаимодействия технологий ААИС, что позволяет ЭИСП выбирать и устанавливать у себя любую часть технологии;
- оптимизация процессов - облегчают интеграцию оборудования и систем для управления процессами функционирования ЭИСП в комплексных системных решениях;
- управление рисками - определение уровня информационной безопасности с цифровой подписью, санкционирование доступа, предотвращение и обнаружение вторжений [93].

Применение стандарта **МЭК 61850** является одним из основных индикаторов развития ЭИСП в условиях концепции ААИС.

Основными его преимуществами являются:

- полная интеграция между интеллектуальными электронными элементами (IEDs) разных производителей;
- простое построение системы и интеграция ввода при функционировании;
- быстрая инсталляция при замене соединений витой пары между (IEDs) на посылку GOOSE сообщений;
- простая инсталляция при расширении и при ее развитии [93].

МЭК 61499 стандарт РСУ и автоматизации и определяет требования к методам интеграции ПО в реальных элементах [93].

Распределенная структура определяется интеграцией функциональных блоков на различных ресурсах нескольких элементов. Основными преимуществами являются: гибкость и совместимость ПО, производительность, мобильность, результативность процесса разработки. Выше представленные стандарты в совокупности имеют сходства:

- нужны для решения похожих задач в проектировании;
- выбирают XML - формат для описания ЭИСП;

- полная поддержка: совместимости, мобильности и разработки [68].

ЭИСП в условиях концепции ААИС определяет двунаправленную быстроедействующую работу информационно-коммуникационной сети, с поддержкой стандартов МЭК 61850 и МЭК 61499, где способствуют реализации - DGI (Distributed Grid Intelligence).

Новый технический базис и инновационные технологии сопровождаются описанием в контексте стандарта МЭК 61850. Это еще раз доказывает, что стандарт имеет большие потенциальные возможности практического применения в будущем. При этом, несмотря на то, что создание ААИС ЭИС МЭП является одним из приоритетов развития технологии ААИС, в России интегрируются с достаточным отставанием. В значительной степени данный факт обусловлен отсутствием нормативно - правовой базы и низкой экономической привлекательностью. Кроме того, реализация наилучшего зарубежного опыта в области «интеллектуальных электроинфраструктур» требует серьезной адаптации к особенностям организации всего отечественного электроэнергетического комплекса [68].

При создании электроинфраструктуры предприятия в концепции ААИС необходима корректировка и дополнение существующей нормативно - технической базы, представленной национальными стандартами и руководящими документами, в том числе разработанными еще до 2000 г. [61].

1.5. Анализ приборной базы в процессах мониторинга электроинфраструктуры изготовления микроэлектроники

Электроинфраструктура предприятия изготовления микроэлектроники с информационно - энергетической сетевой топологией концепции ААИС представляет собой сложную систему, в которой энергокластеры различного типа (генерация, трансформация, передача, распределение и потребление) взаимодействуют для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения всех элементов производственного процесса. Рассмотрим структуру мониторинга приборной базы различных типов энергокластеров электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники и на разных иерархических уровнях.

Элементы подстанции «распределение» подразделяют на три уровня:

1. Уровень процесса (Process Level):

- элементы – датчики, предназначены собирать дискретные данные и передавать команды управления на коммутационные элементы;
- элементы – датчики, предназначены собирать аналоговые данные (цифровые ТН и ТТ).

2. Уровень элемента энергокластера (Bay/Unit Level) представляет собой интеллектуальные электронные элементы (IEDs);

- элементы: контроллеры, измерительная приборная база, системы мониторинга трансформаторов и т.д.);
- терминалы РЗА.

3. Подстанционный уровень электроинфраструктуры предприятия (Substation Level):

- серверное оборудование (сервер БД, сервер SCADA, сервер телемеханики и т.д., маршрутизатор данных);
- АРМ элемента подстанции [93].

Задачи управления, мониторинга и взаимодействия энергокластеров являются основополагающими при создании интеллектуальной активно-

адаптивной электроинфраструктуры для повышения результативности производства изделий микроэлектроники.



Рисунок 14 - Модель процесса работы ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС

Измерительная приборная база и элементы, технологии считывания и измерения определены одной из основополагающих технологических областей и главным компонентом инновационной ЭИС МЭП на базе концепции ААИС.

Таблица 4 - Элементы приборного базиса технологии ААИС. Примеры, реализованные в России.

Концепции интегрированных коммуникаций	Интеграция АСУТП на базе стандарта МЭК 61850 на 33 подстанциях. Технологическая приборная база в основном зарубежная (русская - менее 10 %).
Телекоммуникация	Реализована сеть связи электроэнергетики. Реализованы ВОЛС с охватом более 100 объектов электроэнергетики.
Система управления сетями	В России - отсутствие сильной компании - разработчика ПО, для конкуренции с Siemens, АВВ и других. Потенциал в достаточно сильной школе прикладной математики, которая

	обладает обширными знаниями в области моделирования режимов работы сети.
Технологии гибких линий	В России наличие больших научных проработок и образцов всех типов технологии FACTS: управляемых реакторов, интеллектуальные ИБП, компенсаторы и генераторы.
Оптические трансформаторы	Отсутствие интеграции, но существуют единичные экспериментальные образцы
Релейная защита и автоматика	В области алгоритмов управления по многим позициям превосходит мировой уровень. В области элементной базы есть единичные промышленные образцы.
Альтернативные возобновляемые источники ЭЭ	Прогнозируется до 4.5% в 2020 г.

В результате исследования и анализа реализации концепции ААИС отечественных и зарубежных ЭИС МЭП определены основные пути разработок:

- управление функционированием ЭЭС;
- мониторинг элементов электроинфраструктуры;
- интеллектуальный учет ЭЭ;
- высокоскоростная двунаправленная передача данных;
- информационно - техническое ПО;
- разработки альтернативной генерация ЭЭ, накопители ЭЭ с большим ЖЦ;
- элементы энергокластера [93].

Анализ накопленного международного опыта, работ ведущих научных организаций (IEEE, CIGRE, EPRI и др.) и основных производителей оборудования (ABB, Alstom, Siemens, General Electric и др.) позволяет выделить основные тенденции при реализации функционирования ЭИС МЭП в условиях технологии ААИС:

- замена основного приборного базиса, на устройства, основанные на новых принципах измерения и передачи данных;

- использование на уровне энергокластера - «потребление» ЭИС МЭП компактных комплектных силовых элементов, оснащенных всеми видами датчиков и совместимых с новыми технологиями измерения и передачи данных для устройств защит и управления [93].

Расширенный мониторинг, контроль и система защиты, а также DR - инструменты (demand response «управление спросом») являются частью самовосстанавливающейся ЭИС.

Определены преимущества при реализации ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС:

- сокращение аварий;
- предиктивное определение отказа элемента энергокластеров;
- мониторинг медленного выхода из строя элемента;
- уменьшение отказов элементов энергокластера и снижение расходов на ликвидацию аварий;
- применение максимального эффекта инновационных генераторов ЭЭ;
- снижение потерь электроэнергии [130].

Данные от интеллектуальной приборной базы могут передаваться посредством:

- беспроводного канала связи;
- канал радиосвязи (специальные надежные частоты);
- каналы широкополосных ЭЛ;
- технологиями PowerNet, с установленными на обоих концах приемник-передатчик [61].

Понятие «интеллектуализации» ЭИС МЭП тесно связано с системой управления технологическими процессами. Оптимизация функционирования энергокластеров ЭИС МЭП состоит в необходимости анализа полученных данных, также снижении потерь ЭЭ, повышении кибербезопасности и результативности.

В настоящее время реализованы программные продукты, которые способны удовлетворять требования полноценного функционирования ЭИС

МЭП в условиях концепции ААИС. Разработчиками определены компании: Schneider Electric, Siemens, ABB, Alstom и т.д.

1. Schneider Electric ADMS (Advanced Distribution Management System) являются инновационными системами, объединившие в себе все инновационные элементы:

- элементы управления распределительной сетью (DMS);
- элементы диспетчерского управления и сбора данных (SCADA);
- элементы управления аварийными отключениями (OMS);
- геоинформационные элементы (GIS).

Данные элементы сделаны на единой базе с одним пользовательским интерфейсом. Отличием данного элемента является самовосстановление при аварии, распределенная генерация ЭЭ, децентрализация управления, метеорологические данные в режиме «real time» [69].

2. Компания Siemens предлагает систему SICAM PAS, имеющая модульную структуру и совместно с программным обеспечением SICAM PAS обеспечивает высокую степень интеграции с различными типами ЭИСП. Основным преимуществом SICAM PAS является высокая возможность интеграции с любыми системами управления на базе техники SIMATIC, что обеспечивает возможность полного слияния систем АСУ и диспетчерского уровня управления. [69].

3. Компанией Alstom Grid предложена новая серия интеллектуальных электронных элементов P60 Agile. Основное преимущество серии P60 Agile состоит в форм - факторе устройства, представляющем собой компактный корпус, который может реализовывать широкий спектр задач. Серия P60 Agile включает в себя интеллектуальную приборную базу включающую в себя, электронные элементы по токовым защитами и защитами по напряжению [69].

4. В области систем связи и управления компанией ABB предложено решение, которое позволяет контролировать, управлять и защищать ЭИСП. Micro SCADA Pro DMS 600 выполняет управление коммутациями и режимом функционирования ЭИСП в масштабе runtime. [69].

Таблица 5 - Сравнительный анализ по основному функционалу и реальному применению систем управления и мониторинга

Параметры сравнения	Schneider Electric	Siemens	ABB	Alstom
Программное обеспечение	Windows 2003 или 2008 Server	Windows XP Embedded	Windows XP	Windows XP
Класс напряжения	0.4-110 кВ	0.4-110 кВ	0.4-110 кВ	0.4-110 кВ
Реализованные проекты	Филиал ИЭСК «Южные электрические сети»	ООО «Киниф» ЗППН	DynaPeaQ (Англия)	Подстанция «Надежда» ФСК ЕЭС
Протоколы	МЭК 60870-5-104	IEC 60870-5-101, 104, IEC 61850, МЭК 61850	IEC 60870-5-101, 104, IEC 61850, МЭК 61850	МЭК 61850

В настоящий момент оборудование для элементов уровня энергокластеров «распределение» ЭИСП, выпускается всеми основными производителями: GE, Alstom/Areva, ABB, Siemens.

Компания GE Digital Energy реализует 4 серии терминалов РЗА, с поддержкой информационного обмена в соответствии с МЭК 61850:

- UR - терминалы РЗА для электроустановок высшего и среднего напряжения;
- SR - терминалы РЗА для электроустановок среднего напряжения;
- SR-3 - терминалы РЗА для электроустановок среднего и низкого напряжения;
- МП - терминалы РЗА для электроустановок низкого напряжения.

Терминалы РЗА серии UR обладают возможностью работы с «модулем шины процесса МЭК 61850»:

- В30 Терминал дифференциальной защиты шин;
- С30 Терминал управления присоединениями;
- С60 Терминал защиты выключателей;

- C70 Терминал защиты и управления конденсаторными батареями;
- D30 Терминал дистанционной защиты линий;
- D60 Терминал дистанционной защиты линий;
- F35 Терминал защиты нескольких присоединений;
- F60 Терминал защиты присоединений;
- G30 Терминал защиты генераторов;
- G60 Терминал защиты генераторов;
- L30 Терминал дифференциальной токовой защиты линий;
- L90 Терминал дифференциальной токовой защиты линий;
- M60 Терминал защиты двигателей;
- N60 Терминал измерения стабильности сети и синхронного измерения параметров векторов;
- T35 Терминал защиты трансформаторов;
- T60 Терминал защиты трансформаторов [68].

Терминалы поддерживают информационный обмен GOOSE/GSSE и SV-сообщениями в соответствии с МЭК 61850 и являются серверами данных.

Выпускаемые GE Digital Energy контроллеры поддерживают информационный обмен GOOSE / GSSE и SV-сообщениями, а также клиент - серверный обмен в соответствии с МЭК 61850 [68].

Контроллер присоединения D25 подключается непосредственно к электромагнитным измерительным трансформаторам тока (ТТ) и напряжения (ТН). Также существует поддержка информационный обмен GOOSE / GSSE и SV - сообщениями в соответствии с МЭК 61850, а также является сервером данных [68].

Контроллеры D200 и D400 - концентраторы данных от контроллеров присоединения, а также шлюз передачи данных в ЭИСП. Поддерживают информационный обмен GOOSE/GSSE и SV - сообщениями в соответствии с МЭК 61850, и являются клиентами для получения информации и серверами для передачи информации на вышестоящие уровни [68].

Компания GE Digital Energy выпускает оборудование шины процесса МЭК 61850 (HardFiber) предназначенное для установки непосредственно у первичного элемента энергокластера.

В состав шины процесса HardFiber входит:

- панель кросс - коммутации для разделения линий связи от преобразователей BRICK;
- оптические кабели для подключения BRICK к панели кросс - коммутации;
- преобразователь сигналов BRICK;
- модуль «шины процесса» МЭК 61850-9.2 для установки в устройства UR.

Система HardFiber обеспечивает самодиагностику систем защиты и управления, что исключает необходимость выполнения периодических обслуживаний [68].

Преобразователь сигналов (Brick) с алгоритмами самодиагностики и тестирования контролируют внутренние подсистемы элементов энергокластеров и информируют о текущем состоянии системы несколько сотен раз в секунду [68].

Компания ALSTOM выпускает терминалы РЗА и PLC - контроллеры, поддерживающие информационный обмен в соответствии с МЭК 61850:

- P139 - терминал управления и защиты фидера;
- P132, P141, P142, P143, P144, P145 - терминалы защиты фидера;
- P439, P433, P435, P437, P442, P443, P444 - терминалы дистанционной защиты и управления;
- P543, P544, P545, P546 - терминалы продольной токовой защиты линии и дистанционной защиты;
- P547 - терминал дифференциально-фазной защиты линии;
- P631, P632, P633, P634 - терминалы дифзащиты трансформатора;
- P741, P743 - терминалы дифференциальной защиты шин;
- C264 - контроллер присоединения / общеподстанционный контроллер.

Выпускаемые ALSTOM терминалы РЗА поддерживают информационный обмен GOOSE/GSSE - сообщениями в соответствии с МЭК 61850 и являются серверами данных.

Контроллеры C264 поддерживают информационный обмен GOOSE/GSSE - сообщениями в соответствии с МЭК 61850. Они являются как клиентами, так и серверами данных.

Терминалы серии Px40 имеют возможность комплектации модулями информационного обмена на шине процесса в соответствии с МЭК 61850-9.2, заменяющие модули традиционных аналоговых входов.

Компания **ALSTOM** для шины процесса выпускает устройство COSI - NXMU, устанавливаемое непосредственно у первичных элементов с подключением аналоговых сигналов от оптических ТТ (трансформаторы тока) и электромагнитных ТН (трансформаторов напряжения) [68].

Устройство COSI-NXMU обеспечивает подключение до 3ТТ и 4ТН (с частотой дискретизации до 256 выборок/период). Передача данных устройствам РЗА и АСУТП по шине процесса в соответствии с МЭК 61850-9.2 по резервированным оптическим интерфейсам Ethernet 100BaseFх.

Компанией NR Electric Co выпускается полевое устройство NR's PCS-221 работающее на шине процесса МЭК 61850-9.2. Отличительной особенностью данного устройства является возможность подключения как оптическим, так и к электромагнитным измерительным трансформаторам.

Компания SIEMENS выпускает терминалы РЗА и контроллеры АСУТП, поддерживающие информационный обмен в соответствии с МЭК 61850:

- P139 - терминал управления и защиты фидера.

Полевой уровень приборной базы ЭИСП может быть реализован на инновационных оптических трансформаторах, блоках мультиплексора Merging Unit и выносными устройствами связи с элементами (micro RTU) NPT Expert.

Волоконно - оптические измерительные преобразователи тока и напряжения предназначены для замены устаревших электромагнитных трансформаторов тока и напряжения, которые могут стыковаться с

современными микропроцессорными устройствами релейной защиты, автоматизации и учёта по цифровому интерфейсу МЭК 61850-9-2.

Преимущества оптических трансформаторов:

- точность измерений;
- безопасность;
- надежность;
- устойчивость к электромагнитным помехам;
- малые габариты и масса;
- совместимость с современным оборудованием.

Мультиплексор NPT Merging Unit предназначен для сбора данных от традиционных ТТ и ТН и передачи этих данных по протоколу МЭК 61850-9-2 (Sampled Values) до контроллеров присоединений и устройств РЗА. Применение NPT Merging Unit является наилучшим решением для интеграции существующей электроинфраструктуры (силового оборудования) в систему управления и мониторинга концепции ААИС [68].

Мировые лидеры в области систем мониторинга и управления - Siemens, ABB и Dranetz используют для интегрирования в системы мониторинга электроинфраструктур и анализа качества ПКЭ и управления ресурсами ЭИСП приборы компании SATEC. Данные системы внедрены более чем в 30 странах Центральной и Южной Америки, Европы и Дальнего Востока, в том числе в России, Казахстане и др. Производителями подобных систем являются также компании Power Measurement (PML), Circutor, Elontrol, Diris и Autometer.

Приборы Simeas серии P удовлетворяют большинству критериев по измерению качества электроэнергии. Приборы имеют способность регистрации более 80 параметров. Полный список измеряемых параметров приведен в Таблице 6.

Важной особенностью является подключение прибора к сети напрямую или через трансформатор без промежуточных преобразователей. Небольшие габариты, малый вес, простая параметризация с помощью компьютера (конфигурация может быть сохранена в файл) или с лицевой панели.

Таблица 6 - Измеряемые параметры преобразователем электрических величин Simeas P 50

Измеряемая величина	Измерительная цепь	Единица измерения	Пределы ошибок
Напряжение	L1-N,L2-N,L3-N,(N-E)	В, кВ	±0,1%; 0,3%
Напряжение	L1-L2,L2-L3,L3-L1,Σ	В, кВ	±0,1%; 0,3%
Ток	L1,L2,L3,Σ	А, кА	±0,1%; 0,3%
Активная мощность (+полученная,-отданная)	L1,L2,L3,Σ	Вт, кВт, МВт	±0,5%
Реактивная мощность (+емкостная,-индуктивная)	L1,L2,L3,Σ	ВАр, кВАр, МВАр	±0,5%
Фиктивная мощность	L1,L2,L3,Σ	ВА, кВА, МВА	±0,5%
Коэффициент мощности	L1,L2,L3,Σ		±0,5%
Коэффициент полезной мощности	L1,L2,L3,Σ		±0,5%
Угол сдвига фаз	L1,L2,L3,Σ	°	±2°
Сетевая частота	L1-N	Гц	±10 мГц
Активная энергия (поступление, отдача, абсолютная, сальдо)	L1,L2,L3,Σ	кВт-ч, МВт-ч	±0,5%
Реактивная энергия (емкостная, индуктивная, абсолютная)	L1,L2,L3,Σ	кВт-ч, МВт-ч	±0,5%
Фиктивная энергия	L1,L2,L3,Σ	кВт-ч, МВт-ч	±0,5%
Ассиметричное напряжение	Четырехпроводная сеть	%	±0,5%
Ассиметричный ток	Четырехпроводная сеть	%	±0,5%
Напряжение THD	L1,L2,L3	%	±0,5%
Ток THD	L1,L2,L3	%	±0,5%
Напряжение гармоник (5,7,11,13,17,19)	L1,L2,L3	%	±0,5%
Ток гармоник (5,7,11,13,17,19)	L1,L2,L3	А	±0,5%
Отклонения за допустимые пределы	Счетчики 1,2,3,4		
Аналоговые входы (только для Р610)	Внешние		±0,5%
Бинарные входы (только для Р610)	Внешние		

В каждом приборе есть 2 бинарных выхода, которые могут быть использованы для сигнализации отклонения измеряемых параметров за допустимые пределы, как импульсный счетчик энергии или для индикации своего состояния (включен/выключен)..

1.6 Обоснование направлений повышения результативности ЭИС МЭП путем применения средств мониторинга электрических показателей

Для реализации системы мониторинга ЭИС МЭП необходимо выполнить определенный комплекс мероприятий: определение границ мониторинга элементов энергокластеров, определение основных контролируемых электрических параметров в границах норм качества функционирования с

последующей реализацией предиктивного управления в рамках внешних и внутренних возмущений.

Для этих целей предлагаются средства мониторинга, включающие в себя комплекс слежения за значениями установленных параметров в заданных пределах.

Предлагаемая методика мониторинга разрабатывается на основе статистического обеспечения, отвечающего требованиям процессов функционирования ЭИС МЭП, в результате обеспечивая надежность восстановления характеристик функционирования элемента при воздействии внешних и внутренних факторов.

Рассматривается случай не резервирования элемента энергокластера при аварии или отказе, а реализация предиктивного определения отдельных характеристик показателей, которые не выходят за границы значений других элементов по вектору параметров мониторинга и сохраняют процесс производства изделий микроэлектроники.

Формализовать процесс мониторинга функционирования элементов энергокластеров в рамках статистических методов является крайне сложной задачей, так как существует разнородность параметров, описываемых различными зависимостями, связанными корреляционно [73].

Мониторинг процессов в реальном времени (концепция ААИС) по контролируемым характеристикам реализуется путем сравнения текущих и требуемых параметров наблюдений, в результате чего принимается решение о воздействии на исполнительные устройства.

В настоящее время вопросы статистического управления технологическими процессами освещены и проработаны в ряде научных публикаций [73, 74, 75, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86].

Однако многомерность неоднородность переменных состояния вектора параметров и сложность математического описания взаимосвязей делает уязвимыми такие показатели, как устойчивость и надежность

функционирования элемента энергокластера ЭИС МЭП, при предъявлении особых требований к производству микроэлектроники.

В работе предложен метод параметрического диагностирования на основе факторного анализа, который способен обеспечить предиктивное управление в задаче оценивания вектора состояния при совпадении предполагаемой модели изменения оцениваемого параметра с реальным законом его изменения.

Представим процесс мониторинга электрических параметров элемента энергокластера в ЭИС МЭП с помощью временной диаграммы отображенной на Рисунке 15. Заданные значения переменных в границах мониторинга элемента энергокластера поступают на входы модуля статистических оценок электрических параметров, где сравниваются с текущими значениями параметров, поступающими от приборной измерительной базы (датчиков), установленных в определенных границах мониторинга.

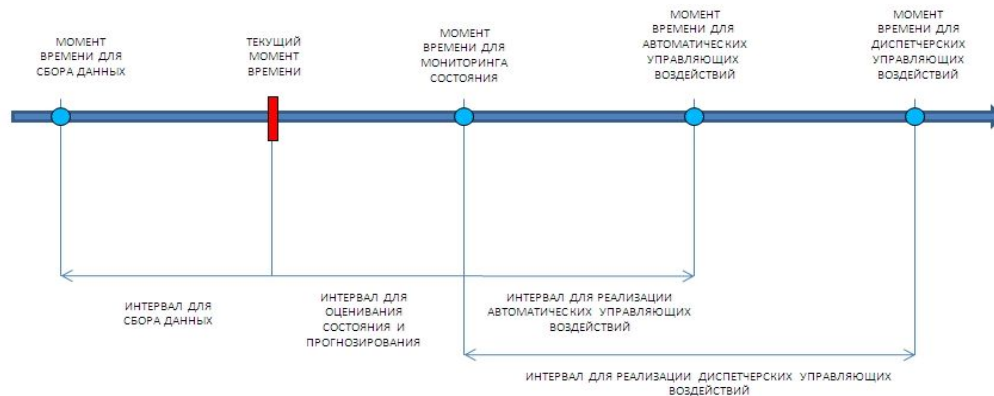


Рисунок 15 - Временная диаграмма мониторинга, прогнозирования и управления элементами энергокластеров ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС

Полученные данные параметров элемента обрабатываются по классической системе оценивания и на основании полученного результата, прогнозируется величина параметра в соответствии с моделью, описывающей состояние элемента [67].

Описание математической модели рассматриваемой структуры представляется сложной задачей. Для решения необходимо применение

инструмента, который позволял определять состояние величины параметра с последующим управляющим воздействием.

Рассмотрим варианты использования модели системы мониторинга на основе статистических методов и анализа полученных данных:

- описание процесса мониторинга, позволяющий построить определенное множество (массив данных) и характеризующееся качественными показателями;
- математические уравнения описания процесса управления, в которых определены с погрешностями измерений;
- закономерности процесса функционирования, являются определено сложными для описания и представляют собой очень сложную математическую модель.

Предлагаемые методы параметрического диагностирования на основе факторного анализа определяют предиктивное демпфирование внешних и внутренних возмущений динамической системы элемента с последующим формированием управляющих воздействий. Применение предлагаемого подхода в мониторинге процесса обеспечивает поддержание вектора состояния системы в заданных границах и различного рода возмущениях [109].

При этом система мониторинга элемента контролирует процессы со сложной динамикой ЭЭ.

Предлагаемое решение реализует процесс мониторинга электрических параметров элемента с возможностью учета априорных данных, и как следствие дает возможность построения активно - адаптивных интеллектуальных систем управления процессом производства микроэлектроники.

1.7 Результаты и выводы по разделу 1

Проведенный анализ, идентификация условий и факторов определяют необходимость развития ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, в рамках инновационных подходов и существующих принципов и способов, включая новый технологический приборный базис.

Проведено исследование основополагающих требований, средств и нормативной базы для реализации ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС для повышения результативности производства микроэлектроники.

Проведен анализ существующих технологий концепции ААИС в управлении ЭИС МЭП, выявлены основные инструменты ее развития, необходимые для обеспечения надежности процесса производства изготовления микроэлектроники.

Определены направления исследования в области технологии ААИС и статистического управления с параметрическим диагностированием на основе факторного анализа с предиктивным формированием управляющего воздействия на внешние и внутренние возмущения.

Для решения поставленной задачи предложена разработка модели функционирования элемента энергокластера электроинфраструктуры, реализующая мониторинг электрических параметров в процессе производства изделий микроэлектроники с воздействием на него внешних и внутренних возмущающих факторов и основанной на анализе результатов полученных данных и статистического управления.

РАЗДЕЛ 2. ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА В ПОВЫШЕНИИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ В УСЛОВИЯХ КОНЦЕПЦИИ ААИС

2.1 Особенности мониторинга элементов электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС

В условиях развития инновационной концепции ААИС, которая определяет высокий уровень требований к ЭИСП в повышении результативности производства микроэлектроники, система мониторинга характеризуется комплексом определенных ограничений для ее реализации.

Реализация ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС связана с созданием и внедрением автоматизированных систем управления и мониторинга технологических процессов, систем комплексных испытаний, оперативного измерения и контроля параметров функционирования всех элементов энергокластеров. Такие объекты мониторинга и управления в ЭИСП, как энергокластеры типа «распределение» - подстанции, являются совокупностью элементов повышенной сложности с большим числом измеряемых и контролируемых параметров (мониторинг в реальном времени) [76].

Передовые системы мониторинга ЭИСП, сочетающие в себе такие функции, как мониторинг генерирующих мощностей, выравнивание нагрузки, защита и измерения, обеспечивают безопасную и эффективную доставку электроэнергии для каждого элемента энергокластера [76].

Элементы энергокластеров ЭИС МЭП являются сложно структурно определенными и обладают такими свойствами, как неполнота математической конструкции и разнородностью параметров, неполной и сложной формализацией модели [62].

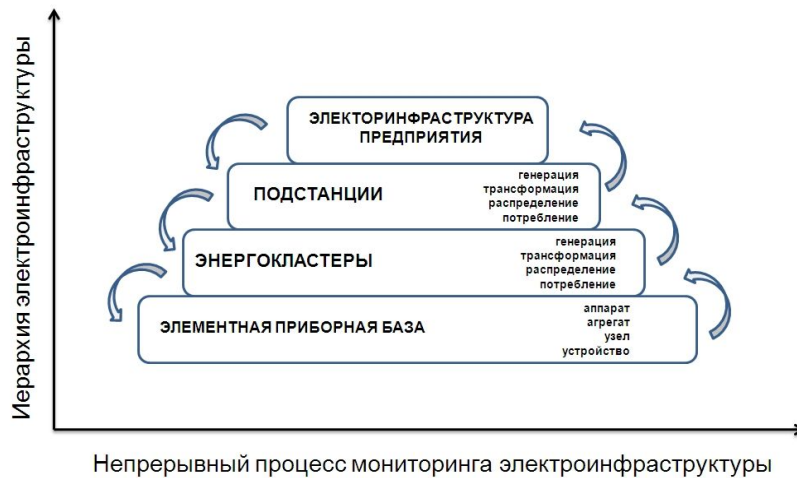


Рисунок 16 - Процесс мониторинга электроинфраструктуры предприятия

Мониторинг и управление элементами ЭИС МЭП в концепции ААИС являются определенно сложными задачами, поскольку для построения системы необходимо формальное описание элемента управления совместно с уточнением критериев управления, сформированных на базе математического аппарата.

В настоящее время в системах мониторинга элементов энергокластеров ЭИС МЭП управляет диспетчер и на основании его знаний формируется управленческое решение. Именно поэтому построение моделей функционирования элементов, основанных на статистических данных параметров с дальнейшим применением в предиктивном управлении, определяется как основополагающее направление в реинжиниринге и модернизации ЭИСП в условиях концепции ААИС.

Внедрение концепции ААИС повышает качество производства микроэлектроники при уменьшении энергопотребления, обеспечивая устойчивость к внутренним и внешним возмущающим воздействиям, с возможностью предиктивно определять управляющее действие, в сравнении с существующими электроинфраструктурами [91].

В управлении процессами без полного математического описания, статистические системы более быстродействующие, устойчивые и точные за счет более полного описания функциональной среды [74]. Основным плюсом активно-адаптивной интеллектуальной сети является то, что полученные данные, включают в себя знания, основанные на качественной информации. При этом есть возможность объективно описать пространство состояний и организовать предиктивное управляющее действие системы в условиях непрерывной изменчивости вектора состояния элемента ЭИСП [48]. Аналоговые сигналы, поступающие от измерительных ТТ и ТН (рисунок 17), сигналы положения состояний исполнительных автоматов и элементов, а также сигналы, соответствующие заданным параметрам элементов, поступают в контроллер, определяющий сравнение и вычисляющий рассогласование между заданными показателями и текущими значениями, далее, исходя из разницы, полученные значения, поступает на вход устройства, формирующего управляющее воздействие [67].

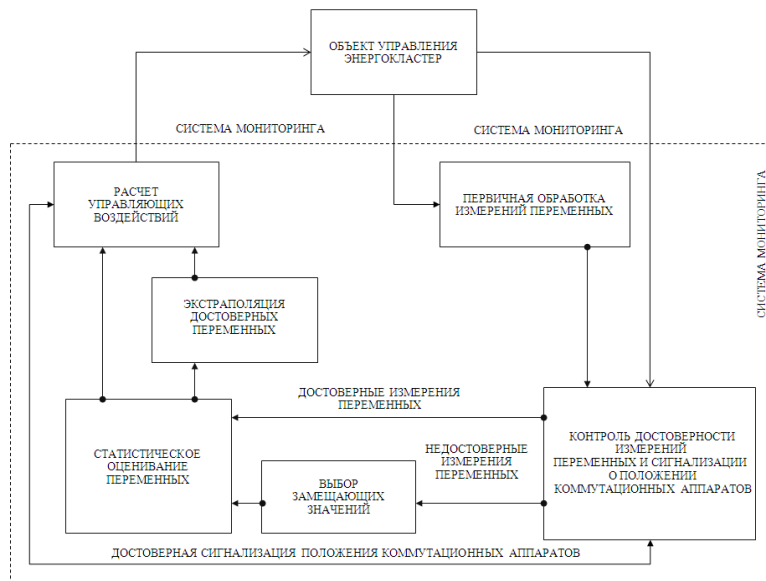


Рисунок 17 - Схема информационных потоков в системе мониторинга энергокластера ЭИС МЭП

Управляющее воздействие поступает на исполнительное устройство, осуществляющее регулирование параметров в элементе ЭИС МЭП (освещение, электрообогрев, система вентиляции и кондиционирования, электродвигатели и т.п.). Изменение режима функционирования элемента энергокластера направлено на поддержание параметров (ГОСТ ПКЭ - показатели качества энергии) в ЭИС МЭП в рамках заданных техническими характеристиками производства показателей.

Мониторинг основных параметров элемента ЭИС МЭП реализуется методом контроля динамически меняющихся режимов функционирования, вследствие возникновения внешних и внутренних возмущений [71].

Генезис энергоинформационной «интеллектуализации» элементов ЭИС МЭП с применением в ее составе элементов энергокластеров систем мониторинга, с контролем динамики функционирования, является актуальным направлением совершенствования алгоритмов функционирования ЭИС МЭП.

2.2 Разработка математической модели системы мониторинга электрических параметров элемента энергокластера ЭИС МЭП

В настоящее время к качеству производства микроэлектроники предъявляется более высокий уровень требований, который определяет необходимость «интеллектуализации» систем мониторинга и управления производственным процессом.

Качество изделий микроэлектроники напрямую взаимосвязано с обеспечением жестких технологических режимов всего цикла производства [92].

В состав параметров мониторинга входят характеристики электрической энергии (ПКЭ), основными из которых являются: напряжение, ток, частота, потребляемая мощность и т.д..

На нижнем уровне мониторинга и управления реализуется взаимодействие контроллеров с измерительными преобразователями и

исполнительными элементами инженерного оборудования (Рисунок 18). С нижнего уровня от измерительных устройств поступают данные о состоянии процесса управления на контроллер, далее производится расчет необходимых управляющих воздействий в соответствии с воздействием предиктивного регулирования, затем осуществляется вывод управляющих сигналов на исполнительные элементы [113].

В системе мониторинга ЭИС МЭП реализуется контроль 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 (Рисунок 19) [111].

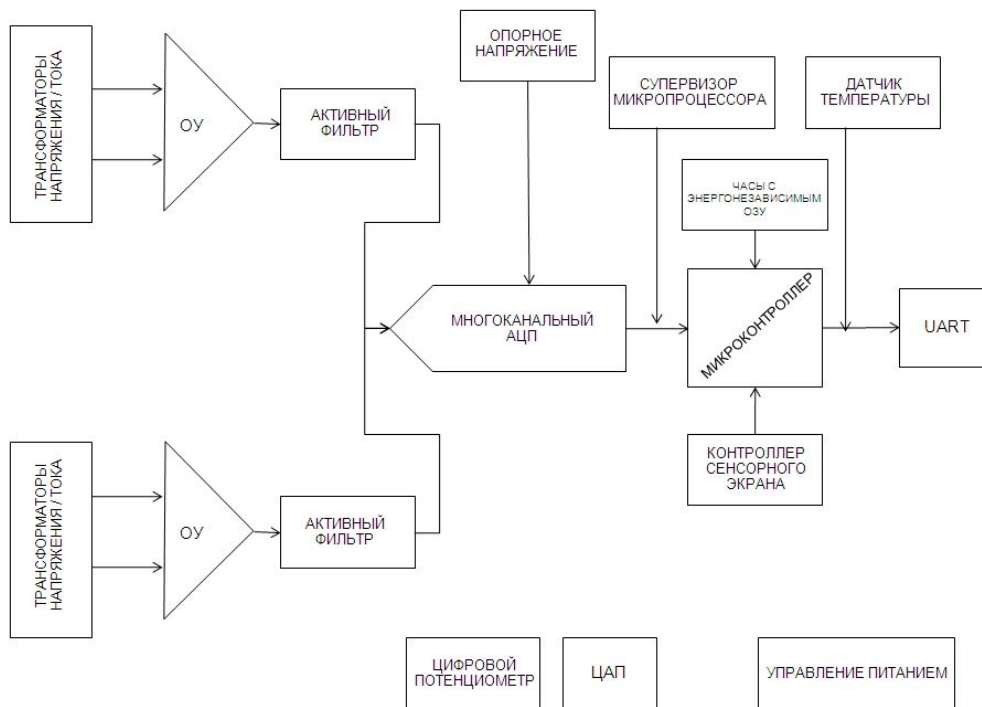


Рисунок 18 - Общая схема типичной системы мониторинга ПКЭ элемента энергокластера

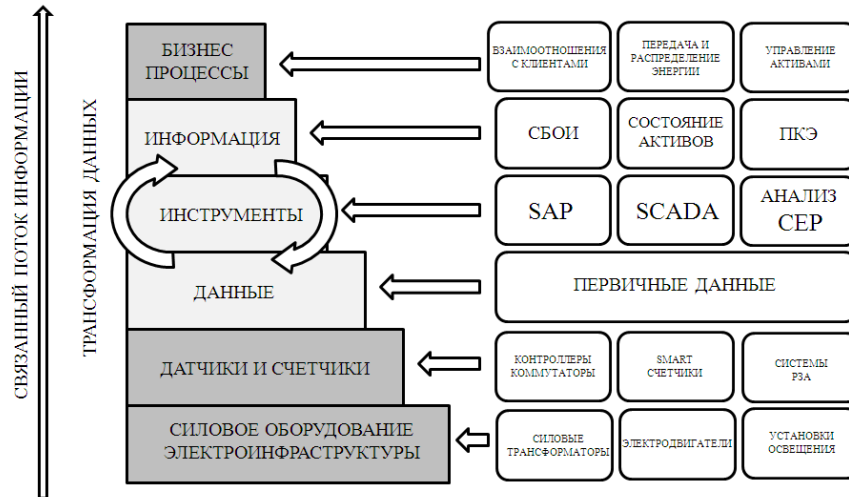


Рисунок 19 - Модель управления данными ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС

Для эффективного процесса мониторинга необходимо применение многомерных статистических методов [73]. При применении одномерных методов контроля взаимосвязанных показателей погрешности определены следующими причинами:

- различные доверительные области: например при независимом контроле;
- определение совместного уровня значимости невозможно по отдельным показателям, а только при наличии корреляции [73].

Модель объекта моделирования - ЭИС МЭП, то есть системы S , можно представить в виде величин, описывающих процесс функционирования реальной системы и образующиеся в случае следующие подмножества:

Совокупность входных воздействий на систему:

$$u_i \in U, i = \overline{1, n_u} \quad (1).$$

Совокупность выходных характеристик системы:

$$y_j \in Y, j = \overline{1, n_y} \quad (2).$$

Совокупность воздействий внешней среды:

$$h_l \in H, l = \overline{1, n_h} \quad (3).$$

Совокупность внутренних (собственных) параметров системы:

$$x_k \in X, k = \overline{1, n_x} \quad (4).$$

Процесс функционирования S во времени t в общем случае может быть описан оператором F_s . Преобразованным зависимыми переменными в независимые, так что в векторном виде представляется как:

$$y(t) = F_s(x, v, h, t) \quad (5).$$

Состояние ЭИС МЭП можно описать математической моделью вида:

$$X_{x+l} = X_h + T(X_{h3} * H_k) * V_k + T(X_{h3} * H_k) * G_k \quad V_k = Y(X_k + H_k) + N_k \quad (6)$$

где,

X_k - вектор состояний электроинфраструктуры;

X_h - вектор управляющих воздействий;

V_k - вектор измерений;

G_k, N_k - последовательность случайных величин;

H_k - матрица параметров ЭИСП;

Y - нелинейная вектор функция.

Выборки статистические из совершенно разных процессов элементов в ЭИС МЭП реализованы для определения их законов распределения и выделения вероятностных характеристик [73].

Ограничения получаемых данных характеризуется неполным объемом выборки, необходимой для достоверного описания данных случайного процесса и не дает существующими методами выявить закономерности процессов. Ограниченность объема выборки, обусловленная условиями функционирования, не позволяет обеспечить определенную точность описания параметров режима [73].

Неопределенные данные позволяют описать количественные значения параметров функционирования и состояние ЭИС МЭП только с некоторой близостью, опираясь на номинальные параметры элементов энергокластеров и предположительную совокупность включенных и отключенных элементов (топология сети), и соответствует случайному или стохастическому воздействию на систему.

Неточно определенные данные характерны для определений, когда известно лишь предположительный диапазон изменений параметров режима функционирования или топология электроинфраструктуры. Полностью неопределенные или отсутствующие данные подходят к случаям абсолютной неизвестности об элементе и соответственно предопределяет неоднозначность его описания [110].

Математическая модель управления ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС должна учитывать взаимосвязь электрических параметров функционирования элементов, топологии ЭИС и режим технологического процесса, что в известных исследовательских подходах не учитывается. Для этого применяется метод, в основе которого определено моделирование системы мониторинга элемента энергокластера ЭИС МЭП с параметрическим диагностированием на основе факторного анализа, соответствующих параметрам состояния.

Основными значимыми измеряемыми электрическими параметрами функционирования электроинфраструктуры являются напряжение, частота, ток и потребляемая мощность. Важным условием является определение зависимости этих параметров от управляющих воздействий и возмущающих внешних и внутренних факторов.

2.3 Разработка математической модели процесса мониторинга состояния элемента энергокластера на основе параметрического диагностирования

Мониторинг определяет собой постоянный процесс сбора, обработки и подготовки решений, в направлении пути достижения цели и задач работы ЭИС МЭП. Ниже представлена разработанная модель IDEF3 процесса мониторинга в программном пакете AllFusion ERwin Data Modeler (рисунок 20).

AllFusion ERwin Data Modeler - CASE - инструмент для создания проектов и БД, который реализует возможность, собирать документацию,

создавать БД. Модели информации способны показывать структуру информации, что в итоге реализует совокупность результативности процессов функционирования ЭИСП на любом уровне сложности информации, технологий БД [107].

На данный момент реализованы два подхода к разработке мониторинга ЭИС МЭП, которые обусловлены разными принципами декомпозиции:

- модульно функциональный или структурный подход, где основополагающим принципом определена функциональная декомпозиция, в котором ЭИС описывается в терминах иерархии ее функций и передачи данных между отдельными элементами;
- объектно-ориентированный подход - использует объектную декомпозицию [50].

Электроинфраструктура описывается в терминах элементов и связей между ними, а поведение энергокластеров в терминах обмена между ними. В объектно-ориентированном анализе применяются различные модели, описывающие:

- функциональную структуру ЭИС;
- последовательность выполняемых действий в ЭИС;
- передачу информации между функциональными процессами ЭИС;
- отношения между данными элементов.

В объектно-ориентированном анализе используются в основном следующие методологии:

- SADT (Structured Analysis and Design Technique) - концепция структурного проектирования и анализа. Реализована для определения функций к разрабатываемой системе (нотации IDEF0);
- DFD (Data Flow Diagrams) - диаграммы потоков информации, представляют ЭИС как сеть связанных между собой функций;
- IDEF3 - данная методология проектирования позволяет описать процессы, фокусируя внимание на течении этих процессов.

Модель IDEF3 определяется как множество различных функций,

оперирующих с определенными данными. Функционирование представлено в виде прямоугольников, данные - в виде стрелок [50]. ЭИС представляется как совокупность взаимодействующих работ или функций. Элемент ЭИС имеет границу, которая отделяет его от остальных элементов. Модель процесса мониторинга элемента энергокластера ЭИСП в условиях технологии ААИС представлена на (Рисунок 20) [50].

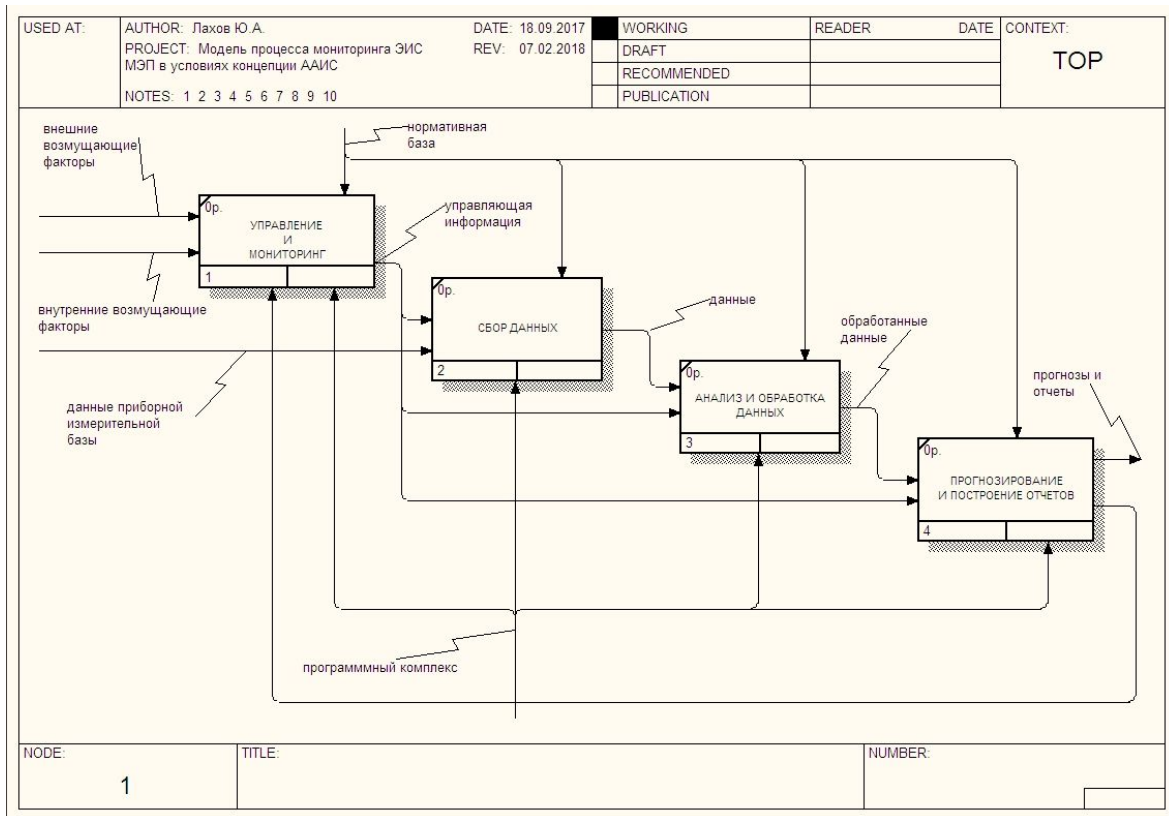


Рисунок 20 - Модель процесса мониторинга элемента энергокластера ЭИСП в условиях технологии ААИС

В состав модели системы мониторинга входят следующие подпроцессы:

- управление и мониторинг элементов энергокластеров;
- сбор и обработка данных элементов энергокластеров;
- анализ и обработка данных элементов энергокластеров;
- прогнозирование и построение отчетов [107] .

На вход поступает информация о внешних и внутренних факторах (для различных типов энергокластеров - различные факторы), которая используется и преобразуется для получения результата (выхода) в виде (обратной связи) управляющего воздействия, а также анализа и прогноза [108]. Перспективным направлением в современных системах мониторинга и управления, является использование параметрического диагностирования на основе факторного анализа, применяющееся в настоящее время для синтеза регулирующей приборной базы (ПБ) в ААИС.

Для разработки математической модели для процесса мониторинга функционирования элемента используем инструментарий, реализованный в ПО Statistica, в основе которого лежит моделирование системы временных рядов, предназначенных для повышения точности прогнозирования. Методика базируется на анализе взаимосвязей и совместной обработке контролируемых параметров элемента энергокластера ЭИСП с управляющей адаптацией к возможным нарушениям основных предположений регрессионного анализа [79].

Основной функцией аппарата мониторинга является получение точных, обновляемых в режиме реального времени параметров текущего состояния элемента по результатам временного ряда измерений, связанных уравнением наблюдения с оцениваемыми параметрами.

Исходные значения измеряемых величин (напряжения, тока и частоты) находятся в некотором начальном состоянии, но под действием внешних и внутренних возмущающих факторов, влияющих на процесс функционирования, вносятся определенные отклонения и случайные искажения в ЭИС МЭП.

Значение параметров напряжения, тока и частоты измеряются в режиме реального времени, с дискретностью, достаточной для формирования управляющего воздействия.

Одной из задач мониторинга элемента энергокластера ЭИСП является прогнозирование его состояния: предиктивное действие на возможность нарушения процесса способствует обеспечению работоспособности элемента

энергодвигателя и возможность упреждающего воздействия на аварийную ситуацию.

В качестве одного из примеров рассмотрена методика мониторинга элемента энергодвигателя ЭИСП «потребление» - электродвигатель.

Исходя из теории электротехники знаем, что P - активная мощность выражается формулой как:

$$P = \int p dt \quad (7),$$

где $p = u i$ - t_0 определена мгновенной мощностью, T - период переменного тока.

В формуле для p_i мгновенные значения u и i , эквивалентны формулам

$$u = U_m \sin \omega t \quad (8),$$

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi) \quad (9),$$

где ω - угловая частота, измеряется в радианах в секунду и определяется как $\omega = 2 \pi f$, U_m , I_m - амплитуды напряжения и тока, f - частота переменного тока [90].

В процессе мониторинга элемента энергодвигателя данные контролируемых параметров регистрируются через предельно малые временные промежутки и представляют систему взаимосвязанных временных рядов [73].

С введением новых стандартов IEC61869-9/-13 возникает возможность задавать произвольную частоту дискретизации аналоговых сигналов и структуру передаваемого набора данных. Например, в настоящее время для алгоритмов функции защиты элементов используют 20 или 24 точки на период T . Для повышения надежности передачи данных предложено использование протокола RTP, включающего в себя синхронизацию времени и не требует отдельной сети и имеет дублирование канала передачи данных. ЭИСП в условиях ААИС обязательно должна быть синхронизирована по времени, а транспортировка данных должна быть резервирована. В рамках стандарта IEC 61869-9 присутствует возможность в одном информационном кадре от измеряющей приборной базы передавать до 20 аналоговых сигналов. Синхронизация моментов передачи цифровых отсчетов в устройствах

приборной базы мониторинга и управления, электронных ТТ и ТН обеспечиваться необходимой точностью в 2 мкс [67].

Предлагается решение проблемы мониторинга элементов энергокластеров ЭИС МЭП с применением многомерного статистического анализа данных, получаемых от измерительной ПБ. Использование метода анализа факторов параметров из ПО Statistica для решения проблемы параметрического диагностирования элемента энергокластера «потребление» - электродвигателя.

При мониторинге элемента энергокластера «потребление» - электродвигателя, выбираются основные показания параметров его функционирования, измерения электрических величин приборной базы и данных функционирования (нагрузка, напряжение и др.).

Совокупность эксплуатационных факторов, которые влияют на функционирование элемента энергокластера «потребление» - электродвигателя, определены по следующим характеристикам:

1. Электромеханические факторы:

- степень загрузки элемента;
- вибрационная составляющая элемента;
- электрическое напряжение на элементе;
- сопротивление изоляции элемента.

2. Факторы без зависимости от использования элемента (объективные):

- влажность;
- запыленность воздуха производственной среды;
- температура.

3. Факторы случайные (субъективные):

- персонал обслуживающий (квалификация);
- техническое обслуживание и ремонт элементов.

Обязательно должны быть определены факторы, имеющие влияние на надежность функционирования элементов [109]. Для получения статистических показателей определен элемент - электродвигатель энергокластера «потребление» ЭИС МЭП. На Рисунке 21 представлена структура

информационных данных элемента энергокластера «потребление» электродвигателя.



Рисунок 21 - Структура информационных данных элемента энергокластера «потребление» - электродвигателя

Параметры мониторинга элемента ЭИС МЭП описываются математической моделью, применяемой в дальнейшем для прогнозирования состояния элемента и его значений соответствующих характеристик. Общее описание математической модели представлено на Рисунке 22.

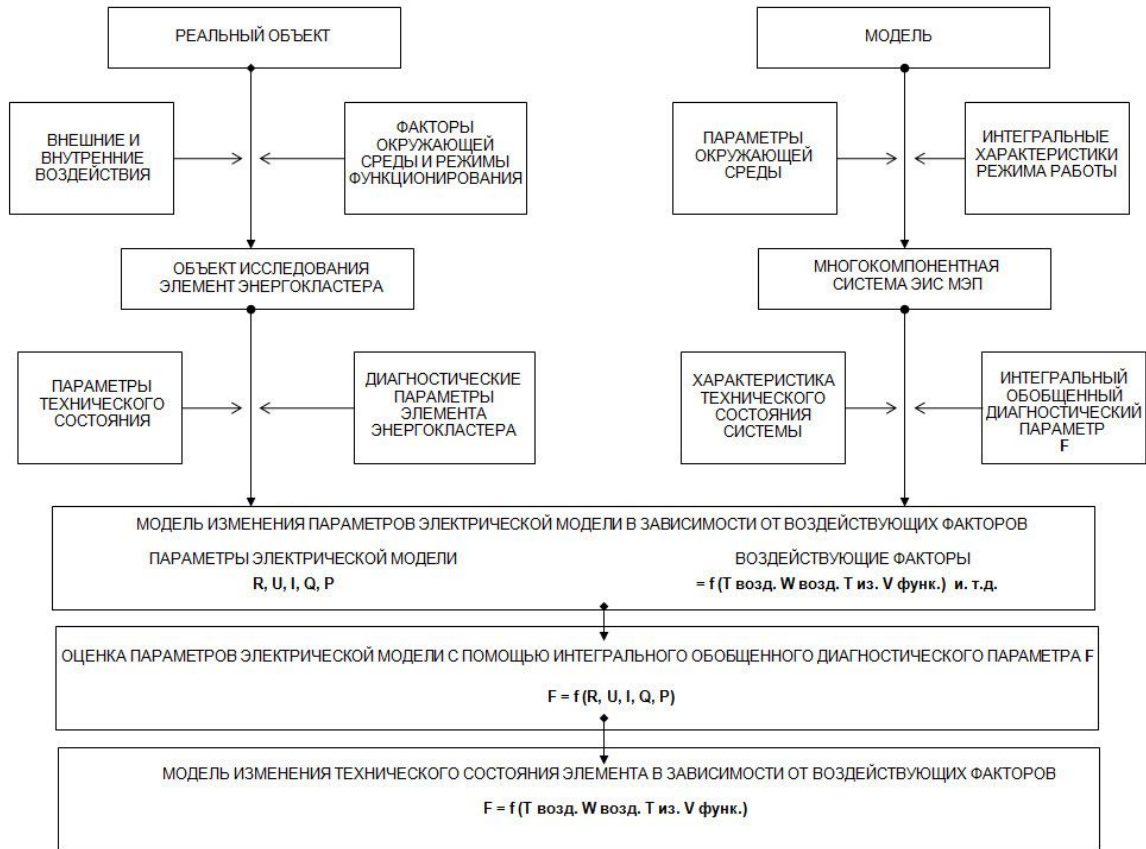


Рисунок 22 - Общее описание математической модели прогнозирования состояния элемента энергокластера ЭИС МЭП и этапы ее построения

Выбор типа карт для контроля рассеяния

Рассматривается процесс функционирования элемента энергокластера ЭИС МЭП с множеством p контролируемых параметров X_1, X_2, \dots, X_p . Через равные отрезки времени определяется выборка из n наблюдений: x_{ijt} – результат i -го наблюдения ($i = 1 \dots n$) по j -му параметру ($j = 1 \dots p$) для выборки с номером t ($t = 1 \dots m$, m – количество выборок, взятых для анализа отлаженного процесса). По этим данным определяются вектор средних значений μ и оценка ковариационной матрицы Σ процесса [73].

Далее определим возможность, что в дальнейшем происходит нарушение процесса: его рассеяние увеличивается и достигает значения Σ_1 , причем

определители ковариационных матриц в нарушенном и исходном процессе (обобщенные дисперсии) связаны соотношением $|\Sigma_1| = d|\Sigma|$, ($d=1.25 - 2$).

В этом случае предлагается реализовать три инструмента: экспоненциально взвешенных скользящих средних для обобщенных дисперсий, кумулятивных сумм для обобщенных дисперсий и карты обобщенной дисперсии.

Для сравнения чувствительности карт к увеличению дисперсии используется средняя длина серий - количество выборок от момента нарушения до момента обнаружения этого нарушения. В качестве данных определены параметры исследуемого процесса.

3 - количество контролируемых параметров p (количество столбцов);

4 - объем выборки n ;

10 - кол-во выборок для анализа m (всего строк $3+m n$);

4-7 строки - наблюдения 1-й выборки ($x_{1,1,1}-x_{4,3,1}$);

8-11 - 2-й выборки ($x_{1,1,2}-x_{4,3,2}$) и т.п.

0.44 -0.56 -0.90

0.69 0.39 -1.67

0.85 0.36 1.47

-0.39 -0.28 -0.24

-3.02 -2.97 -2.94

-0.29 -1.71 -1.49

Обнаружение нарушений проводится с помощью мониторинга и построением выбранного типа карт, которая будет только считывать полученные результаты и использовать их для мониторинга.

Алгоритм расчета

Оценка параметров процесса

Оценка вектора средних

$$\mu_0 = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_p)^T \quad (10)$$

$$\mu_j = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^n x_{ijt}, \quad j = 1 \dots p \quad (11)$$

оценка компонент ковариационной матрицы (матрица S – оценка матрицы Σ):

$$s_{jk} = \frac{1}{m(n-1)} \sum_{t=1}^m \sum_{i=1}^n (x_{ijt} - \mu_j)(x_{ikt} - \mu_k), \quad j = 1 \dots p, k = 1 \dots p \quad (12).$$

Моделирование потока выборок

Моделируем совокупность случайных величин Z из p столбцов из m n нормально распределенных чисел с параметрами $(0,1)$, используя генератор случайных чисел [73].

Тогда значения X , с распределением по многомерному нормальному закону с полученным вектором средних и ковариационной матрицей, определяются при использовании линейного преобразования, которое имеет вид

$$X = AZ + \mu \quad (13),$$

где A - нижняя треугольная матрица

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & \dots & 0 \\ a_{21} & a_{22} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pp} \end{bmatrix} \quad (14),$$

коэффициенты a_{jk} которой определяются рекуррентной процедурой:

$$a_{jk} = \frac{s_{jk} - \sum_{r=1}^{j-1} a_{kr} a_{jr}}{\sqrt{s_{jj} - \sum_{r=1}^{j-1} a_{jr}^2}}; \quad (15),$$

$$1 \leq k \leq j \leq p.$$

Моделируем выборки и сохраняем их в соответствующем количестве файлов.

Карта обобщенной дисперсии

В качестве основного критерия для истинности гипотезы о равнозначности ковариационной матрицы процесса Σ заданному параметру Σ_0 возможно использовать обобщенную дисперсию - определитель ковариационной матрицы [74]. Для каждого момента времени t формируется выборочная ковариационная матрица S_t , элементы которой

$$s_{jkt} = \frac{1}{n-1} \sum (x_{ijt} - \bar{x}_j)(x_{ikt} - \bar{x}_k), \quad (16)$$

x_{ijt} - результат i -го наблюдения по j -му показателю в t -й выборке ($i = 1, \dots, n$, $j, k = 1, \dots, p$, $t = 1, \dots, m$, m – количество выборок, взятых для анализа процесса). Определитель матрицы (1) $|\mathbf{S}_t|$ есть обобщенная дисперсия t -й мгновенной выборки.

Также вычисляются оценки средней ковариации по всей совокупности выборок:

$$\bar{s}_{jk} = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m s_{jkt}, \quad (17)$$

которые образуют ковариационную матрицу \mathbf{S} ; ее определитель $|\mathbf{S}|$ используется в качестве оценки целевой обобщенной дисперсии $|\Sigma_0|$. При построении КК определяются параметры обобщенной дисперсии $|\mathbf{S}_t|$ для каждой t -ой выборки [73].

Контрольные границы карты обобщенной дисперсии определяются из соотношений:

$$m_{|\mathbf{S}|} \pm 3s_{|\mathbf{S}|}, \quad (18)$$

математическое ожидание обобщенной дисперсии $m_{|\mathbf{S}|} = b_1|\Sigma_0|$; стандартное отклонение $s_{|\mathbf{S}|} = \sqrt{b_2} |\Sigma_0|$; коэффициенты:

$$b_1 = \frac{1}{(n-1)^p} \prod_{j=1}^p (n-j); \quad (19)$$

$$b_2 = \frac{1}{(n-1)^{2p}} \prod_{j=1}^p (n-j) \left[\prod_{k=1}^p (n-k+2) - \prod_{k=1}^p (n-k) \right], \quad (20)$$

тогда положение верхней UCL и нижней LCL границ карты обобщенной дисперсии определяется по формуле

$$\begin{pmatrix} UCL \\ LCL \end{pmatrix} = |\Sigma_0| (b_1 \pm u_{1-\alpha/2} \sqrt{b_2}). \quad (21)$$

Карта кумулятивных сумм

Для лучшей чувствительности карты обобщенной дисперсии к предполагаемому малому увеличению рассеяния процесса применяем карту кумулятивных сумм для обобщенной дисперсии [73]. В качестве

контролируемой статистики используем сумму отклонений дисперсии от целевого значения $|S|$.

$$C_t = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^t (|S_i| - |\bar{S}|), \quad t=1, \dots, m, \quad (22)$$

где s - оценка стандартного отклонения обобщенной дисперсии.

Найденное значение должно находиться в пределах КК, положение которой определяется рамкой усеченной V-маски. Учитывая, что при контроле рассеяния, в первую очередь, интересует его увеличение по сравнению с целевым значением, используем только нижнюю разрешающую линию маски, уравнение которой представим в виде:

$$C_{kp} = C_0 - 5 + 0,5(t - t_0) \quad (23)$$

где t_0 - номер выборки, соответствующий опорной точке маски ($t_0 = 11$),

C_0 - значение кумулятивной суммы по формуле (23) при $t = t_0$.

Карта экспоненциально взвешенных скользящих средних для обобщенной дисперсии

Для обобщенной дисперсии значения экспоненциально взвешенной скользящей определяются по формуле:

$$E_t = (1 - k) E_{t-1} + k|S_t|; \quad (24)$$

где $0 \leq k \leq 1$ - параметр сглаживания, $E_0 = |\Sigma_0|$; $|S_t|$ - обобщенная дисперсия t -й мгновенной выборки. Процесс определен статистически управляемым, если полученные значения оказались внутри контрольных границ $|\Sigma_0| \pm H\sigma_{E_t}$, где H - параметр, определитель положения границ карты - он оценивается по результатам испытаний; σ_{E_t} - среднеквадратичное отклонение величин E_t , определяемое из формулы:

$$\sigma_{E_t}^2 = \frac{\sigma_{|s|}^2}{n} \frac{k}{2 - k} [1 - (1 - k)^{2t}]. \quad (25)$$

где $\sigma_{|s|} = \sqrt{b_2} |\Sigma_0|$; параметр сглаживания по умолчанию 0,25.

Для расчета H учитываем, что на уровне значимости 0,0027 допустим 1 выброс на $1/0,0027=370$ выборок.

Моделирование увеличения рассеяния

Предполагается, что в дальнейшем происходит нарушение процесса: его рассеяние увеличивается и достигает значения Σ_1 , причем определители ковариационных матриц в нарушенном и исходном процессе (обобщенные дисперсии) связаны соотношением $|\Sigma_1| = d|\Sigma|$, ($d=1.25 - 2$).

Таким образом, объектом моделирования являются выборки с ковариационной матрицей Σ_1 , каждый элемент которой определяется как элемент матрицы, умноженный на $d^{1/p}$ (т.е. корень p - й степени из d). Получим набор, 10000 выборок при $d=0,25$, еще 10000 при 0,5 и тп - до $d=2$.

Предложенный метод решает задачу процесса мониторинга и диагностирования технического состояния элемента энергокластера ЭИС МЭП и выделение элемента, в котором произошел отказ или возникла аварийная ситуация.

2.4 Разработка методики мониторинга элемента энергокластера ЭИС МЭП с параметрическим диагностированием на основе факторного анализа

Применение факторного анализа параметров функционирования элемента энергокластера позволяет определить предиктивное состояние нарушения процесса в различных элементах энергокластеров электроинфраструктуры предприятия производства микроэлектроники (ЭИС МЭП) в условиях концепции ААИС, которое часто невозможно выявить при традиционных системах мониторинга.

Это обосновано тем, что нарушение корреляционных связей между параметрами мониторинга элемента энергокластера определяется намного раньше, чем нарушение сигнала в измерительном канале приборной базы.

Искажение корреляционных связей дает возможность своевременно определить факторный анализ параметров. Показателем технического состояния элемента энергокластера определено среднее расстояние между факторными нагрузками для определенной выделенной группы параметров.

Данная задача решается в ПО Statistica способом стандартизированной формы представления параметров. Все измеряемые параметры определяются как равнозначные по степени их связи с процессами в элементе энергокластера ЭИС МЭП.

Определенные направления в повышении результативности ЭИС МЭП в инициализации адаптивных свойств, реализация которых основана на подходе к системам мониторинга и управления как к интеллектуальным. Основным направлением процесса управления является использование интеллектуальных систем мониторинга, реализующих параметрическое диагностирование на основе факторного анализа для отображения предиктивного состояния о функционировании элемента энергокластера [72].

В настоящее время прогнозирование параметров, характеризующих состояние элементов энергокластеров ЭИСП, реализуется на основе

классических моделей авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего [109].

Определенные временные ряды анализируются независимо друг от друга, и допуская возможность присутствия коррелированности характеристик. Также не инициализируется проверка приведения главных возможных предположений регрессионного анализа и не инициализируются адаптивные методы к возможным нарушениям, в результате это ведет к погрешностям при прогнозировании параметров [109].

Существующие подходы к обработке данных в системах управления и мониторинга, не имеют определенную точность прогноза, что ведет к большей вероятности принятия неправильного решения по управлению элементом энергокластера [109].

Для увеличения точности прогноза применяется подход на основе адаптивной регрессионной модели и расширения ее для модели системы временных рядов, что в совокупности дает модель с высокой точностью аппроксимации и прогноза в реализации предиктивного предупреждения о возможной аварии и надежного функционирования элемента энергокластера [109].

Для решения задачи прогнозирования состояния элемента энергокластера по результатам мониторинга каждого из его параметров соответствующий временной ряд $y(t)$, наблюдаемый в определенные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n , представляется в виде суммы функций:

$$y(t) = f(t) + g(t) + \psi(t) + \varepsilon(t), \quad t = \overline{t_1, t_N}, \quad (26)$$

где $f(x)$ - неслучайная функция;

$g(t)$ - периодическая неслучайная функция;

$y(t)$ - случайная регулярная функция;

$e(t)$ - нерегулярная составляющая компонента [73].

Выделение постоянных компонент ряда определяет аппроксимацию функций $f(t)$ и $g(t)$, как правило, тригонометрическими и алгебраическими

полиномами, с оценкой показателей полиномов по измерениям методом МНК [86].

Функцию тренда $f(t)$ приближают полиномом низкой степени и различными нелинейными по определенным параметрам выражения. Следующим действием определяются периодические и долговременные циклические колебания $g(t)$ [85].

После идентификации неслучайных составляющих $f(t)$ и $g(t)$ следующим шагом анализа временного ряда определяется моделирование случайной с элементами регулярности функции (t) [86].

В данной модели возможно применение различных математических структур, включая линейную комбинацию, состоящую из нескольких структур (авторегрессия, скользящее среднее, авторегрессия - скользящее среднее, авторегрессия проинтегрированного скользящего среднего) [73].

Подход адаптивного регрессионного моделирования определяет проверку соблюдения условий использования МНК: константу дисперсии, неопределенность регрессоров, распределение ошибок, нулевой параметр математического ожидания ошибки [73].

Множество составляющих модели определяются с помощью t - критерия; мультиколлинеарность определяется по коэффициентам парной корреляции [73].

Для ослабления по максимуму воздействия взаимозависимости регрессоров применяется центрирование информации и далее - устойчивые к мультиколлинеарности вычислительные схемы МНК [84].

Адаптация к нарушению гипотезы о нормальности инициализируется с робастными методами. Для установления условия нарушения однородности или постоянства дисперсии определяем по графикам остатков [85]. Для проверки условия независимости ошибок определен критерий Дарбина - Уотсона [85]. При условии реализации МНК, предложенная комплексная модель временного ряда применяется для прогноза.

Обработка временных рядов МНК

МНК - минимум суммы квадратов случайных отклонений ε_t , фактических параметров временного ряда от выборки $f(t)$:

$$\sum_{t=1}^{t=n} \varepsilon_t^2 = \sum_{t=1}^{t=n} [x_t - f(t)]^2 \rightarrow \min \quad (27)$$

Определяется минимум суммы квадратов нарушений. При суммировании отклонения они компенсируют друг друга, обладая как положительным, так и отрицательным значениями. МНК вычисляет точные результаты, когда $f(t)$ линейного вида [73].

Рассмотрим МНК для вычисления значений нижеопределенных зависимостей:

$$f(t) = a_0 + a_1 t - \text{линейная зависимость}; \quad (28)$$

$$f(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 - \text{парабола}; \quad (29)$$

$$f(t) = a_0 + \frac{a_1}{t} - \text{гипербола}. \quad (30)$$

Для линейной зависимости условие (28) запишется в виде

$$\sum_{t=1}^{t=n} [x_t - a_0 - a_1 t]^2 \rightarrow \min \quad (31)$$

Для краткости определим сумму

$$\sum_{t=1}^{t=n} [x_t - a_0 - a_1 t]^2 \rightarrow \min \quad (32)$$

через Q .

Задача вычисления выборки реализуется так, чтобы найти коэффициенты a_0 и a_1 , чтобы $Q = \min Q$.

Обязательным является минимум функции - равенство нулю частных производных данной функции по значениям a_0 и a_1 :

$$\frac{\partial Q}{\partial a_1} = -2 \sum_{t=1}^{i-n} (x_t - a_0 - a_1 t) t = 0 \quad (33)$$

В итоге всех вычислений реализована система нормальных уравнений: получая результат от решения системы относительно a_0 и a_1 , в итоге значения функции:

$$f(t) = a_0 + a_1 t \quad (34)$$

Обработка временных рядов МНК с весами.

Экстраполяция с МНК развития изменений параметров на прогноз определяет вес наблюдения, который равнозначен для прогноза. Изменение параметров во временном промежутке, ближайший к моменту прогноза определен как наиболее важный для прогнозирования, чем более отдаленный. Но отдаленные от точки прогноза наблюдения временного ряда дают информацию о процессе. При учете важности весов в определенные моменты времени выбирают метод () и метод экспоненциального сглаживания [73].

Рассмотрим метод МНКВ.

Отклонению ε_t , придается вес $\beta_t < 1$, причем веса увеличиваются для точек, находящихся ближе к моменту прогноза и чем дальше, тем меньшим весом обладает, тем меньшее влияние оказывает на уровень прогноза показателя.

Для определения веса β_t , удобно использовать выражение:

$$\beta_t = \lambda^{n-(t-1)} \quad (35)$$

где λ - число, определено меньше единицы;

n - число наблюдений.

Ранние наблюдения меньше оказывают влияние на прогноз, при меньшей величине λ

Условие для МНКВ реализуется в следующем виде:

$$Q = \sum_{t=1}^{i-n} \beta_t [x_t - f(t)]^2 \rightarrow \min \quad (36).$$

Система уравнений для МНКВ обладает видом:

$$\begin{cases} \sum_{t=1}^n \beta_t x_t = a_0 \sum_{t=1}^n \beta_t + a_1 \sum_{t=1}^n \beta_t t \\ \sum_{t=1}^n \beta_t x_t t = a_0 \sum_{t=1}^n \beta_t t + a_1 \sum_{t=1}^n \beta_t t^2 \end{cases} \quad (37)$$

Временной ряд определяется с помощью взвешенной скользящей средней, с весом подчиняющимся экспоненциальному закону и чем дальше определена точка ряда, тем меньше она реализуется в создании прогноза. Скользящая средняя S_t временного ряда по t наблюдениям при длине ряда n :

$$S_k = \frac{X_k + X_{k+1} + \dots + X_{k+(m-1)}}{m}; \quad k + (m-1) \leq n \quad (38).$$

Скользящая средняя прогнозирует временные ряды, но данный метод дает грубые результаты. Прогнозирование временных рядов методом ЭС реализуется на вычислении экспоненциальной средней k -го порядка для ряда x_i :

$$S_t^{(k)} = a \sum_{i=0}^{t-1} (1-a)^i \cdot S_{t-1}^{(k-1)} \quad (39)$$

где $S_t^{[k]}$ - экспоненциальная средняя k -го порядка для t -го временного ряда;

$S_{t-1}^{[k-1]}$ - экспоненциальная средняя $[k-1]$ -го порядка для $[t-1]$ -го временного ряда;

k - порядок средней в зависимости от степени прогноза полинома;

t - точка ряда, для которой вычисляется средняя;

i - номера точек, для которых вычисляется средняя, $i = \overline{(1, t-1)}$ (40);

a - параметр сглаживания.

Экспоненциальная средняя $S_t^{[k]}$ для t -й точки временного ряда будет эквивалентен доле экспоненциальной средней $S_{t-1}^{[k-1]}$ $[k-1]$ -го порядка для

предыдущей точки временного ряда. Доля является коэффициентом α . Для рядов, описываемых линейной зависимостью, вычисляются две экспоненциальные средние: первого и второго порядков: $S_t^{[1]}$ и $S_t^{[2]}$; для рядов, описываемых квадратичной зависимостью, вычисляются три средние: первого, второго и третьего порядков: $S_t^{[1]}$, $S_t^{[2]}$, $S_t^{[3]}$. Вообще для ряда

$$x_t = a_0 + a_1 t + \frac{a_2}{2!} t^2 + \dots + \frac{a_n}{n!} t^n = a_0 + \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{i!} t^i \quad (41)$$

порядок k колеблется в пределах от 1 до $n+1$.

ЭС первого порядка $S_t^{[1]}$ определяют по формуле:

$$S_t^{[1]} = \alpha \sum_{i=0}^{t-1} (1 - \alpha)^i \cdot x_{t-i} \quad (42)$$

В вычислениях удобно применять рекуррентное соотношение:

$$S_t^{[k]} = \alpha \cdot S_t^{[k-1]} + (1 - \alpha) S_{t-1}^{[k]} \quad (43)$$

ЭС $S_t^{[k]}$ равна сумме долей ЭС $S_t^{[k-1]}$ и $S_{t-1}^{[k]}$. Величина этих долей вычисляется значением сглаживания α . Для прогнозирования методом ЭС необходимо коэффициенты уравнения выборки, выразить через ЭС по формулам:

$$\hat{a}_0 = 2 \cdot S_t^{[1]} - S_t^{[2]} \quad (44)$$

$$\hat{a}_1 = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S_t^{[1]} - S_t^{[2]}) \quad (45)$$

В итоге значение прогнозирования временного ряда $x_t = a_0 + a_1 t$ для точки $t + \tau$,

$$\tau = \overline{(1, l)} \quad (46)$$

где, l - глубина прогноза, рассчитывается по формуле:

$$\dot{x}_{t+\tau} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot \tau \quad (47)$$

Для случая, когда тренд описывается квадратичном полиномом $x_t = a_0 + a_1 t + 1/2 a_2 t^2$, коэффициенты \hat{a}_0 , \hat{a}_1 и \hat{a}_2 выражаются через экспоненциальные средние следующим образом:

$$\hat{a}_0 = 3(S_t^{[1]} - S_t^{[2]} + S_t^{[3]}) \quad (48)$$

$$\hat{a}_1 = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)} [(6-5\alpha)S_t^{[1]} - 2(5-4\alpha)S_t^{[2]} + (4-3\alpha)S_t^{[3]}] \quad (49)$$

$$\hat{a}_2 = \frac{\alpha^2}{(1-\alpha)^2} (S_t^{[1]} - 2S_t^{[2]} + S_t^{[3]}) \quad (50)$$

Прогнозные значения в этом случае рассчитываются по формуле:

$$\dot{x}_{t+\tau} = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 \cdot \tau + \frac{1}{2} \hat{a}_2 \cdot \tau^2 \quad (51)$$

Для определения ЭС линейной и квадратичной моделей необходимо привести значения параметра сглаживания α и так называемые начальные условия - $S_0^{[1]}$, $S_0^{[2]}$, $S_0^{[3]}$, которые подставляются в рекуррентную формулу () при определении $S_t^{[1]}$, $S_t^{[2]}$, $S_t^{[3]}$ для $t = 1$.

Значение α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{2}{m-1} \quad (52)$$

где, t - число наблюдений, входящих в интервал сглаживания.

Начальные условия подсчитываются по формулам:

а) для линейного тренда $X_t = a_0 + a_j t$;

$$S_0^{(1)} = a_0 - \frac{1-a}{a} a_1;$$

$$S_0^{(2)} = a_0 - \frac{2(1-a)}{a} a_1;$$

б) для квадратичного тренда $X_t = a_0 + a_1 t + 1/2 a_2 t^2$;

$$S_0^{(1)} = a_0 - \frac{1-a}{a} a_1 + \frac{(1-a)(2-a)}{2a^2} a_2 ;$$

$$S_0^{(2)} = a_0 - \frac{2(1-a)}{a} a_1 + \frac{(1-a)(3-2a)}{2a^2} a_2 ;$$

$$S_0^{(3)} = a_0 - \frac{3(1-a)}{a} a_1 + \frac{3(1-a)(4-3a)}{2a^2} a_2 . \quad (53)$$

В этих формулах коэффициенты a_0 , a_1 и a_2 вычисляются МНК. Сумма весов C последних t наблюдений при α , определяется по формуле:

$$C = 1 - \left(\frac{m-1}{m+1}\right)^m \quad (54)$$

Порядок вычислений при прогнозе методом ЭС в общем виде представлена в виде блок - схемы (рисунок 23)

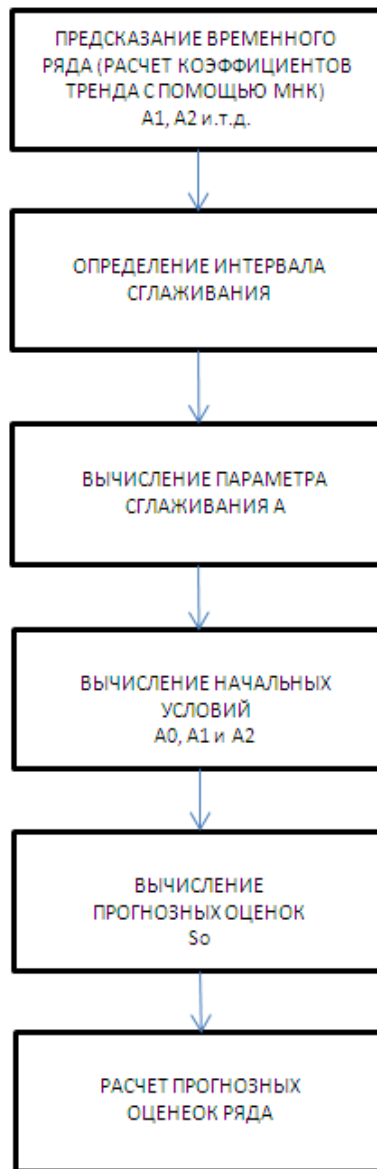


Рисунок 23 - Схема расчета прогноза метода экспоненциального сглаживания

Метод многомерного статистического анализа определен как метод факторного анализа [109]. При ряде ограничений на можно получить информацию о нарушениях процесса работы элемента энергокластера, возникающих предиктивно до их внешнего проявления [109].

Анализ корреляционных связей параметров, которые искажаются намного раньше, чем возникают нарушения от одного параметра [109].

В результате разработки определено, что мониторинг общих факторов и соответствующих факторных нагрузок - это выявление внутренних

закономерностей процессов в элементах энергокластеров ЭИС производства микроэлектроники.

В процессе анализа элемента энергокластера типа «потребление» - электродвигателя, выявлено, что основными данными о надежности функционирования определено среднее расстояние между факторными нагрузками, коррелированными между собой и относительно общих факторов.

Изменение этого расстояния сигнализирует об отклонениях в процессе функционирования [109].

Мониторинг общих факторов при работе элементов ЭИС МЭП определяет возможность выявлять аварийные состояния на очень ранних стадиях [109].

Анализ факторов дает возможность мониторинга стабильности корреляционных связей между параметрами. Корреляционные связи между параметрами содержат основные диагностические данные о процессах функционирования в элементах энергокластеров ЭИС МЭП [109].

Параметрическое диагностирование элементов энергокластеров ЭИС МЭП на практике реализуется и выполняется путем непрерывного или периодического мониторинга за параметрами полученными от контрольно - измерительной приборной базы. Если параметры не выходят за установленные на границы пределов, то элемент функционирует в нормальном режиме.

Достоверность результатов подтверждается применением математических методов и близостью теоретических расчетов статистических испытаний.

Особая сложность в реализации многомерного параметрического диагностирования представляет проблема решения задачи с разнородными параметрами элементов в различных типах энергокластеров ЭИС МЭП и определения границ измеряемых параметров.

Предлагаемое решение в применении разработанной методики и использовании программного обеспечения Statistica к мониторингу процессов функционирования ЭИС МЭП показало повышение ее результативности: при контроле процесса функционирования элемента энергокластера «потребление»

потери ЭЭ снизились по сравнению с используемыми в настоящее время методами.

2.5 Результаты и выводы по разделу 2

1. Представлены существующие подходы к реализации ЭИСП в концепции ААИС. Мониторинг электрических величин с использованием простых классических систем контроля не дает успешных результатов, а только в условиях стационарности.

2. Разработана функциональная схема мониторинга измеряемых параметров ЭИС МЭП с управляющими воздействиями и не прогнозируемыми внешними и внутренними возмущениями. Схема описана математическим уравнением относительно производственного процесса.

3. Предложена и разработана математическая модель измеряемых параметров ЭИС МЭП, состоящая из системы мониторинга элемента и его свойствами описанными математическими функциями.

4. Обосновано, что системы мониторинга параметров функционирования ЭИС МЭП в плохо структурированном производственном процессе целесообразно строить при внедрении концепции активно-адаптивного интеллектуального управления.

5. Предложено рассматривать систему мониторинга ЭИСП изготовления микроэлектроники, как единую систему контроля и управления. Необходимо применение алгоритмов статистического управления по каждому параметру состояния элемента. В целях повышения результативности функционирования ЭИС МЭП предлагается использовать активно - адаптивную интеллектуальную концепцию мониторинга и управления. Полностью соответствуют и дополняют это условие применение методов статистического управления, использующие синтез параметрического диагностирования на основе факторного анализа.

6. Систему мониторинга и управления элементов энергокластеров ЭИС МЭП предлагается рассматривать в концепции активно-адаптивной интеллектуальной сети, где главным свойством является мониторинг измеряемых параметров элементов в определенных границах и возможность реализации воздействия при возникновении отказов или аварийных ситуаций.

3. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ СТАТИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

3.1 Разработка методики статистического управления процессом функционирования ЭИСП изготовления микроэлектроники

Для задач статистического управления процессами в ЭИС МЭП рассмотрены следующие основные карты контроля процесса: карты экспоненциально взвешенных скользящих средних (ЭВСС), контрольные карты Шухарта, карты кумулятивных сумм (КУСУМ). Данные контрольные карты применяются в основе методик построения контрольных карт процессов со сложной структурой. Все являются одномерными контрольными картами. При одновременном контроле двух и более характеристик процесса совокупность одномерных контрольных карт используется в случае независимости контролируемых характеристик.

При коррелированности контролируемых характеристик применяются многомерные контрольные карты. Самая распространенная многомерная контрольная карта - карта Хотеллинга.

Статистика карт Хотеллинга достаточно чувствительна к отсутствию многомерной нормальности (к асимметрии распределения), при этом эта чувствительность возрастает с увеличением числа анализируемых характеристик процесса, что ограничивает возможность применения карты Хотеллинга [73].

Многомерный статистический контроль технологического процесса проводится с применением карты Хотеллинга.

Для прогнозирования процесса энергопотребления используются нейронные сети (ПО Statistica Neural Networks).

Для управления топологией сети электроинфраструктуры применяется

ПО FuzzyTech.

При необходимости контроля рассеяния процесса используется карта обобщенной дисперсии. Оценка контроля происходит с помощью средней длины серий: это выборка - количество наблюдений от времени нарушения процесса и выборка до времени обнаружения этого нарушения. Для повышения чувствительности контроля к возможным нарушениям используются различные подходы: анализ структур специального вида на карте, применение предупреждающей границы, модификации карт на основе алгоритмов КУСУМ и ЭВСС также другие. Для проведения испытаний моделируется последовательность векторов данных технологического процесса, а также задаются различные виды нарушений [74].

Моделирование данных предлагается проводить на основе многомерного нормального распределения с последующей проверкой параметров. В качестве основных нарушений процесса определяется смещение среднего уровня процесса и его тренд, а также и постепенное увеличение рассеяния процесса [84].

В процессе функционирования энергокластера «потребление» ЭИС МЭП его элементы расходуют электрическую энергию (ЭЭ). Обобщенный список энергокластера «потребление» ЭЭ состоит из следующих элементов локальных систем: электроприводы основного и вспомогательного оборудования, электродвигателей, установок вентиляции и кондиционирования, промышленного обогрева, электропечей, систем освещения.

Цифровая измерительная приборная база состоит из элементов для забора данных о состоянии процессов функционирования элементов способом измерения параметров (напряжения, токов, потребляемой мощности, частоты и др.). К измерительной приборной базе относятся первичные элементы и измерительные элементы [64].

Цифровые измерительные приборы оборудованы возможностью дистанционной передачи показаний на расстоянии, сигнализирующими, показывающими и самопишущими [67].

Измерительные преобразователи, функционирующие в совокупности с вторичными или регулирующими приборами - элементами измерительной информационной системы мониторинга, которые определяют данные измеряемых величин.

Перечислим модификации измерительных приборов:

- одноканальные;
- многоканальные;
- многоточечные;
- суммирующие;
- интегрирующие;
- сигнализирующие;
- регулирующие [67].

Функция контроллера универсальна: сбор данных с ПБ; преобразование данных; вычисление данных и регистрации данных ЭЭ (напряжения, тока, мощности, частоты и др.) и передачи информации в автоматизированную систему сбора анализа данных [67].

Работа мониторинга инициируется с поступления данных от ПБ (состояние коммутационных аппаратов, состояние топологии) в базу данных. Далее подсистема принятия решений, запускает процедуру прогнозирования. Прогнозирование проверяет полученные данные на соответствие критериям размерности и однородности. В случае определения несоответствия нормам (ГОСТ), подсистема мониторинга и прогнозирования инициирует процедуру диагностирования. Диагностирование запускает процедуру выбора модели для процесса функционирования ЭИС МЭП и выбирает наиболее достоверную из них. На основе этой модели формируются рекомендации для повышения результативности функционирования ЭИС МЭП [67].

На основании данных приборной базы реализуется «on-line» мониторинг показателей результативности ЭИС МЭП. Мониторинг реализуется посредством механизма контрольных карт Хотеллинга (параметрическое диагностирование элемента, ПКЭ), нейронных сетей (прогнозирование

энергопотребления элемента энергокластера, топология ЭИС).

При нарушении контролируемых параметров элементов за пределы допустимых границ стабильного функционирования, определяемой правилами алгоритма мониторинга и запускается механизм регрессионного анализа.

По весовым коэффициентам линейной регрессионной модели зависимости показателей ЭЭ от независимых параметров определяется, какой из параметров оказывает влияние на выход процесса за рамки результативного функционирования; в режиме реального времени определяется по данным в базе знаний и выявленному влияющему параметру, в каком элементе энергокластера происходит сбой.

Анализ процессов функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП включает в себя четыре этапа:

1. сбор исходных данных для оценки процесса по заданной характеристике качества электрической энергии;
2. проведение обработки данных, сопровождаемое их упорядочением, вычислением всевозможных статистических характеристик, построением контрольных карт со всеми необходимыми границами;
3. анализ контрольных карт, формулирование выводов и общего заключения.
4. на основании полученных данных определяется отклонение от нормального течения процесса.

Основное внимание уделено обработке данных и непосредственному анализу данных контрольных карт [73].

Использование метода контрольных карт имеет две основные цели:

1. статистический анализ процессов мониторинга функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП;
2. статистическое регулирование хода процесса функционирования элементов ЭИС МЭП.

Для обеспечения требуемых значений электрических параметров в ЭИС МЭП при изготовлении микроэлектроники в условиях концепции ААИС выполнена декомпозиция существующей электроинфраструктуры на процессы -

оценки параметров состояния и управления. Для контроля параметров используется инструментарий, построенный в соответствии с моделью функционирования системы и обеспечивающей прогнозирование, обнаружение внешних и внутренних возмущающих факторов.

При управлении процессами функционирования ЭИС изготовления микроселектронных изделий целесообразно выбрать направление, основанное на статистическом управлении, обеспечивающем предиктивность при формировании управляющего действия и активную адаптивность к внутренним и внешним возмущениям.

Статистическое управление с параметрическим диагностированием на основе анализов факторов позволяет формализуемым образом описать многомерные сложные взаимосвязи элементов и дает возможность использования предиктивного воздействия при разного рода и характера переходных процессов функционирования ЭИС МЭП.

На основе проведенного анализа и исследования установлено:

- использование традиционных ЭИС МЭП не обеспечивает достаточного уровня результативности при возникновении внешних и внутренних возмущений и определяет управление с диспетчером;
- адекватная математическая формализация задачи мониторинга и управления элемента энергокластера ЭИС МЭП в условиях внешних и внутренних возмущений в классической форме невыполнима;
- реализация модели и методики в концепции технологий активно-адаптивного интеллектуального управления ЭИС является одним из перспективных направлений производства микроселектроники. БД, полученная от средств мониторинга состоит из статистических измерений, зависящих от определенных категорий факторов, коррелируемых между собой при реализации управляющих функций. Также формируется таблица исходных данных, которая отображает в числовом виде параметры функционирования элемента, для последующей обработки в программном обеспечении Statistica [59].

3.2 Разработка алгоритма моделирования ЭИС МЭП в концепции ААИС

Для реализации мониторинга и управления процессов технологическими параметрами производства микроэлектроники предложена концепция активно - адаптивной интеллектуальной сети ЭИС МЭП. Система осуществляет управление по состоянию, на основе статистических данных, определяющих состояние элемента энергокластера, прогнозирование энергопотребления и мониторинг ПКЭ. При этом объект управления - элемент энергокластера, состоит из инструментов, обеспечивающих усиление и преобразование сигналов, исполнительных устройств и датчиков измерения параметров состояний.

Система мониторинга, осуществляющая управление по отклонению, задаваемыми в соответствии с параметрами, характеризуют текущее и требуемое состояния элемента энергокластера преобразование статистических переменных в величины управляющего воздействия, поступают в исполнительные устройства, которые поддерживают электрические параметры функционирования ЭИС МЭП. В описываемом случае цель процесса управления в виде определения состояния достигается путем формирования управляющего воздействия.

Управление осуществляется по переменным с определенным изменением отклонения желаемого выходного значения элемента управления от его действительного параметра [51]. Результат определяет процесс получения выводов о величинах управляющих воздействий на элемент энергокластера ЭИС МЭП, сформированных с помощью статистических данных, в основе которых лежит информация о его текущем состоянии [74].

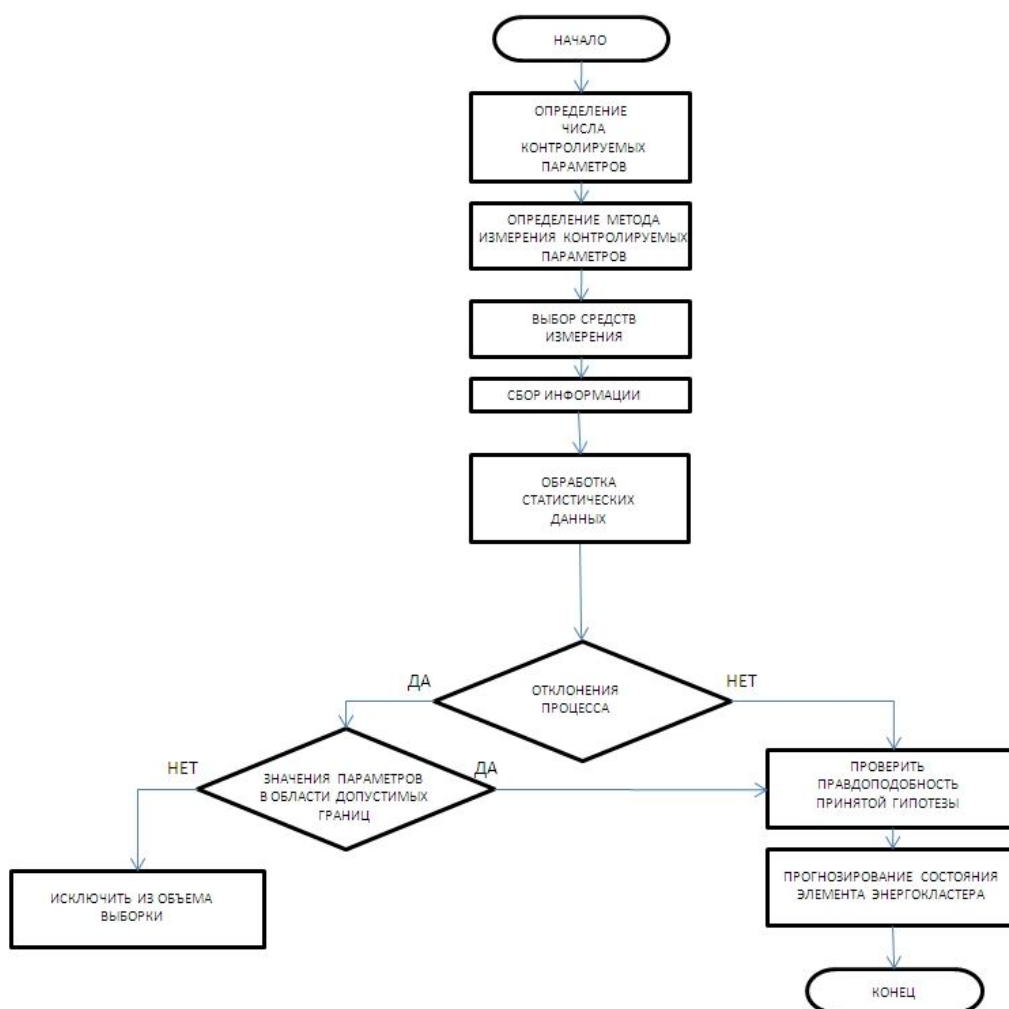


Рисунок 23 - Алгоритм проведения статистического анализа процесса для прогнозирования состояния элемента энергокластера

Критериями выбора данного алгоритма реализации аппарата статистического управления элемента определены сформулированные технические задачи. Таким образом, функционирование элемента ЭИС МЭП определено алгоритмом и методикой реализации аппарата статистического управления представленным на Рисунке 23.

При производстве изделий микроэлектроники в систему мониторинга параметров технологического процесса входят:

1. параметры микроклимата:
 - температура;

- влажность;

- анализ частиц.

2. параметры энергоснабжения:

- качество воздуха и газов;

- качество воды;

- давление в системах;

- **качество электроснабжения;**

- контроль сбросов.

3. параметры безопасности:

- противопожарные параметры;

- системы **пожаротушения;**

- газоанализаторы взрывоопасных и токсичных газов;

- системы охраны и видеонаблюдения.

4. технологические параметры:

- блокировки;

- контроль качества продукции [117].

Одними из важнейших направлений контроля в ЭИСП являются:

- мониторинг параметров качества электроэнергии;

- мониторинг состояния элементов энергокластеров;

- мониторинг энергопотребления;

- топология электроинфраструктуры.

Совокупность параметров мониторинга, которыми характеризуется электроинфраструктура, описываются, в первую очередь, характеристиками напряжения, как однофазных, так и трехфазных линий [61]. Особенностью решаемой задачи является ее важность. ПКЭ оказывают влияние на режимы функционирования элементов энергокластеров ЭИСП.

Оценка показателей качества энергии (ПКЭ), реализуемая в ЭИСП, по классам напряжений 0,4кВ, 6кВ и типам энергокластеров, определяет уровень отклонений, которые характеризуются не синусоидальностью и несимметричностью напряжения [104]. После подачи напряжения на элементы

энергокластера «потребление» начинается процесс потребления электроэнергии [61]. В случае, когда напряжение соответствует характеристикам нормативной базы, ток (нагрузка) элемента энергокластера ЭИСП соответственно будет определяться режимом его функционирования.

Ток (нагрузка) может быть:

- несимметричным, в случае, когда элементы энергокластеров ЭИСП обладают различными значениями мощностей и характеристиками сопротивлений;
- резко переменный ток - процесс функционирования элемента резко меняет значение мощности;
- элемент энергокластера обладает нелинейной вольт - амперной характеристикой [64].

Оценка качественных показателей функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП основывается на анализе характеристик процессов и проведена по следующим основным параметрам:

- напряжение, U ;
- частота, f ;
- нагрузка, I ;
- потребляемая мощность, P (активная);
- потребляемая мощность, Q (реактивная);
- топология сети электроинфраструктуры.

При оценке показателей функционирования ЭИС МЭП анализируются указанные выше характеристики. На рисунке 24 представлен обобщенный алгоритм функционирования системы мониторинга ЭИС МЭП.

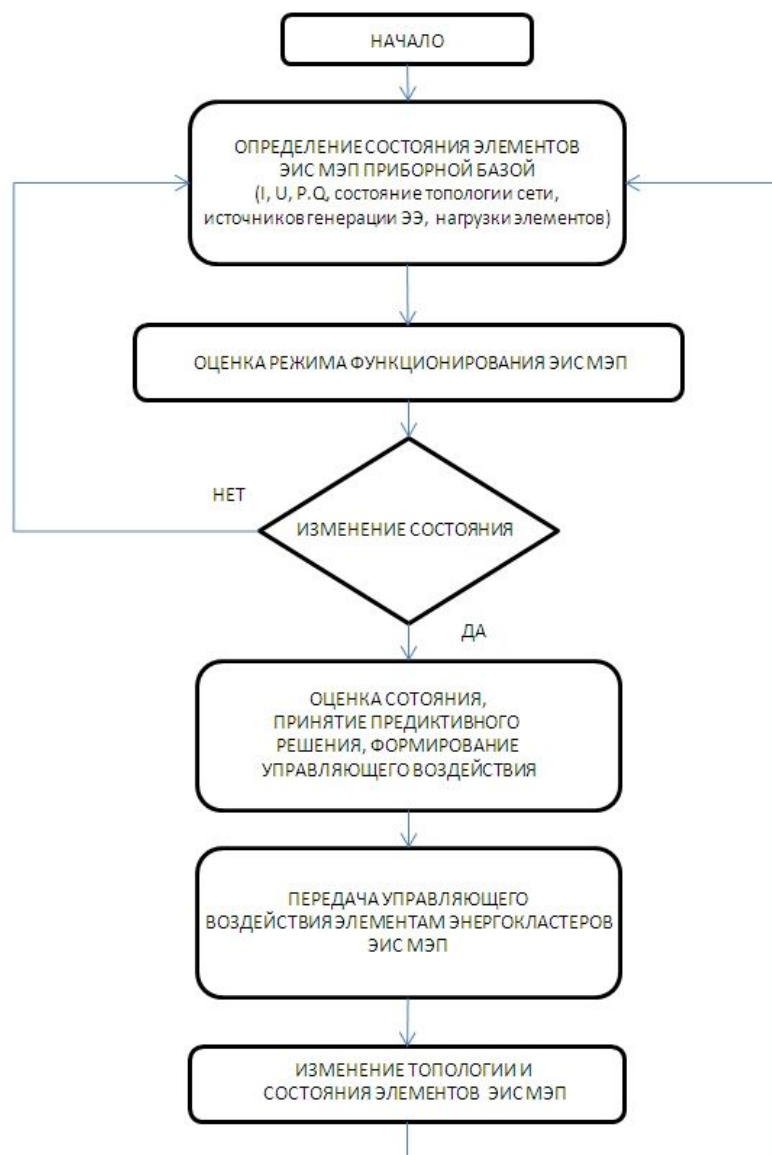


Рисунок 24 - Обобщенный алгоритм функционирования системы мониторинга ЭИС МЭП

В ЭИС МЭП у данных параметров инициализирована вариабельность в процессе функционирования вследствие изменений генерации в сети, нагрузок, аварий, метеоусловий, внутренних и внешних воздействий [93]. Мониторинг включает в себя проведение необходимых расчетов в определенных границах того или иного элемента энергокластера ЭИСП.

В состав контроля и мониторинга входит:

- получение данных о фактическом состоянии элемента энергокластера, его признаках и показателях (первичная информация - это измерения ПКЭ);
- сопоставление данных с установленной нормативной базой.

При функционировании ЭИСП одной из проблем определено снижение величины потерь мощности в сети при передаче электроэнергии. При передаче ЭЭ по ЭИС величина данных потерь увеличивается при неравномерности загрузки отдельных фаз. Анализ показывает, что источники искажения находятся у энергокластеров «потребление». Поэтому мониторинг симметричной загрузки фаз и снижение величины потерь ЭЭ, а значит, и результативность работы ЭИС МЭП в целом является востребованным и высокоэффективным мероприятием [93]. Непрерывный мониторинг предотвращает возмущения в сети, а анализ позволяет принять упреждение к возникновению и последующему предотвращению данных возмущений [93]. Основные измеряемые параметры, которые регистрируются, приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Перечень основных параметров мониторинга качества энергии в электроинфраструктуре предприятия

№	Наименование измеряемой величины	Размерность	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной погрешности		
				Абсолютная	Относительная	Приведенная
1	Среднеквадратичное значение напряжения, U	В	$(0,3-1,3) * U_{ном}$			+0,5
2	Отрицательное отклонение напряжения, U (-) %	%	От 0 до 70	+0,5		
3	Положительное отклонение напряжения, U (+) %	%	От 0 до 30	+0,5	-	-
4	Установившееся отклонение напряжения, U _y	%	От минус 20 до плюс 20	+0,5	-	-
5	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности, K _{2U}	%	От 0,1 до 15	+0,2	-	-
6	Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности, K _{0U}	%	От 0,1 до 1,5	+0,2	-	-
7	Отклонение частоты, f	Гц	От минус 3 до плюс 3	+0,02	-	-
8	Коэффициент временного перенапряжения, K _{перU}	Относит. единицы	От 1,1 до 1,5	-	+10	-
9	Длительность временного перенапряжения, t _{пер U}	С	От 0,01 до 60	+0,01	-	-
10	Провала напряжения, U _п	%	От 10 до 90	-	+2	-
11	Длительность провала напряжения, t _п	С	От 0,01 до 60	+0,01	-	-
12	Действующее значение напряжения, U	В	$(0,8-1,2) * U_{ном}$	-	-	+0,5
13	Действующее значение силы переменного тока, I	А	$(0,1-1,2) * I_{ном}$	-	-	+2,0
14	Коэффициент несимметрии токов по обратной последовательности, K _{2i}	%	от 0,1 до 50	+ 2 в диапазоне от 0,1 до 0,8 + 1 в диапазоне выше 0,8	-	-
15	Коэффициент несимметрии токов по нулевой последовательности, K _{0i}	%	От 0,1 до 20	+ 2 в диапазоне от 0,1 до 0,8 + 1 в диапазоне выше 0,8	-	-
16	Активная , реактивная мощность, P, Q	кВт, кВар	$(0,1-1,2) * U_{ном} I_{ном}$	-	-	+5

Мониторинг позволяет определить ПКЭ, состояние элемента энергокластера, топологию сети электроинфраструктуры, прогнозирование потребляемой энергии по выборке измерений на основании статистических данных и дает полное представление о характерах процессов ЭИС МЭП в целом.

3.3 Разработка модели функционирования ЭИС МЭП и ее реализация в ПО Statistica и ПО FuzzyTech

Разработка модели функционирования ЭИС МЭП подразделяется на **четыре задачи мониторинга основных параметров ЭЭ**. В итоге каждая из задач в совокупности определяет общий уровень повышения результативности ЭИС МЭП. Для решаемых задач мониторинга определены основные критерии эффективного мониторинга для различных типов энергокластеров ЭИС МЭП:

- генерация: качество передаваемой электроэнергии (ПКЭ);
- трансформация: качество преобразования электроэнергии (ПКЭ);
- распределение: нагрузка элементов энергокластеров (топология сети);
- потребление: уровень нагрузки энергокластера (энергопотребление).

Задача 1. Прогнозирование энергопотребления ЭИС МЭП (ПО Statistica, встроенный пакет ST Neural Networks) [59].

При анализе ЭИС МЭП основным в технологической цепочке и наиболее **важным элементом энергокластера «потребление» являются чистые помещения**. В технологии изготовления микроэлектроники чистые помещения потребляют большое количество электроэнергии. Рядом отечественных ученых, специалистов Японии, Тайваня, США и Европы проведен анализ основных энергопотребителей в чистых помещениях. Непосредственно на производственные процессы в среднем расходуется около 40% потребляемой электроэнергии, оставшиеся 60% идут на обеспечение функционирования производства. **Система подготовки и транспортировки воздуха потребляет**

43%, другие системы, включая освещение, систему подачи ультрачистой воды и т.д. - 17 %.

МЭК ИСО 14644 «Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды» и МЭК ГОСТ Р ИСО 14644 содержат информацию по обеспечению чистоты воздуха и степени концентрации взвешенных частиц. К производственным помещениям, в которых изготавливаются микроэлектронные изделия, предъявляются жесткие требования по климатическим параметрам, требующие большого объема потребления ЭЭ чистыми помещениями. Рассмотрим основные операции производственного процесса изготовления микроэлектроники.

Таблица 8 - Основные операции, исполняемые в чистых помещениях по классам чистоты

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 переоборудования

Очистка воздуха

Устройства приточной и вытяжной вентиляции предназначены для подачи отфильтрованного и выброса отработанного воздуха, а также для поддержания однородности воздушного потока. На скорость воздухообмена оказывает влияние конфигурация чистых помещений, его оснащенность и расположение

оборудования, тип воздушного потока (ламинарный, турбулентный), вид технологической операции, а также режим работы.

Процесс вентиляции 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 25).

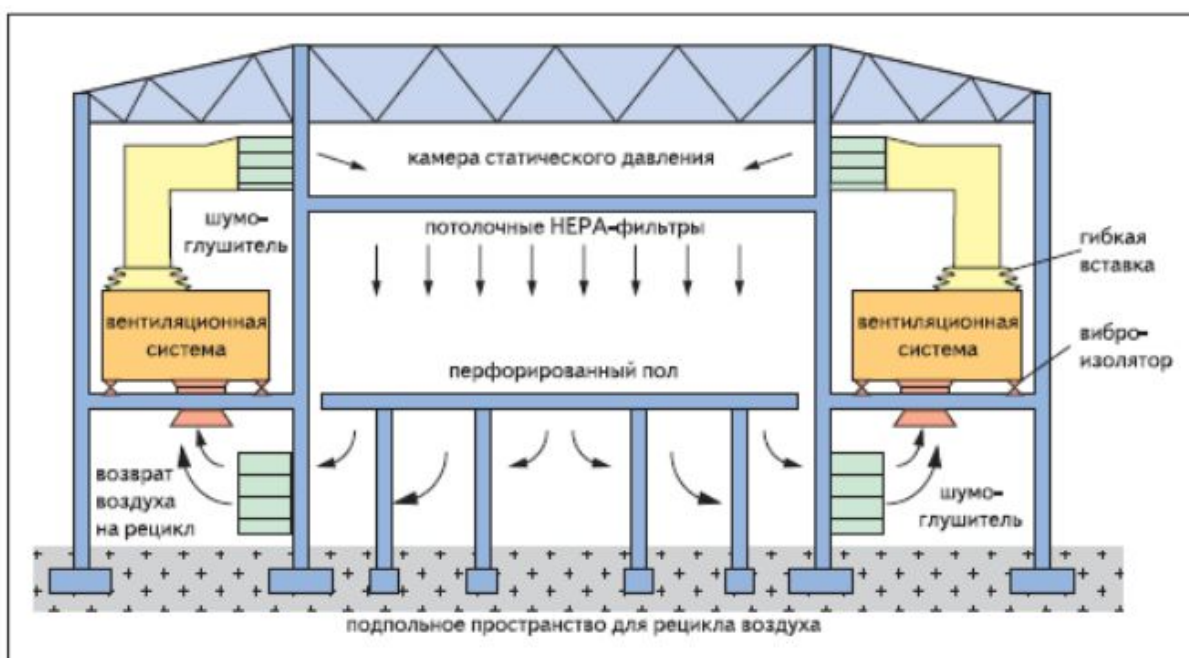


Рисунок 25 - Схема обмена воздуха в чистых помещениях

Воздухоподготовка состоит из операций очистки, охлаждения или нагревания, а также насыщения влагой паровыми или ультразвуковыми увлажнителями. Также необходимо поддерживать избыточное давление для предотвращения 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.

Предполагается, что использование меньшего количества энергии для обеспечения того же уровня функционирования в чистых помещениях (без снижения классов чистоты) при технологических процессах изготовления микроэлектроники, может существенно изменить энергопотребление, тем самым снизив себестоимость продукта и услуг, эксплуатационные затраты, что в совокупности определяет повышение результативности ЭИС МЭП.

Актуальность приобретает проблема прогнозирования, анализа и управления электрической нагрузкой (ЭН), как в границах электроинфраструктуры производства микроэлектроники в целом, так и для отдельных элементов энергокластера «потребление».

ЭН имеет способность изменяться с течением времени, что определяет как случайный процесс - функция случайно зависит от времени. ЭН в ЭИС МЭП подвержена влиянию внешнего фактора, как метеоусловия с присущими случайными изменениями. ЭН определяется как непостоянный процесс с различными факторами; время суток, погода и режимы функционирования процесса. Главным погодным фактором является температура [93].

Разработано большое множество различных методик предназначенных для прогноза ЭН. Перечислим основные применяемые методы:

Авторегрессия.

Предлагается к применению модель:

$$\hat{L}(t, d) = \sum_{k=1}^4 \alpha_k \hat{L}_k(t, d), \quad (55)$$

где α_k - линейные веса, с оптимизацией четырех разных прогнозов;

$\hat{L}_1(t, d)$ - прогноз $L(t, d)$ с применением авторегрессии 1 - ого порядка с задержкой 1 час;

$\hat{L}_2(t, d)$, $\hat{L}_3(t, d)$, $\hat{L}_4(t, d)$ - прогноз $L(t, d)$ с применением авторегрессии 1 - ого порядка с задержкой одни сутки, неделя и год.

Обобщенное экспоненциальное сглаживание.

Обобщенный метод ЭС - возможность применения для прогноза суммарных ЭН по часу:

$$L(t) = a^T f(t) + \varepsilon(t), \quad (56)$$

где a^T - вектор сглаженных весов (транспонированный);

$f(t)$ - вектор сглаживающих функций.

Факторный анализ.

Возможность определить значения прогноза параметров ЭИС МЭП в виде:

$$Y_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + d_iU_i, \quad (57)$$

где Y_i - i -й параметр прогноза;

F_j - общие факторы с взаимосвязью между параметрами Y_i ;

a_{ij}, d_i - нагрузки определенных факторов на параметры Y_i ;

U_i - фактор с остаточной дисперсией [73].

В прогнозе факторов реализованы модели временных рядов и регрессионные модели, которые определяют взаимосвязь факторов с внешними возмущающими параметрами ЭИС МЭП.

В настоящее время перспективным инструментом прогнозирования нагрузки является метод, основанный на нейронных сетях (ST Neural Networks). Системы с нейронными сетями (ННС) являются удобными и обеспечивают более высокую устойчивость к воздействию возмущающих факторов [59].

Основа ННС определяется в использовании существующей тренда данных для вычисления значения функций. Вычисление параметров функций принадлежности применяют алгоритмы обучения нейронных сетей. Прогноз потребления ЭЭ основано на учете свойств процесса функционирования элемента. Особенность в ЭИС МЭП - это повторяемость ЭН в зависимости от временного календаря (дня недели и месяца). Для оценки суточной предиктивной величины потребления электрической нагрузки разработан алгоритм выполнения ретроспективных расчетов с учетом (внешних и внутренних факторов) параметров потребляемой мощности, температуры окружающей среды и перетоков электроэнергии в ЭИС МЭП.

В качестве исходных данных определены ежедневные параметры потребляемой мощности, температуры и перетоков электроэнергии, а также

значения электрической нагрузки. Входные параметры заданы с определенным интервалом, то есть для каждого из них выделены минимум и максимум значения [58].

Для прогнозирования ЭН в созданной нейронной сети реализовано шесть входов. На каждый входной параметр по два входа (мин и макс). Сеть обучается на основе архивной информации по мощности, температуре. Тест реализуется на выборке из данных, без применения в обучающую выборку. На Рисунке 26 показан график прогноза ЭН ЭИС МЭП, а также фактическая ЭН [58]. Рисунок 27 показывает ошибку прогноза ЭН ЭИС МЭП созданной нечеткой нейронной сетью.

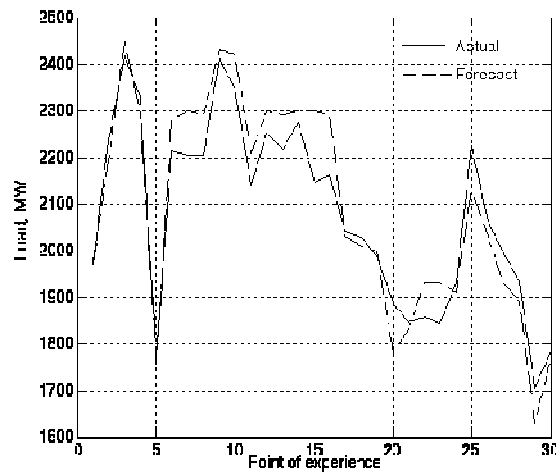


Рисунок 26 - Фактические и спрогнозированные значения нагрузки

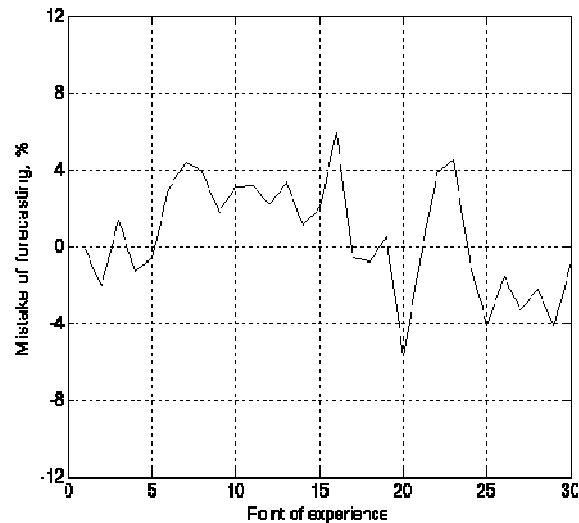


Рисунок 27 - Ошибка прогноза электрической нагрузки нечеткой нейронной сетью

В итоге сделаем вывод: поведение сети соответствует прогнозу, где средняя ошибка составляет 2,5 %. Использование для прогнозирования потребления энергии ЭИС МЭП отлаженной нейронной технологии, реализованной в корректно спроектированной и обученной нейронной сети в ПО Statistica со встроенным пакетом ST Neural Networks, определяется возможность в обеспечении достаточно высокой точности и скорости прогнозирования потребления энергии ЭИС МЭП [59].

Задача 2. Мониторинг показателей качества электрической энергии.

Представление ЭЭ в товарных отношениях на энергетическом рынке - присутствует определенное важное свойство. Качество ЭЭ невозможно определить до ее применения, а ЭЭ плохого качества нельзя вернуть назад. Средства измерения ПКЭ и параметров режима, а также методы обработки данных позволяют вычислить параметры уровня помех, которые ЭН генерирует в ЭИС МЭП или получает извне, от других нагрузок в сети [93].

Современная электроинфраструктура микроэлектронного предприятия представляет собой сложную высокотехнологичную систему, где в элементах управления и мониторинга производственного процесса производства микроэлектроники специфические электроприемники - цифровые технические системы. В состав данных элементов входят: системы управления освещением, электрообогревом, вентиляцией и кондиционирования (микроклимат производственного процесса), охранные системы, цифровые серверные коммуникации, системы мониторинга и управления производственных процессов (ПП) различных участков изготовления микроэлектроники. Данные составляющие элементы (микропроцессоры, процессоры, чувствительные датчики, индикаторы, конденсаторы и т.д.) больше всего подвержены риску выхода из строя при вариабельности параметров электроэнергии (ЭЭ) в системе электропитания, в которых они применяются. Именно поэтому в ЭИС МЭП необходимо обеспечивать высокое качество электроэнергии ЭЭ, что, в свою очередь, требует надежных условий функционирования всех элементов электроинфраструктуры. Основными показателями качества электроэнергии (Q) являются, напряжение, частота и непрерывность подачи, где $Q = \{U_n \pm 0.5\%, f = 50\text{Гц} \pm 0.2\}$, а показатель непрерывности подачи напряжения электроэнергии зависит от категории электроснабжения энергокластера. Более подробный перечень показателей приведен в подразделе 3.2 Таблица 8 - Перечень основных параметров мониторинга качества энергии в электроинфраструктуре предприятия.

В результате анализа ЭИС МЭП в концепции ААИС определены основные требования к мониторингу показателей качества электроэнергии:

- обеспечение высокой точности измерений (стандарт Евросоюза МЭК 62053 для оборудования класса 0,2 требует, чтобы точность измерений составляла 0,2% от номинальных значений тока и напряжения, коэффициента мощности согласование фаз в момент замера должно быть не хуже 0,1%);
- полный спектр измерений параметров электроэнергии, включая показатели качества энергоснабжения ПКЭ [93].

Отклонения уровней напряжения более чем на 10% и частоты на 2% от номинальных значений могут привести к сбоям и отказам в работе цифровой техники из-за изменения режима питания электронных схем, автоматического выключения блоков питания. Резкие колебания напряжения и перерывы питания могут вывести из строя отдельные электронные элементы.

Уровень гармоник должен постоянно находиться в допустимых пределах согласно требованиям оборудования и стандартов. Нарушение допустимого уровня приводит к сбоям и отказам оборудования: сгорание электродвигателей и силовых конденсаторов для компенсации реактивной мощности; непредусмотренная вибрация и износ подшипников электродвигателей, перегрев и сгорание провода нейтрали у потребителей, внешне беспричинные сбои в работе цифровой техники, ложные срабатывания защит [93].

ПКЭ установленные ГОСТ 13109-97 подразделяются на три группы:

1. отклонения частоты и отклонения напряжения;
2. несинусоидальность напряжения и отклонения напряжения;
3. провалы напряжения, перенапряжения и импульсы напряжения.

ПКЭ первых двух групп нормируются ГОСТ с установленными уровнями допуска: нормальный и предельный. ПКЭ третьей группы без норм, но статистические данные обладают основополагающим значением для нормального функционирования ЭИС МЭП [64].

Изменения конфигурации топологии сети, мощности, ЭН во времени определены причиной изменения ПКЭ. Величины ПКЭ - случайные, соответственно вычисления основываются на вероятностно-статистических методах. Допустимые значения показателей качества электроэнергии, а также методы контроля определяются требованиями действующих стандартов [61]. Результаты определения вероятности однотипных событий представляются в виде гистограммы. Рассмотрим гистограмму отклонений напряжения за сутки на Рисунке 27 .

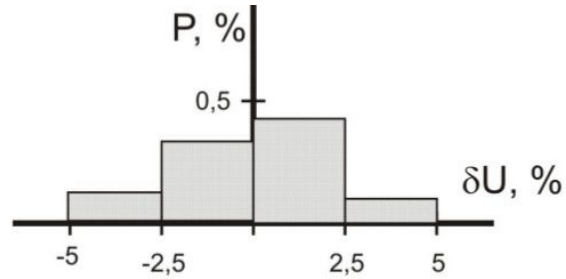


Рисунок 27- Гистограмма отклонений напряжений

Временной интервал между измерениями примем за один час. Отметим, что в реальных приборах мониторинга ПКЭ, время между измерениями не превышает 3-х секунд. По результатам измерений определяем величину отклонений ПКЭ. Формула для расчета установившихся отклонений напряжений записывается следующим образом:

$$\delta U = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \% \quad (58)$$

Полную характеристику случайных величин определяют законы распределения, позволяющие вычислять вероятности значений ПКЭ.

Анализ функционирования энергокластеров ЭИС МЭП определяет наличие циклов изменения отклонений ПКЭ во временной ленте. Статистическая информация определяет нормальный закон распределения отклонений напряжения в энергокластерах ЭИСП [104].

На рисунках (28, 29) представлены законы распределения и диаграммы размаха для отдельных энергокластеров по отдельным параметрам качества электроэнергии, реализованные в ПО Statistica.

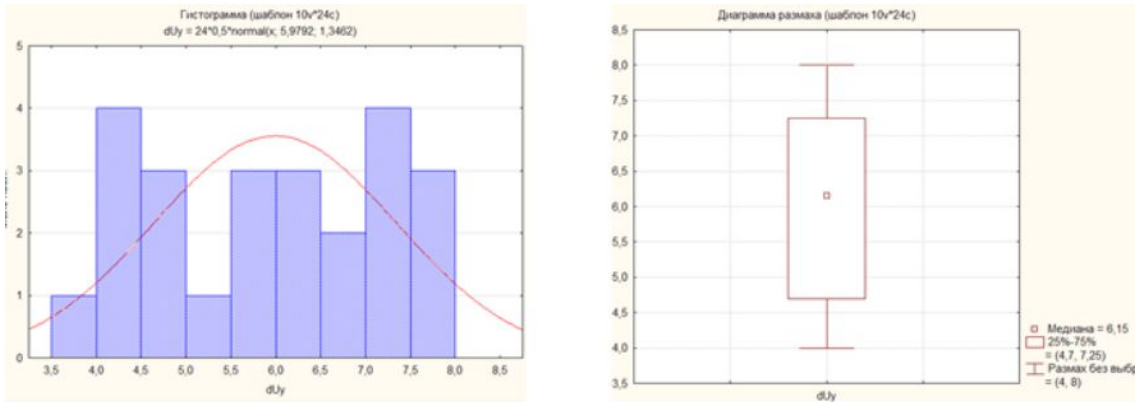


Рисунок 28 - Закон распределения и диаграмма размаха энергокластера «генерация»

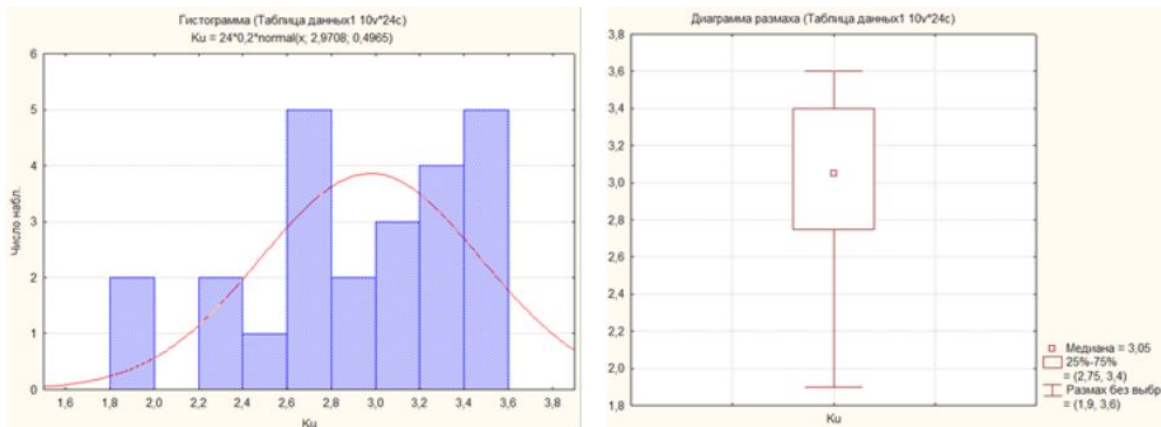


Рисунок 29 - Закон распределения и диаграмма размаха энергокластера «потребление»

В условиях концепции ААИС в ЭИС МЭП должен быть мониторинг за ПКЭ и приниматься меры по приведению параметров к нормам. Стоит отметить, что наряду с контролем ПКЭ по ГОСТ 13109-97 необходимо предусматривать отчеты с информацией о качестве токов (TDD, K - factor, THD (I), индивидуальные гармоники тока), поскольку эти величины несут

существенную информацию о тепловом режиме трансформаторов (энергодокластер «трансформация» и кабелей (энергодокластер «передача»).

Задача 3. Параметрическое диагностирование элемента энергодокластера «потребление».

Нарушения функционирования элементов определяют большие финансовые затраты из-за нарушения ПП или его аварии, а также повышенное потребление ЭЭ элементами энергодокластеров. Обеспечение устойчивого и надежного функционирования всех элементов и технических систем ЭИС МЭП при использовании статистических методов мониторинга и управления является основополагающей и чрезвычайно важной задачей. Контроль и мониторинг параметров элементов энергодокластеров ЭИСП должен проводиться в части контроля превышения уставок и контроля апертур [93]. Для поддержания стабильной работы элементов энергодокластеров ЭИС МЭП представлен метод статистического мониторинга на основе применения параметрического диагностирования с использованием карт Хоттелинга, реализованных в ПО Statistica.

Параметрическое диагностирование осуществляет непрерывную оценку электрических параметров и параметров ресурса узлов и деталей элемента, анализ и его прогнозирование изменения технического состояния. Элементом мониторинга может быть любой промышленный агрегат ЭИС МЭП - паровой или газовой генератор, система вентиляции и кондиционирования, насос, нагнетатель, трансформатор, кабельная линия или их совокупность по типу энергодокластера ЭИС МЭП. Для элемента, оснащенного системой мониторинга, создается эмпирическая модель, которая строится с помощью специального статистического алгоритма по выборке векторов значений технологических параметров (векторов состояния) за период функционирования элемента, принимаемый за определенный период, с которым будет производиться

сравнение поведения объекта для обнаружения отклонений технического состояния [73].

Для предупреждения об аварии функционирования элемента по результатам контроля множества параметров его работы предложена система мониторинга, включающая прогнозирование состояния элемента по результатам решения системы временных рядов, а в условиях стабильного функционирования оценка стабильности с помощью многомерных КК Хотеллинга [73].

Прогнозирование и моделирование системы временных рядов по показаниям приборной базы реализовано на методике структурно-параметрической идентификации системы с подходом адаптивного регрессионного моделирования [86].

Рассмотрим элемент энергокластера «потребление» - электродвигатель, состояние определяется параметрами, значения регистрируются через определенное время и создают многомерный временной ряд, в виде системы

$$y^1(t), y^2(t), \dots, y^N(t).$$

Одномерный временной ряд $y'(t)$, наблюдаемый в определенные моменты времени t_1, t_2, t_n , представляется:

$$y'(t) = f'(t) + g'(t) + //'(t) + e'(t), \quad (59)$$

при этом:

- $f'(t)$ - функция выборки соответствующего ряда (неслучайная);
- $g'(t)$ - периодическая функция (неслучайная);
- $//'(t)$ - функция с элементами регулярности - векторная авторегрессия (случайная);
- $e'(t)$ - случайная величина, ошибка [73].

Для временных рядов производится анализ для выявления степени регулярности. При определении устойчивости для соответствующих рядов выделяется функция выборки $f(t)$. Оптимальная функция выборки

составляющей выбирается по критерию минимума внешнего среднеквадратического отклонения [73].

Сглаживание временного ряда инициируется методами совместного гармонического анализа. После вычисления регулярных составляющих, основной задачей анализа временных рядов определяется моделирование остатков случайной с элементами регулярности функцией $y/(t)$, которая представлена в виде модели векторной авторегрессии для взаимосвязанных рядов [73].

Для каждого из N временных рядов вычислили модель, с регулярной составляющей и векторной авторегрессией.

Далее производится проверка условий для регрессионного анализа. Если основные предположения соблюдаются, созданные комплексные модели системы временных рядов используются для прогноза [84].

Методика параметрического диагностирования реализована для создания моделей системы взаимосвязанных временных рядов с дальнейшим применением для прогноза состояния и выявления нарушений процесса до выхода параметров за граничные значения [89].

Ниже показаны модели системы временных рядов, полученные по результатам наблюдений от датчиков элемента - электродвигателя. Модель позволяет составлять прогноз состояния электродвигателя на 7-8 наблюдений (10% от тренда).

На рисунке 29 представлен временной ряд (смоделированный) и соответствующее прогнозирование.

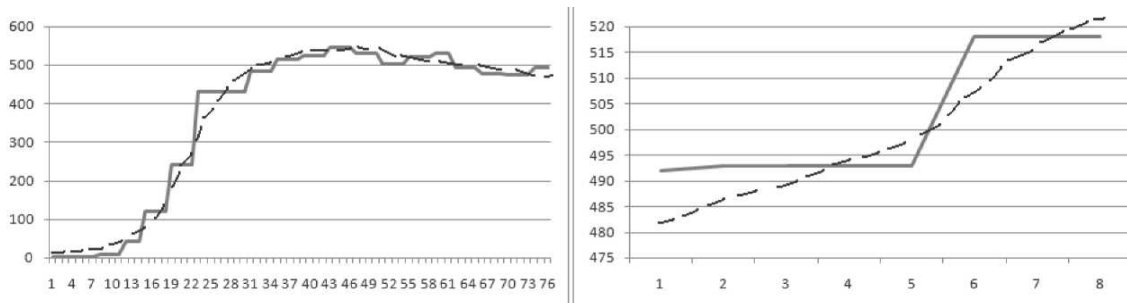


Рисунок 29 - Моделирование и прогнозирование временного ряда

В режиме нормального функционирования элемента его состояние определяется аварийным, если нарушена стабильность процесса. При мониторинге ТП обязательной является проверка стабильности процесса с использованием КК. Для контроля независимых параметров процесса используется контрольная карта Шухарта [Уилер Д]. В случае присутствия корреляции параметров используются многомерные карты Хотеллинга [73].

Решение применения карт основано на оценке корреляций между параметрами и проверки их значимости. Для анализа процесса функционирования элемента применяется обучающий тренд для оценки степени взаимосвязи параметров и определения КК.

Таблица 9 - Положение границ карты Хотеллинга

Число контролируемых параметров p	Число точек между предупреждающей и контрольной границами k	Положение контрольной границы UCL	Положение предупреждающей границы UWL
2	2	2,39	5,70
	3	3,29	3,60
	4	3,51	2,55
3	2	4,89	7,44
	3	5,35	5,2
	4	5,60	3,87
5	2	9,48	5,52
	3	20,79	7,70
	4	20,9	7,64
10	2	28,40	4,1
	3	28,97	3,94
	4	30,08	2,08

О нарушении процесса функционирования при применении контрольных карт, свидетельствует выход исследуемой статистики за контрольную границу. Предлагается чувствительность карты Хотеллинга повысить путем использования предупреждающей границы [73].

В карте Хотеллинга определяется предупреждающая граница; область возможных значений статистики разбивается на три непересекающихся подмножества:

- 1) процесс статистически управляем;
- 2) процесс находится в "переходном" состоянии;
- 3) происходит нарушение процесса [73].

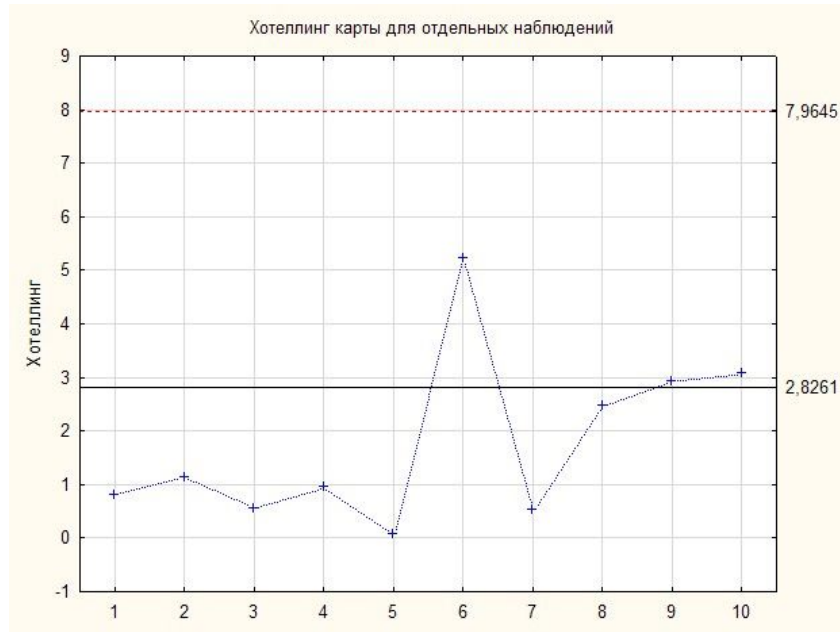


Рисунок 30 - Контрольная карта Хотеллинга с предупреждающей границей

В качестве примера на рисунке 30 представлена контрольная карта Хотеллинга при мониторинге функционирования элемента - электродвигателя: есть выходы точек за контрольную границу, что свидетельствует о нарушении стабильности процесса и возможной аварийной ситуации.

Задача 4. Мониторинг топологии сети электроинфраструктуры.

Мониторинг и управление топологией сети является ключевой функцией, выводящей электроинфраструктуру предприятия производства микроэлектроники на следующий уровень развития и являющейся предпосылкой к созданию активно-адаптивной интеллектуальной сети [93].

Концепция ААИС изначально разрабатывалась для содействия внедрению в распределительную сеть возобновляемых источников энергии, таких как ветровые, солнечные электростанции, биотопливо и т. д. Тем не менее, для

управления энергокластера «распределение» ЭИСП с потенциальными источниками электроэнергии необходима система мониторинга, способствующая поддержанию баланса, необходимого для надежной работы разнообразной среды электроснабжения в условиях динамически меняющихся потребления и топологии распределительной сети [93]. В качестве примера на рисунке 31 представлена схема управления топологией сети ЭИС МЭП в концепции ААИС.

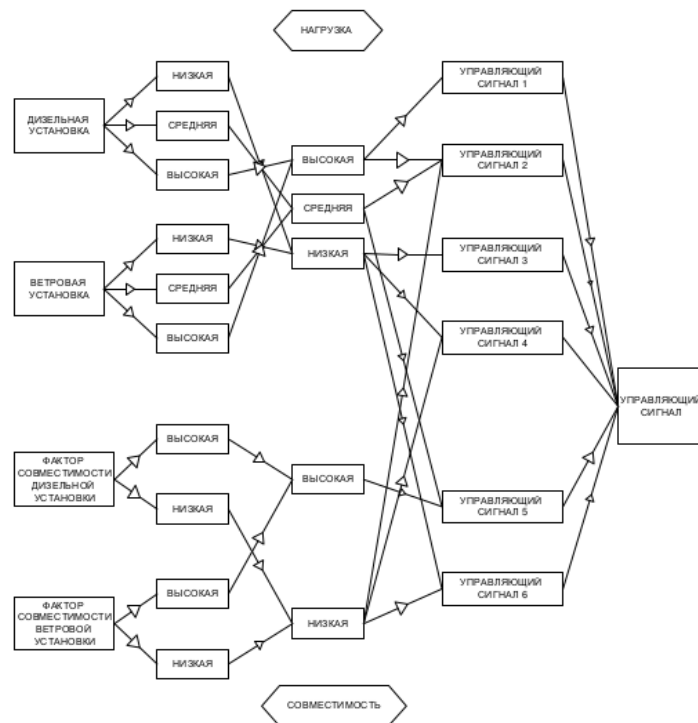


Рисунок 31 - Пример реализации управления топологией ЭИС ААИС в соответствии с нагрузкой с применением аппарата нечеткой логики

Одной из основных задач системы мониторинга топологии является анализ информации в реальном времени, позволяющий оптимизировать процессы в энергокластере «распределение» ЭИС МЭП. Это позволяет оптимизировать распределение нагрузки, а также распознать потенциальные и фактические риски и предложить методы их устранения. Система мониторинга позволяет минимизировать потери энергии в распределительных сетях путем реконфигурации и оптимизации сети благодаря информации, полученной с

помощью детального анализа причин потерь. Система мониторинга топологии сети - это непрерывный контроль и управление функционированием электроинфраструктуры в масштабе реального времени.

Предложена модель принятия решения в распределении энергии в ЭИС МЭП, в соответствии с концепцией ААИС. Эффективное распределение ЭЭ это прежде всего, оптимальная топология сети, то есть, соответствие отношения лучшего источника питания для приемника. Рассматриваемая модель построена на адаптивной нейро-нечеткой логике. Входные параметры для модели определены как энергетический баланс и объем потребления энергии. Нечеткая модель не имеет четких границ для ввода значений, поэтому выход модели во многом зависит от входов отдельных факторов. Использование предлагаемой модели решают задачи в распределении ЭЭ и управлении топологией сети, показывая потенциальные области применения концепции ААИС.

Предложенная модель создана при использовании программно-математического пакета FuzzyTech. Решение поставленной задачи стоит в виде выбора наиболее подходящего источника питания. Эти решения принимаются на основе нечеткой логики и нейронных сетей модели. Для разработки модели, основным условием является наличие в системе источников питания с достаточным запасом мощности.

ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) это нейро - сетевая структура, обладающая хорошей сходимостью и направленная на получение знаний в виде системы нечетких правил из данных обучающего тренда. Предлагаемый нечеткий контроллер для ЭИС МЭП в концепции ААИС способен принимать решения в распределении ресурсов и управлении топологии сети. В нечеткой логике определено значение нечеткой функции и определена концепция реализации нечетких регрессионных моделей. Главной процедурой формализма нечеткой логики определена функция принадлежности для задачи вероятности события. Элементы множества X имеют принадлежность к заданному нечеткому множеству A .

Функции принадлежности имеют следующие основные виды: кусочно-линейные, сигмоидные, трапециевидные, треугольные, гауссовы, и др. Нейронная сеть используется для автоматической настройки параметров системы, например функции принадлежности, что ведет к улучшению производительности без вмешательства оператора. В дополнение к нечеткой логике также была добавлена адаптивная нейро - нечеткая система, так как совместное применение нейронных сетей и нечеткой логики позволяет системе самообучаться и улучшать свои показатели. Определим в адаптивной нейро - нечеткой системе два входа, энергобаланс и потребление энергии ЭИС, и один выход как уровень потребления энергии. Лингвистические переменные соответственно принимают определенные значения: малый, нормальный и большой.

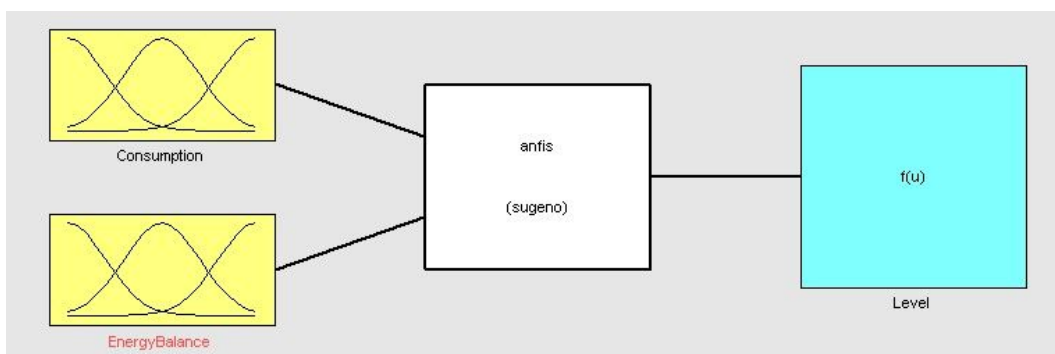


Рисунок 32 - Структура нечеткой системы Sugeno в FuzzyTech

На определениях нечеткой логики построена нейро - нечеткой система, а затем алгоритмы обучения с помощью нейронных сетей.

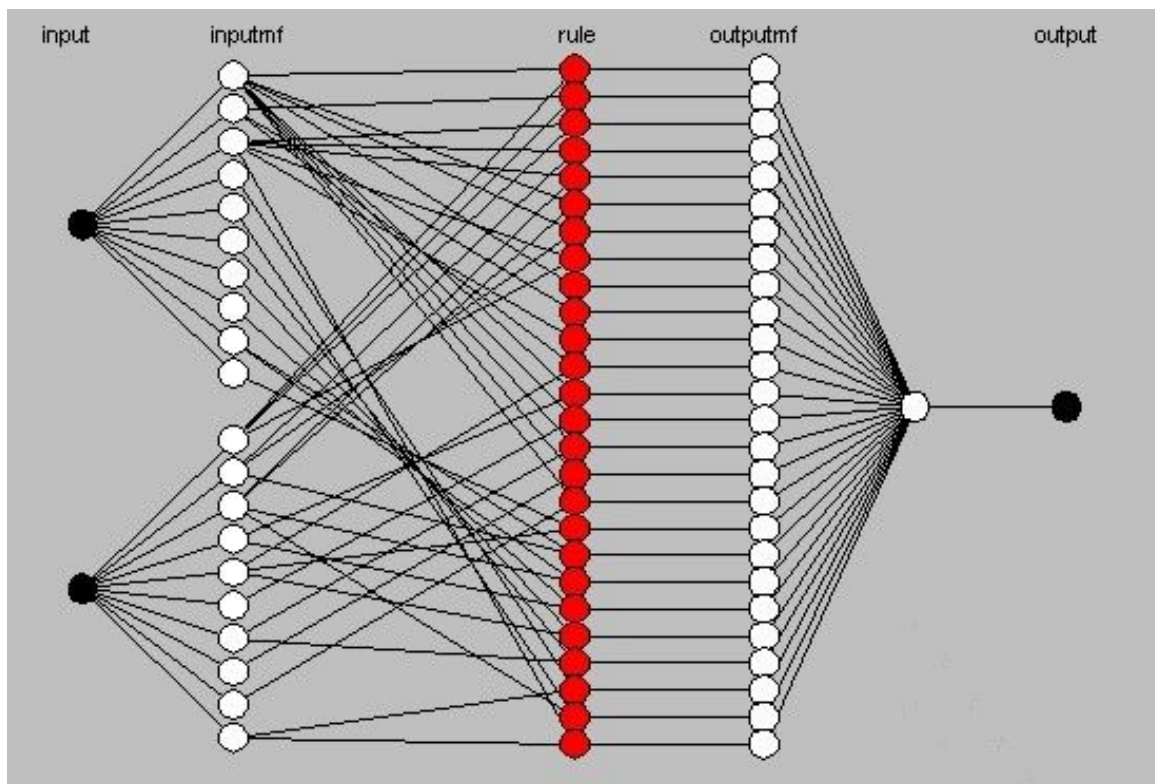


Рисунок 33 - Адаптивная нейро - нечеткая архитектура в Fuzzy Tech

В архитектуре определены пять основных этапов обработки в адаптивной нейро - нечеткой системе, в том числе фаззификация входных данных, нечетких операторов, способ применения, агрегации, и дефаззификация. Узлы входного слоя являются адаптивными. Для описания входных параметров выбраны функций принадлежности Гаусса.

Установим объем электропотребление ЭИС МЭП - W , фактическое потребление E и энергобаланс $S = W/E$, тогда уровень деления зависит от S , E в соответствии со следующими правилами:

Правило 1: если S мало, независимо от фактического вывода W и фактическое потребление, как мы признаем это как хороший уровень.

Правило 2: если S близко к нулю, а W является низким, то определяем его как нормальное.

Правило 3: если S близко к нулю, а W является высоким, это в критической степени, и это расценивается, это как уровень контроля, который означает, что ручной контроль требуется.

Правило 4: если S приближается к единице, мы рассматриваем его как уровень предупреждения.

В результате моделирования в FuzzyTech получим управляющую поверхность принятия решений представленную на Рисунке 33.

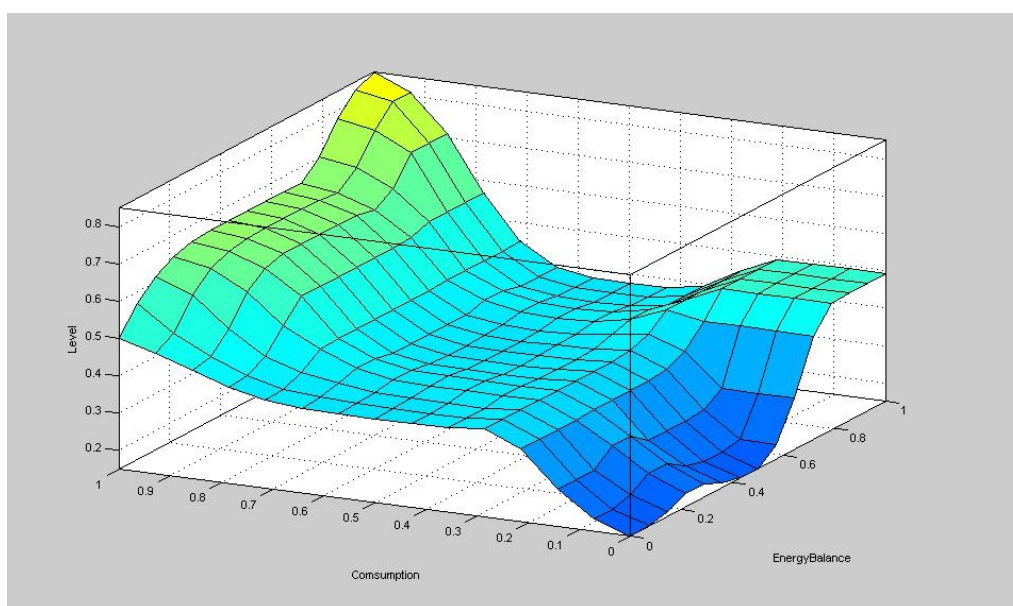


Рисунок 34 - Поверхность принятия решения FuzzyTech в управлении топологией ЭИС МЭП

Для снижения энергетических потерь в ЭИС МЭП необходим точный и эффективный анализ расположения участков топологии сети с интенсивными потерями. Мониторинг распознает такие сегменты и рекомендует сетевые устройства (или автоматически управлять ими) и схему переключений. Снижение потерь ведет не только к прямому уменьшению потребления ЭЭ, но и подразумевает улучшение параметров по напряжению, выравнивание нагрузок и оптимальное использование сетевых ресурсов (топология сети) [93].

Используя точную сетевую модель и широкий набор аналитических функций, ЭИС МЭП имеет возможность непрерывно и в реальном времени анализировать рабочее состояние сети с самовосстанавливающимися характеристиками и управлять всеми составляющими элементами: кабельные линии, трансформаторы, выключатели, предохранители и прочие элементы энергокластеров.

3.4 Анализ показателей функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП на основе статистического моделирования

Задача 1. Прогнозирование энергопотребления ЭИС МЭП (ПО Statistica, встроенный пакет ST Neural Networks).

В результате проведенного исследования было получено что в электроинфраструктуре при прогнозировании средняя ошибка имеет значение 2,5 %. Использование для прогнозирования потребления энергии ЭИС МЭП отлаженной нейронной технологии, реализованной в корректно спроектированной и обученной нейронной сети в ПО Statistica со встроенным пакетом ST Neural Networks., определяется возможность в обеспечении достаточно высокой точности и скорости прогнозирования потребления энергии ЭИС МЭП.

Задача 2. Мониторинг показателей качества электрической энергии.

По результатам моделирования долевая значимость технических проблем, обусловленных ухудшением ПКЭ в энергокластерах электроинфраструктуры предприятия составила 49 % - при провалах напряжения и перенапряжениях, 22 % от высших гармоник тока и напряжения, а 15 % обусловлены последствиями от распространения кондуктивных помех в электрических сетях, их конструкцией и условиями заземления. Качество показателей ЭЭ определяется процессами генерации, передачи, распределения и потребления в ЭИС МЭП. ЭЭ низкого качества приносит значительные ущербы в выходе из строя оборудования. В формирующихся интеллектуальных электроинфраструктурах предприятий концепции ААИС качество ЭЭ является обязательным условием их функционирования.

Задача 3. Параметрическое диагностирование элемента энергокластера «потребление».

Рассмотрены методы мониторинга параметров процесса, основанные на применении карт Шухарта, КУСУМ и ЭВСС. Проанализирована чувствительность статистических процедур к возможным нарушениям процесса. Проанализирована модель многомерного мониторинга, основанная на статистике Хотеллинга. Проведенный анализ исследований в области статистического мониторинга многопараметрического технологического процесса функционирования элемента ЭИС МЭП определил основной инструмент статистического контроля коррелированных параметров в качестве карты Хотеллинга. Повышение чувствительности многомерной карты может быть реализована при использовании предупреждающей границы. Модель мониторинга обнаруживает отклонение на самых ранних стадиях изменения технического состояния и при этом указывает также на ранжированный вклад каждого технологического параметра в наблюдаемые изменения технического состояния, что позволяет выбрать направление поиска источников возникающих проблем. Раннее обнаружение возникающих дефектов и отказов при функционировании позволяет диагностировать проблемы до того, как они превратятся в аварии. В результате теоретических экспериментов было выявлено, что наилучшим является режим мониторинга процесса функционирования ЭИС МЭП с использованием контрольных карт Хотеллинга с предупреждающей границей.

Задача 4. Мониторинг топологии электроинфраструктуры.

Распределенная генерация со временем становится все более популярной, вследствие этой тенденции ЭИС МЭП становятся маленькими «островками», объединенными в огромную энергетическую инфраструктуру. Также они могут

функционировать независимо в качестве микросетей, без подключения к остальным «островкам».

Анализ перспективных интеллектуальных средств ПО Fuzzy Tech выявил, что при решении проблем управления и принятия решений, хороший результат показали системы интеллектуального анализа данных. Синтез возможностей нейронных сетей и нечеткой логики определен как перспективный подход к реализации систем интеллектуального анализа данных. Предложенная адаптивная нейро - нечеткая модель является быстродействующей в расчетах, что крайне важно для принятия решения. Поэтому она может быть использована для определения лучшей комбинации в топологии ЭИС как источник - потребитель, когда принятие решения имеет важное значение в отношении времени.

3.5 Результаты и выводы по разделу 3

1. Обоснована целесообразность использования для автоматизации мониторинга функционирования ЭИС МЭП при изготовлении изделий микроэлектроники активно-адаптивной интеллектуальной сети на основе применения методов статистического анализа и нечеткой логики.

2. Решена задача статистической информации: определены зависимости между переменные и их факторами, установлена взаимосвязь между интервалами изменения физических величин электрических параметров и факторами функционирования элемента ЭИС МЭП.

3. Разработана методика статистического анализа данных для управления электрических параметров элемента, при влиянии внутренних и внешних возмущений и определение предиктивного управляющего воздействия при использовании методов статистического управления процессом функционирования контроля данных мониторинга электрических параметров элемента.

4. На основе анализа процессов функционирования энергокластеров разработана методика статистического управления, обеспечивающая учет взаимовлияния параметров, предиктивное управление в процессе функционирования элемента энергокластера ЭИС МЭП в условиях внутренних и внешних возмущений.

5. Разработанная система мониторинга и прогнозирования в управлении процессов функционирования элементов может быть использована в качестве обобщенной модели для разработки ЭИС концепции ААИС в различных промышленных предприятиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены теоретические положения, совокупность которых имеют важное значение в повышении результативности функционирования ЭИСП изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС, путем разработки методики и алгоритма мониторинга и управления, реализованных на основе статистического анализа.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе, обеспечили достижение цели исследования, заключающейся в повышении результативности функционирования энергокластеров ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС.

В диссертационной работе изложены следующие результаты, имеющие теоретическое и практическое значение:

- определены границы мониторинга энергокластеров ЭИС МЭП, их состав в соответствии с принадлежностью по типам, классам и уровням концепции ААИС;
- проведен анализ особенностей мониторинга и управления ЭИС, учитывающие требования к эффективному функционированию в условиях концепции ААИС;
- разработана математическая модель функционирования ЭИС МЭП;
- разработана модель статистического управления функционированием энергокластера ЭИС МЭП на основе исходных данных, полученных от измерительной приборной базы;
- определены основные предложения по реализации концепции ААИС в отечественных ЭИС МЭП с учетом обеспечения повышения результативности функционирования.

Практической значимостью обладают:

- научно - методический аппарат моделирования процессов функционирования ЭИС МЭП с учетом требований концепции ААИС,

позволяет совместно с теоретическими расчетами прогнозировать энергопотребление элемента энергокластера;

- методика статистического мониторинга и управления ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, позволяет в автоматическом режиме диагностировать и предиктивно демпфировать возникающие отказы и аварии;
- методика и алгоритмы мониторинга ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, позволяют снизить потребление ЭЭ чистыми помещениями без снижения заданных классов чистоты при производстве изделий микроэлектроники.

Внедрение основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе подтверждено актами АО «НИИМА «Прогресс», АО «НПП «Радар ммс», ГУАП.

Итоговые выводы и решения диссертационной работы предполагают возможность расширенного использования полученных результатов в электроинфраструктурах предприятий различных производственных отраслей при модернизации и реинжиниринге в соответствии с инновационной концепцией ААИС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Федеральная целевая программа «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы»: Постановление от 17 февраля 2016 года №110, № 109.
2. Указ Президента РФ № 579 от 13.05.2010 «Об оценке эффективности деятельности органов исполнительной власти субъектов РФ и органов местного самоуправления городских округов и муниципальных районов в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности».
3. Постановление Правительства РФ № 318 от 25.04.2011 «Об утверждении Правил осуществления государственного контроля за соблюдением требований законодательства об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в некоторые акты Правительства РФ».
4. Федеральный закон № 197-ФЗ «О внесении изменений в статью 13 Федерального закона «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (утв. 11.07.2011).
5. ГОСТ Р 53564-2009. Контроль и диагностика машин. Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга. М.: Стандартиформ, 2010. 15 с.
6. ГОСТ Р ИСО 17359-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство по организации контроля состояния и диагностирования. Стандартиформ. 2011.
7. ГОСТ Р ИСО 7870-2-2015. Статистические методы. Контрольные карты. Часть 2. Контрольные карты Шухарта. Стандартиформ. 2016.
8. Федеральный закон «Об электроэнергетике» (с учетом изменений, внесенных № 250-ФЗ от 04.11.2007г.).

9. Правила оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике (с изменениями на 2 марта 2017 года). Постановление Правительства РФ № 854 от 27 декабря 2004 года.
10. ГОСТ серии "Информационная технология". Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы (ГОСТ 34.602-89; ГОСТ 34.201-89; РД 50-682-89; РД 50-680-88; ГОСТ 34.601-90; РД 50-34.698-90, ГОСТ 34.603-92). Стандартиформ. 2009.
11. ГОСТ 24.104-85. Единая Система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования. Стандартиформ. 2009.
12. ГОСТ Р МЭК 60870-5-101-2006. Издание 2. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 101. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики. Стандартиформ. 2006.
13. ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей. Стандартиформ. 2006.
14. ГОСТ Р МЭК 60870-5-103-2005. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 103. Обобщающий стандарт по информационному интерфейсу для аппаратуры релейной защит. Стандартиформ. 2006.
15. ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. Стандартиформ. 2007.
16. ГОСТ 15543.1-89. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам. Издательство стандартов. 2004.
17. ГОСТ ИЕС 60255-5-2014. Реле электрические. Часть 5. Координация изоляции измерительных реле и защитных устройств. Требования и испытания. Стандартиформ. 2015.

18. ГОСТ Р 51317.6.5-2006. (IEC 61000-6-5: 2001). Устойчивость к ЭМ помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний. Стандартиформ. 2007.
19. ГОСТ Р 50648-94. (МЭК 61000-4-8-93). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Требования и методы испытаний. Издательство стандартов. 2004.
20. ГОСТ Р 51317.4.2-99. (МЭК 61000-4-2-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний. Издательство стандартов. 2001.
21. ГОСТ Р 51317.4.3-2006. (МЭК 61000-4-3-2006). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний. Стандартиформ. 2007.
22. ГОСТ Р 51317.4.4-2007. (МЭК 61000-4-4-2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний. ЗАО "Научно-испытательный центр "САМТЭС"
23. ГОСТ 51317.4.5-99. (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний.
24. ГОСТ Р 51317.4.5-99. (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний.
25. ГОСТ Р 51317.4.6-99. (МЭК 61000-4-6-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний.
26. ГОСТ 51317.4.12-99. (МЭК 61000-4-12-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. Требования и методы испытаний.

27. ГОСТ Р 51317.4.17-2000. (МЭК 61000-4-17-99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока. Требования и методы испытаний.
28. ГОСТ Р МЭК 60950-2002. (МЭК 60950-1999). Безопасность оборудования информационных технологий.
29. ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная Безопасность. Общие требования.
30. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.
31. ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление.
32. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
33. ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.
34. ГОСТ 12.2.007.6-75. ССБТ. Аппараты коммутационные низковольтные. Требования безопасности.
35. ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности. ИПК Издательство стандартов. 2001 С.
36. ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности. ИПК. Издательство стандартов. 1978. С.12.
37. ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования. ИПК. Издательство стандартов. 1978. С.
38. ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. ИПК. Издательство стандартов. 1971. С.73.
39. ГОСТ 15543.1-89Е. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам. Министерство электротехнической промышленности и приборостроения СССР. 1989. С.15.

40. ГОСТ 17516.1-90Е. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам. Министерство электротехнической промышленности и приборостроения СССР. 1991. С.53.
41. РД 34.08.502-96. Основные научно-технические требования к созданию и развитию автоматизированных систем управления районов электрических сетей (АСУ РЭС). - М.: РАО "ЕЭС России", 1996.
42. РД 34.08.501-89. Основные положения по созданию автоматизированных систем управления предприятий электрических сетей (АСУ ПЭС). - М.: РАО "ЕЭС России".
43. РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. - М.: РАО "ЕЭС России", 1998.
44. РД 34.11.321-96. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций.. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Основные нормируемые метрологические характеристики. Общие требования. - М.: РАО "ЕЭС России", 1998.
45. РД 34.11.321-96. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций. - М.: РАО "ЕЭС России", 1996
46. Абдурахманов, А.М. Оценка надежности элементов интеллектуальной электрической сети на основе облачной теории / А.М. Абдурахманов, М.Ш. Мисриханов, В.Н. Рябченко, А.В. Шунтов. ЭЛЕКТРО. 2012. №6.
47. Адамецки, К. О науке организации / К. Адамецки. Избр. произведения. Пер. с польск. М., 1972. 191с.
48. Антохина, Ю.А. Информационная поддержка процессов улучшения качества технических объектов / Ю.А. Антохина, А.Г. Варжапетян, Е.Г. Семенова. СПб.: Политехника, 2016. 305 с.
49. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер. Изд-во «Металлургия». 1968. 155 с.

50. Антохина, Ю.А. 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.
51. Балашов, В.М. Управление производственно-технологическими комплексами в условиях неопределенности / В.М. Балашов, С.А. Морозов, М.С. Смирнова. Вопросы радиоэлектроники - 2016. - № 2. - С. 86-89.
52. Балашов, О.В. Направления научных исследований в области Smart Grid в ЕС до 2035 г / О.В. Балашов. Энергоэксперт, 2015, № 5, 76.
53. Балашов, О.В. Smart Grid: история появления и развития / О.В. Балашов. Энергоэксперт 2014, № 1, 68
54. Балашов, О.В. Smart Grid в Европейском союзе: обзор состояния проектов на 2014 год / О.В. Балашов. Энерго Эксперт, 2014, № 6, 58.
55. Батьковский, А.М. Optimization of High-Tech Products Export Program in Terms of Resource and Time Constraints / А.М. Батьковский, М.А. Батьковский, В.В. Ключков, Е.Г. Семенова, А.В. Фомина. INDIAN JOURNAL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. 2016. Vol. 9 (27). С. 392 - 404.
56. Батьковский, А.М. Implementation Risks in Investment Projects on Boosting High -Tech Business Production Capacity: Analysis and Management / А.М. Батьковский, А.В. Фомина, А.М. Батьковский, В.В. Ключков, Е.Г. Семенова. Journal of Applied Economic Sciences. 2016. Volume XI, Issue 6(44). С. 1200 - 1209.
57. Батьковский, А.М., Problems of Coordination of Hi-Tech Enterprises' Strategies in Implementation of Innovative Technologies / А.М. Батьковский, В.В. Ключков, Е.Г. Семенова, А.В. Фомина, Н.В. Чернер. MEDITERRANEAN JOURNAL OF SOCIAL SCIENCES. 2015. Vol. 6. No. 4 (S4). С. 172-182.
58. Бирюков, Е.В. Практическая реализация нечеткой нейронной сети при краткосрочном прогнозировании электрической нагрузки / Е.В. Бирюков, М. С. Корнеев. Известия Томского политехнического университета. 2006. Томск.
59. Боровиков, В.П. Statistica: искусство анализа данных на компьютере / В.П. Боровиков. СПб.: Питер. 2 изд. 2003. 688 с.

60. Волкова, И.О. Управление активами электросетевых компаний: зарубежный опыт: монография / И.О.Волкова, Б.Б. Кобец. - Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 126 с.
61. Воропай, Н.И. Концепция обеспечения надёжности в электроэнергетике / Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалёв, Ю.Н. Кучеров. М.: ООО ИД «Энергия». 2013. 212 с.
62. Воропай, Н.И., Интегрированные интеллектуальные энергетические системы / Н.И. Воропай, В.А. Стенников. Известия РАН Энергетика 2014, №1, 64.
63. Дорофеев, В.В. Перспективы применения в ЕЭС России гибких (управляемых) систем передачи переменного тока / В.В. Дорофеев, Ю.Г. Шакарян, В.И. Кочкин, Л.А. Кошечев, Э.Г. Хвощинская. Электрические станции. 2004. № 8. С. 10.
64. Дорофеев, В.В. Теоретические основы, методы и модели управления большими электротехническими системами / В.В. Дорофеев, С.Н. Васильев, Д.Б. Гвоздев, Ю.А. Дементьев, Д.Н. Ефимов, И.Н. Колосок, П.Ю. Корсунов, И.А. Косолапов, В.Г. Курбацкий, Ю.Н. Кучеров, Ю.Я. Любарский, Ю.И. Моржев, В.Л. Пелымский, М.А. Рабинович, И.Б. Ядыкин. Исключительное право на отчетные материалы принадлежит ПАО «ФСК ЕЭС». Москва, 2015.
65. Дорофеев, В.В. Активно - адаптивная сеть новое качество ЭЭС России / В.В. Дорофеев, А.А. Макаров. Энергетическая политика. 2009. № 4. С. 28.
66. Дорофеев, В.В. Проблемы создания и применения в электрических сетях устройств, использующих явления сверхпроводимости / В.В. Дорофеев, Н.А. Черноплеков, В.Е. Кейлин, Э.П. Волков, Ю.Г. Шакарян, А.К. Михайлов, В.Е. Сытников, Л.И. Чубраева, Н.Л. Новиков. Электричество. 2005. № 7. С. 22-30.
67. Дж. Парк, Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство / Дж. Парк, С. Маккей. М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. 504 с.
68. Горелик Т.Г. Цифровая подстанция. Подходы к реализации. / Т.Г. Горелик, О.В. Кириенко, Н.А. Дони. Сборник докладов XXI конференции Релейная защита и автоматизация энергосистем. 2012 г. с. 10 – 17.

69. Горчаков А.А. Практическая реализация концепции Smart Grid / А.А. Горчаков, П.В. Кабанов. Автоматизация и ИТ в энергетике. 2015, №12, 4
70. Ерманский, О.А. Научная организация труда и система Тэйлора / О.А. Ерманский. М.: Госиздат, 1922. 367 с.
71. Измайлов, С.В. Новые подходы к созданию энергоинформационных распределительных сетей / С.В. Измайлов. Электротехника. 2014, № 2, 39
72. Ицкович, Э.Л. Современные тенденции развития автоматической части систем управления технологическими процессами / Э.Л. Ицкович. Датчики и системы. 2015. № 11. С. 68-76.
73. Клячкин, В.Н. Модели и методы статистического контроля многопараметрического технологического процесса / В.Н. Клячкин. Физматлит. 2011. 196 с.
74. Клячкин, В.Н. Анализ корреляционных связей между показателями качества технологического процесса / В.Н. Клячкин. Материалы и технологии XXI века: сб. материалов Всерос. науч.-техн. конф. 2001. Ч.3. С.158-159.
75. Клячкин, В.Н. Интерпретация результатов многомерного контроля с использованием частотного критерия Хотеллинга / В.Н. Клячкин. Моделирование. Теория, методы и средства: материалы междунар. науч.-практ. конф. Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ (НПИ), 2001. Ч. 4. С.48-49.
76. Кобец, Б.Б. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid / Б.Б. Кобец, И.О. Волкова. М ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
77. Клячкин, В.Н. Контрольная карта Хотеллинга с предупреждающей границей / В.Н. Клячкин. Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2001. № 4. С. 56-61.
78. Клячкин, В.Н. Логика принятия решения при многомерном контроле технологического процесса / В. Н. Клячкин. Континуальные логико - алгебраические исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике. Ульяновск : УлГТУ, 2001. Т. 3.С. 79-80.
79. Клячкин, В. Н. Многомерный контроль процесса с использованием

карт Шухарта на главных компонентах / В. Н. Клячкин. Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвуз. сб. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2001. С. 53-57.

80. Клячкин, В.Н. Модели многомерного контроля факторов, определяющих эксплуатационную надежность / В.Н. Клячкин. Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкций и методы их решения: тр. 4-й Междунар. конф., СПб.: Нестор, 2001. С. 149-151.

81. Клячкин, В.Н. Модели многомерного статистического контроля технологического процесса / В.Н. Клячкин. Управление экономикой: методы, модели, технологии: сб. науч. тр. Рос. науч.-метод. конф. с междунар. участием. Уфа: УГАТУ, 2001. Ч. 2. С. 289-293

82. Клячкин, В.Н. Статистические инструменты многомерного контроля технологического процесса / В.Н. Клячкин. Качество и ИПИ (CALS)-технологии : материалы 1-й науч. конф. М.: Фонд «Качество», 2004. С. 37-39.

83. Клячкин, В.Н. К вопросу о выборе режима контроля многопараметрического технологического процесса / В.Н. Клячкин, А.Ю. Михеев. Обзорные прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 16, вып. 5. С. 862-863.

84. Клячкин, В.Н. Многомерные статистические модели и методы при контроле технологического процесса / В. Н. Клячкин, А. Ю. Михеев. Математическое моделирование физических, технических, экономических, социальных систем и процессов : тр. 7-й междунар. конф., Ульяновск : УлГУ, 2009.

85. Клячкин, В.Н. Диагностика многопараметрического технологического процесса по результатам статистического контроля / В. Н. Клячкин. Автоматизация и современные технологии. 2009. № 2. С. 20-24.

86. Клячкин, В.Н. Диагностика нарушений многопараметрического технологического процесса по наличию тренда на карте Хотеллинга / В. Н. Клячкин, Д. В. Ведута, Е. Б. Дмитриева. Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем : тр. 6-й всерос. науч.-практ. конф. (с участием стран СНГ), Ульяновск: УлГТУ, 2009. С. 278-281.

87. Клячкин, В.Н. Задачи интерпретации результатов многомерного статистического контроля технологического процесса / В. Н. Клячкин, Д. Ю. Ведута. Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации: сб. науч. тр. Всерос. конф. с элементами науч. шк. для молодежи, Ульяновск: УлГТУ, 2009. Т. 3.С.310-315.
88. Клячкин, В.Н. Идентификация параметров контрольной карты Хотеллинга с учетом погрешностей измерений / В. Н. Клячкин, В. А. Сафин. Обзорные прикладной и промышленной математики. 2009. Т. 16, вып.5.С. 864.
89. Клячкин, В.Н. Использование карт на главных компонентах при статистическом контроле многопараметрического технологического процесса / В.Н. Клячкин, А.Ю. Михеев. Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем : тр. 6-й всерос. науч.-практ. конф. (с участием стран СНГ), Ульяновск: УлГТУ, 2009. С. 274-275.
90. Коверникова, Л.И. О комплексном подходе к управлению качеством электрической энергии / Л.И. Коверникова. Энергетика России в XXI веке. Инновационное развитие и управление. 2015. Иркутск.
91. Коршунов, Г.И. Управление процессами и инновациями при обеспечении качества приборов и систем / Г.И. Коршунов. Изд-во: ГУАП. 2008. 164 с.
92. 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.
93. Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно - адаптивной сетью / Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н., Веселов Ф.В., Воропай Н.И., Волкова И.О., Гельфанд А.М., Дементьев Ю.А., Дорофеев В.В., Корсунов П.Ю., Косолапов И.А., Купчиков Т.В., Кучеров Ю.Н., Моржин Ю.И., Новиков Н.Л., Тихонов Ю.А., Шакарян Ю.Г., Ядыкин И.Б., Абдурахманов А.М., Антонов А.Н. и др. // Одобрено Правлением ОАО «ФСК ЕЭС» 28.04.2012 / Москва, 2012.

94. Лахов, Ю.А. Анализ приборной базы в процессах мониторинга функционирования электроинфраструктуры предприятия в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов, Е.Г. Семенова. Вопросы радиоэлектроники: серия «Общетехническая». 2017. Вып.5. С. 6-10
95. Лахов, Ю.А. Статистический метод мониторинга энергокластера электроинфраструктуры предприятия в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов, Е.Г. Семенова, В.В. Бураков, М.С. Смирнова. Вопросы радиоэлектроники: серия «Общетехническая». 2017. № 10. С. 104-106.
96. Лахов, Ю.А. Мониторинг электроинфраструктуры предприятия на основе применения средств измерений и методов статистического анализа / Е.Г. Семенова, Ю.А. Лахов, А.О. Смирнов, А.Г. Степанов, М.С. Смирнова. Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 1. С 42-47.
97. Лахов, Ю.А. Автоматизированная система управления электрохозяйством ЗГПН ООО «КИНЕФ» / Ю.А. Лахов, Н.М. Осипов, С.В. Соловьев, В.М. Коршаков. Современные технологии автоматизации / Вып. 2, 2015. С.86-94.
98. Лахов, Ю.А. Статистическая оценка эффективности функционирования энергокластера / Ю.А. Лахов. World Science: Problems and Innovations: сб. науч. тр. Ч.1. МЦНС Наука и Просвещение. 2016. С.120-122.
99. Лахов, Ю.А. Функционирование энергокластеров в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов. Актуальные вопросы технических наук: сб. науч. тр. / Краснодар: Новация. 2017. С.4-7.
100. Лахов, Ю.А. Анализ технического базиса электроинфраструктуры Smart Grid / Ю.А. Лахов. Современное научное знание: теория, методология, практика: сб. науч. тр. / ООО «НОВОЛЕНСКО». 2017. С.177-179.
101. Лахов, Ю.А. Анализ мониторинга процессов функционирования электроинфраструктуры в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов. Татищевские чтения: Актуальные проблемы науки и практики: сб. науч. тр. / АПНП-2017.С.187-189.

102. Лахов, Ю.А. АСУЭ комплекса производства высокооктановых компонентов бензина «КИНЕФ» / Ю.А. Лахов, Н.М. Осипов, С.В. Соловьев, В.М. Коршаков. СТА № 4, 2017. С.22-28.
103. Лахов, Ю.А. Кибербезопасность электроинфраструктуры предприятия / Ю.А. Лахов, Е.Г. Семенова. Proceedings of the 13 th International Academic Conference «Applied and Fundamental Studies», 2017, Volume 2, pp. 36–38
104. Лютаревич, А.Г. Статистическая оценка качества электрической энергии / Т.В. Панкрац, В.А. Бодимер. Технические науки - от теории к практике: сб. ст. по матер. LI междунар. науч.-практ. конф. № 10(46). Новосибирск: СибАК, 2015.
105. 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.
106. Семенова, Е.Г. Основы моделирования и диагностики антенных устройств бортовых комплексов / Е.Г. Семенова. Монография. ФГУП «Издательство "ПОЛИТЕХНИКА"». 2003. 237 с.
107. Семенова, Е.Г. Системный подход при анализе процессов производства прецизионных сложнопрофильных конструкций / Е.Г. Семенова, О.И. Васильев. Информационно-управляющие системы. 2014. №1. С.102-107.
108. Оводенко, А.А. Методы и инструменты управления качеством проектов / А.А. Оводенко, Ю.А. Антохина, А.Г. Варжапетян, Е.Г. Семенова. Издательство: ГУАП. 2012. 304 с.
109. Рыбалко, В.В. Математические модели контроля надежности объектов энергетики / В.В. Рыбалко. ГОУ ВПО СПб ГТУРП. СПб. 2010. 151 с.
110. Скоролюк, В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Скоролюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход А.Ф. Трубин. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 640 с.
111. Олссон, Г. Цифровые системы автоматизации и управления / Г. Олссон, Д. Пиани. СПб.: Невский диалект, 2001. 557 с.
112. Огороков, Р.В. Оценка эффективности интеллектуальных технологий / Р.В. Огороков, А.В. Задорожный. Академия Энергетики, 2015, № 2, 24

113. Пьявченко, Т.А. Автоматизированные информационно-управляющие системы / Т.А. Пьявченко, В.И. Финаев. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2007. 271с.
114. Соковнин, А.В. Значение стандартизации при разработке программных решений для электроэнергетических компаний / А.В. Соковнин. Энергия Единой Сети. 2014, № 1, 36.
115. Фомина, А.В. Региональные аспекты функционирования энергосбытовых компаний / А.В. Фомина СПб.: ГУАП, 2007, 223с.
116. Фомина А.В. Территориальное распределение электроэнергетики Российской Федерации / А.В. Фомина. Научно-технические ведомости СПбПУ, 2008, вып. 5 (64), стр. 129-133.
117. Фомина, А.В. Прогнозирование развития отрасли аэрокосмического приборостроения в России / А.В. Фомина. Сборник научных трудов «Аэрокосмическое приборостроение в России», серия 1. Экономика, выпуск 4, НААП. СПб., 2004.
118. Хренников, А. Ю. Техническое состояние электрооборудования. (Оценка погрешности измерений) / А.Ю. Хренников. Новости электротехники. 2015, № 1, 40.
119. Хренников, А.Ю. Новые «Умные сети» (Smart Grid) для обнаружения повреждений и дефектов электрооборудования / А.Ю. Хренников. Smart Grid and Renewable Energy, 2012, № 3, 159-16.
120. Якунин, А.С. Перспективы развития радиоэлектронной промышленности / А.С. Якунин. Вопросы радиоэлектроники. 2014. Т. 4. № 2. С. 5-20.
121. Andres Carvallo, John Cooper. The Advanced Smart Grid. Edge Power Driving Sustainability – 2011 (электронный носитель).
122. Clark W. Gellings. The Smart Grid. Enabling Energy Efficiency and Demand Response. 2009 (электронный носитель).
123. Daniel E. Nordell. Определение безопасности. IEEE Power & energy, 2012, №1, 19-23
124. Dorofeev V.V., Flexible controlled system for DC current transsmition prospects for application in RAO “EES” Rossii / Dorofeev V.V., Shakaryan Yu.G., Kochkin V.I.,

Koshcheev L.A., Khvoshchinskaya Z.G. Power Technology and Engineering. 2004. Т. 38. №4. С. 236-239.

125. Eric D. Knapp. Industrial Network Security. 2011. (электронный носитель).

126. Farhangi H. Дорожная карта интеграции. IEEE Power & Energy, 2014, №3, 52-66.

127. Ryszard Strzelecki, Grzegorz Benysek. Power Electronics in Smart Electrical Energy Networks. 2008 (электронный носитель).

128. Smart Grids SRA 2035 Strategic Research Agenda Update of the Smart Grids SRA 2007 for the needs by the year 2035. - March 2012 (электронный носитель).

129. Fereidoon P. Sioshansi. Smart Grid: Integrating Renewable, Distributed & Efficient Energy – 2012 (электронный носитель).

130. NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 2.0. Февраль 2012. Авторы: NIST (Национальный институт технологий и стандартизации, США), Государственный коммерческий департамент США. Концепция и дорожная карта по стандартам взаимодействия для Smart Grid.

131. Grids 2030 A National Vision for Electricity's Second 100 years. - Office of Electric Transmission and Distribution of USA Department of Energy, 2003.

132. Smart Grids - European Technology Platform for Electricity Networks of the Future, 2005.

133. Smart Power Grids - Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology Portal, 2009.

134. Li Fei, Luo Sixi и др. Умное распределение. Transmission & Distribution, 2012, №11, 40-48.

135. Lu, B. Shi, X. Wu, H. Sun. Умные сети Китая. IEEE Power & Energy, 2015, № 5, 60-71.

136. Mladen Kezunovic и др. Большая картина. IEEE Power & energy, 2012, №4, 23 -34.

137. Wim Atkinson. Интеллектуальные счетчики, умные решения. [www.tdworld.com. Внедрение интеллектуальных счетчиков и преимущества их

использования для электроэнергетических компаний и потребителей].

Transmission & Distribution world, 2011, No 11, приложение 10.

138. Srinivasan D., Tan S.S., Chang C.S., Chan E.K. Practical implemenation of a hybrid fuzzy neural network for one-day-ahead load forecasting // IEE Proc. Gener. Transm. Distrib. 1998. Vol. 145. № 6.

СПИСОК ТЕРМИНОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Internet (Интернет) - глобальная инфосистема, где сегменты логически взаимосвязаны единым адресным пространством на протоколе TCP/IP.

Intranet (Интранет) - распределенная корпоративная вычислительная сеть, предназначенная для обеспечения теледоступа сотрудников к корпоративным информационным ресурсам и использующая программные продукты и технологии Интернет. Интранет позволяет контролировать доступ к корпоративной информации.

IP-протокол - протокол сетевого уровня стека протоколов TCP/IP, на основе которого построена глобальная сеть Internet. Протокол IP предназначается для адресации объектов внутри сети маршрутизации пакетов информации и гарантированной доставки пакетов по адресу назначения.

SCADA - системы (Supervisory for Control and Data Acquisition) - система дистанционного управления и телеметрии, используемая для мониторинга и диспетчерского управления энергообъектами различной размерности.

World Wide Web (WWW, Web) - Всемирная Паутина - основная служба в сети Internet, позволяющая получать доступ к информации на любых серверах, подключенных к сети.

ААИС - интеллектуальная электроинфраструктура с активно-адаптивной сетью, реализуемая на мультиагентом принципе управления ее функционированием и развитием. Функционирование активно-адаптивной сети начинается с процессов непрерывного диагностического мониторинга элементов энергокластеров: воздушные линии (ВЛ), кабельные линии (КЛ), технологическое оборудование подстанций сети (ТО ПС), подсистем АСУ ТП.

Автоматизированная система (АС) - совокупность технических, программных, других средств и персонала, направленный на автоматизацию технологических и бизнес процессов.

Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) - человеко - машинная система на основе комплекса технических и программных

средств и средств связи, обеспечивающих сбор, передачу, обработку и отображение оперативной информации о состоянии схемы электрической сети и текущем режиме энергосистемы (энергетического объекта), а также выполнение расчетов и оптимизации режимов и возможность обмена указанной информацией.

Автоматизированная система управления (АСУ) - комплекс математических методов, технических средств, обеспечивающих рациональное управление сложным объектом или процессом в соответствии с заданной целью.

В составе АСУ выделяют:

- основную часть, в которую входят информационное, техническое и математическое обеспечение;
- функциональную часть, к которой относятся взаимосвязанные программы, автоматизирующие конкретные функции управления.

Автоматизированное управление - управление, реализуемое персоналом совместно со средствами автоматизации основополагающих воздействий направленных на управление элементами электроинфраструктуры.

Автоматическое противоаварийное управление - управление режимами объекта с помощью средств противоаварийной и режимной автоматики с целью сохранения или восстановления нормального режима с минимизацией последствий аварийного возмущения.

Автоматическое управление-управление, реализуемое только автоматизацией контроллеров в процессе: сбора, обработки и передачи данных и формировании управления.

Активно-адаптивная сеть - электрическая сеть, оснащенная управляемыми средствами компенсации реактивной мощности (СКРМ), фазо - поворотными устройствами, управляемыми устройствами продольной компенсации, устройствами компенсации комбинированного типа и др.

Архитектура системы - совокупность описаний и правил, электроинфраструктуру и взаимодействие между ее энергокластерами.

Архитектура определяется во множестве взаимосвязей ее логической, физической, программной и организационных структур.

АСДТУ - автоматизированная система диспетчерско-технологического управления. Иерархическая АСУ электроинфраструктурой предприятия.

АСДУ- иерархическая автоматизированная система оперативно-диспетчерского управления электроинфраструктурой, программно-технические средства которой реализуются в диспетчерских центрах Системного оператора (ЦДУ ЕЭС, ОДУ, РДУ) и на объектах ЕЭС России.

АСУ ТП - автоматизированная система управления технологическим процессом. Система, включающая ПТК, способный решать задачи сбора, обработки, анализа, визуализации, хранения и передачи данных и управлять элементами электроинфраструктуры.

БД - База данных;

ВОЛС - волоконно - оптическая линия связи;

Вычислительная сеть - вычислительный комплекс, включающий территориально распределенную систему компьютеров и их терминалов, объединенных в единую систему. По степени географического распространения вычислительные сети подразделяются на локальные, корпоративные, глобальные и др.

ГИС - геоинформационная система;

Глобальная вычислительная сеть (ГВС) - вычислительная сеть, соединяющая компьютеры, географически удаленные на большие расстояния друг от друга. Глобальная сеть объединяет локальные сети.

Диагностика оборудования - организационно-технические мероприятия, обеспечивающие определение технического состояния оборудования.

ЕС - Европейский Союз;

Живучесть - способность системы противостоять без вмешательства персонала внезапным возмущениям, локальным или развивающимся и сопровождающимся отказами элементов и узлов, с ухудшением характеристик и с возможной частичной потерей функций в процессе деградации системы.

Повышению живучести способствуют резервирование элементов и автоматическая реконфигурация, которые при соответствующих решениях могут обеспечить сохранение полной функциональности системы при отказах.

ИБП - Источник бесперебойного питания;

Интеграция - объединение технических и/или программных ресурсов отдельных систем и/или подсистем, заключающееся в обеспечении строго регламентированных информационных взаимосвязей между ними, основанных на использовании стандартных протоколов обмена данными.

Интерфейс - свод правил, протоколов и соглашений, которые вкуче дают сопряжение элементов автоматизированной системы между собой.

Интерфейс передачи информации - интерфейс устройства, позволяющий осуществлять обмен информацией (физической и логической) между устройствами одного или разных функциональных уровней иерархической системы. Интерфейс определяет подключение канала передачи данных (в части механического соединения, а также физических и функциональных характеристик сигнала).

Информационная безопасность - состояние защищенности информационной среды. Информационная безопасность имеет три основные составляющие:

- конфиденциальность - защита чувствительной информации от несанкционированного доступа;
- целостность - защита точности и полноты информации и программного обеспечения;
- доступность - обеспечение доступности информации и основных услуг для пользователя в нужное для него время.

Информационная модель АСУТП - информационная модель, которая служит для отображения и описания информационных объектов, участвующих в процессе реализации функций подсистем и АСУТП в целом (измерения, таблицы базы данных, алгоритмы, видеоформы, документы и т.д.).

Информационное обеспечение АС - информационное обеспечение в автоматизированных системах - совокупность единой системы классификации и кодирования информации, унифицированных систем документации и информационных массивов.

Информационные технологии - методы и средства получения, преобразования, передачи, хранения и использования информации.

Информационный обмен между компонентами АСУТП - архитектура, взаимосвязи между подсистемами и другими компонентами АСУТП, системное ПО, включая протоколы связи и внутренние интерфейсы системы, должны выбираться, исходя из следующих общих требований к информационному обмену между компонентами системы. Обмен информацией между подсистемами и между отдельными устройствами каждой подсистемы АСУТП должен осуществляться автоматически с помощью современных цифровых магистралей, образующих локальные информационно-управляющие сети (ЛВС), базирующиеся на стандартных международных протоколах.

ИП - Измерительный преобразователь;

КА - Коммутационный аппарат;

кВт. ч - киловатт-час;

Контроль показателей качества электроэнергии (ПКЭ) - процедура сбора, хранения и анализа данных о качестве электроэнергии в точках подключения нагрузки высоковольтной и распределительной сети. Контроль ПКЭ должен удовлетворять требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 13109-97 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения", введенного в действие 1 января 1999 г. постановлением Госстандарта РФ от 28 августа 1998 г. N 338 взамен ГОСТ 13109-87.

КПД - коэффициент полезного действия.

КЭ - качество электроэнергии.

ЛВС - Локальная вычислительная сеть.

ЛВС - Локальная вычислительная сеть.

Линия электропередачи системного значения - ЛЭП, соответствующая следующим критериям

- ЛЭП, изменение эксплуатационного состояния и величины перетока мощности по которой может привести к нарушению статической, динамической устойчивости, токовой перегрузке оборудования и недопустимым изменениям напряжения в узлах электрической сети в нормальной и ремонтных схемах;
- ЛЭП, не входящая в контролируемое сечение, но эксплуатационное состояние, которой может привести к изменению максимально допустимых перетоков в контролируемых сечениях;
- ЛЭП, обеспечивающая выдачу мощности электростанции, включая любую ЛЭП транзита;
- ЛЭП, оснащенная устройствами системной противоаварийной автоматики или участвующая в работе комплексов ПА.

Локальная вычислительная сеть (ЛВС) - вычислительная сеть, объединяющая с помощью высокоскоростной канальной системы компьютеры и другие вычислительные ресурсы (например, промышленные контроллеры) в пределах некоторой ограниченной территории (в данном случае подстанции). Характерные дальности передачи – от нескольких сот метров до нескольких километров и высокие скорости обмена – от 10 Мбит/с до 1000 Мбит/с. Наиболее типичные линии связи – медные кабели различного вида и оптические кабели. Логическая организация обмена информации выполняется с помощью программно реализуемых сетевых протоколов. Наиболее распространенным в настоящее время является стек протоколов TCP/IP, используемый в Internet.

МВт - мегаватт;

Мониторинг - непрерывное наблюдение и регистрация параметров состояния и функционирования контролируемого объекта с помощью средств автоматизации.

Мониторинг надежности - систематические наблюдения, регистрация, анализ и прогнозирование показателей надежности с целью оценки их текущего и ожидаемого уровня, подготовки информации для обоснования и выбора мероприятий по обеспечению эффективного функционирования и развития систем энергетики.

Мониторинг состояния оборудования - система организационных мер и технических средств, обеспечивающих периодическое получение параметров оборудования для контроля его технического состояния.

МЭА - Международное энергетическое агентство;

Наблюдаемость объекта управления - количественная оценка, дающая представление о достаточности состава фактически передаваемой телеинформации о технологических режимах работы объекта управления. Определяется как отношение фактически поступающих объемов телеинформации к требуемому объему.

Надежность - свойство объекта выполнять заданные функции (для систем электроэнергетики снабжение потребителей электроэнергией требуемого качества) в заданном объеме при условиях допустимых диапазонов внешних воздействий на объект и его эксплуатационных параметров

Надёжность АС - комплексное свойство автоматизированной системы сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность автоматизированной системы выполнять свои функции в заданных режимах и условиях эксплуатации.

Неоперативная технологическая информация - НТИ - технологическая информация различного вида и назначения, сбор, обработка, хранение и передача которой осуществляется средствами АСУТП в соответствии с требованиями, определяемыми ее использованием для выполнения неоперационных функций.

Общая информационная модель (Common Information Model - CIM) - информационная модель, назначением которой представляется единое унифицированное видение структур данных, вне зависимости от источника

получения данных с дальнейшим их использованием. СІМ представление является единым языком описания данных и интерфейса в общей интегрированной среде.

Операционная зона управления - согласованный перечень объектов электроэнергетики и токоприемников потребителей, управление технологическими режимами и эксплуатационным состоянием которых осуществляет соответствующий ДЦ.

ОС - Операционная система;

ПКЭ - Показатели качества электроэнергии;

ПО - Программное обеспечение;

Программно-аппаратный комплекс (ПАК) электроинфраструктуры - совокупность (комплекс) программных и аппаратных средств измерения, управления и автоматизации ЭИСП, в которой весь информационный обмен, в том числе и с первичным оборудованием, осуществляется в цифровом виде в соответствие с группой международных стандартов IEC 61850.

Пропускная способность - максимальное длительно допустимое значение мощности объекта, которое может быть обеспечено при данных условиях работы объекта (системы)

ПТК - Программно-технический комплекс.

ПТС - Программно-технические средства.

РГ - распределенная генерация.

Регистрация аварийных событий и процессов (РАС) - функция (функциональная подсистема) АСУТП, предназначенная для фиксации, накопления, анализа и представления информации о процессах возникновения, развития и ликвидации аварийных ситуаций на основном электрооборудовании ЭИСП и прилегающих участках сетей.

Ремонт по техническому состоянию - ремонт, назначаемый по результатам контроля технического состояния, а объем и момент начала ремонта определяется техническим состоянием объекта

РЗА - релейная защита и автоматика;

РСУ - Распределенной системы управления.

Сеть передачи данных (Сеть связи) - совокупность оконечных элементов (терминалов) связи, связанные каналами передачи данных и коммутирующими элементами, которые обеспечивают обмен сообщениями между всеми оконечными элементами.

Системы автоматического управления и регулирования - комплекс средств автоматики, который предназначен для поддержания заданных режимов функционирования элементов за счет сбора данных, выработки и реализации управления.

Стандарт МЭК 61850 - стандарт МЭК 61850 относится к системам автоматизации подстанции и отвечает требованиям интегрированной обработки информации, предоставляя пользователям, возможность доступа в реальном масштабе времени к упорядоченной системе знаний. МЭК 61850 определяет для поставщиков стандартизированные информационные модели.

СУБД - Система управления базой данных;

Технический учет ЭЭ - учет ЭЭ для контроля расхода электроэнергии внутри энергокластеров электроинфраструктуры.

Техническое обслуживание - комплекс операций (или операция) по поддержанию работоспособности объекта при его эксплуатации.

Технологическая информация - информация о режимах электрических сетей, состоянии сетевых объектов и их оборудования, состоянии средств и систем управления.

Технологическая информация - **разнородная** информация по виду и назначению, имеющая в составе сведения об электроэнергетическом режиме и состоянии электроинфраструктуры и сетевых элементов.

Технологический режим работы - процесс функционирования и состояние энергоустановок объекта электроэнергетики и/или токоприемника потребителя, включая параметры настройки РЗ и ПА.

Технологическое ведение - подтверждение возможности изменения технологического режима работы или эксплуатационного состояния объектов электросетевого хозяйства, осуществляемое оперативным персоналом.

Технологическое управление - выполняемые оперативным персоналом координация действий по изменению технологического режима работы или эксплуатационного состояния энергокластеров электроинфраструктуры и (или) сами действия с использованием средств телеуправления или непосредственно на объектах электросетевого хозяйства, исключая случаи, когда эти действия выполняются по диспетчерской команде или координируются оперативным персоналом.

ТИ – Телеинформация.

ТН - Трансформатор напряжения.

ТС – Телесигнализация.

ТТ - Трансформатор тока.

Управление линией электропередачи - изменение эксплуатационного состояния линии электропередачи и параметров ее работы, выполняемое путем отдачи пооперационных команд в нормальном режиме работы или при ликвидации аварийной ситуации.

ФЭК РФ - Федеральная энергетическая комиссия Российской Федерации;

Центр управления сетями - ЦУС (ЦУС ФСК, ЦУС РСК) - структурное подразделение сетевой компании, осуществляющее функции технологического управления и ведения в отношении объектов электросетевого хозяйства, входящих в его эксплуатационную зону.

Цифровая подстанция - подстанция оснащенная, системами контроля, управления и защиты, информационный обмен между устройствами которых выполняется только в цифровом виде.

Эксплуатационный ресурс оборудования - гарантированный с определенной вероятностью период эксплуатации оборудования.

Электроинфраструктура - комплекс взаимосвязанных обслуживающих структур или объектов, составляющих и/или обеспечивающих основу функционирования системы.

Энергокластер - сегмент активно-адаптивной сети, включающий в себя линии электропередач и цифровые подстанции.

ЭЭ - электрическая энергия.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Требования к электроинфраструктуре предприятия производства изделий микроэлектроники.

1. Энергокластер генерации электрической энергии (резервный источник: ДГУ, ИБП, генерация источников СЭ и ВЭ).

1.1. Наименование процесса: генерация ЭЭ, (постоянный и переменный ток) определение потребляемой мощности для нормального режима функционирования элементов энергокластера, мониторинг параметров основного источника питания.

1.2. Оборудование и приборная база: внешнее питание из сети генерирующих предприятий,

1.3. Требования к энергокластеру «генерация».

Основные положения параметров по качеству генерируемой ЭЭ, надежность источника, время работы резервного источника ЭЭ, соответствие потребляемой мощности элементов энергокластера.

2. Энергокластер трансформации электрической энергии.

2.1. Наименование процесса: трансформация ЭЭ (понижающие и повышающие трансформаторы, преобразование ЭЭ переменный ток постоянный ток AC/DC).

2.2. Оборудование и приборная база: трансформаторы, источники бесперебойного питания, тиристорные панели, инверторы.

2.3. Требования к энергокластеру «трансформация». Надежность элементов, качество трансформируемой электрической энергии ЭЭ.

2.3.1. Общие требования.

2.3.2. Требования по ГОСТ ПКЭ и ИСО 50001.

2.3.3. Тип и класс напряжения.

2.3.4. Требования к режиму работы и.т.д..

3. Энергокластер передачи электрической энергии.

3.1. Наименование процесса: передача электрической энергии ЭЭ

3.2. Оборудование и приборная база: кабельные линии и воздушные линии, системы передачи энергии РОЕ.

3.3. Требования к энергокластеру «передача ЭЭ». Надежность линий передачи ЭЭ.

3.3.1. Общие требования.

3.3.2. Требования к ИСО 50001 по ГОСТ ПКЭ .

4. Энергокластер распределения электрической энергии (ЭЭ).

4.1. Наименование процесса: распределение электрической энергии.

4.2. Оборудование и приборная база: КРУЭ, комплексные распределительные устройства, шкафы управления элементами (освещения, вентиляции, электрообогрева, и.т.д.)

4.3. Требования к энергокластеру «распределение».

4.3.1. Общие требования.

4.3.2. Требования к энергокластеру «распределение»: класс ИСО 50001 по ГОСТ ПКЭ.

5. Энергокластер потребление электрической энергии.

5.1. Наименование процесса: потребление ЭЭ - преобразование ЭЭ в различные виды энергии, световая, механическая, тепловая, в соответствии с типом энергокластера ЭИСП: освещение, электрообогрев, вентиляция.

5.2. Оборудование и приборная база: распределительные устройства.

5.3. Требования к энергокластеру «потребление».

5.3.1. Общие требования к энергокластеру «потребление».

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Нормативная документация для проектирования ЭИСП ПМ в условиях концепции активно - адаптивной интеллектуальной сети (ААИС).

Условное обозначение	Наименование документа
МЭК	МЭК 61850-8-1 протокол передачи данных о событиях элементов энергокластеров
	МЭК 61850-9-2 - протокол передачи оцифрованных мгновенных значений от измерительных ТТ и ТН
	МЭК 61970 - Energy Management System Application Programming Interface (EMS - API).
	IEC 61970-301 - Common Information Model base.
	IEC 61970 - 302 - Common information model financial, energy scheduling and reservations - определяет пакеты Energy Scheduling (Планирование), Reservation (Управление резервами) и Financial (Финансы)
	IEC 61970-303 определен пакет SCADA
	IEC 61850 - способствует автоматизации подстанций и коммуникаций, равно как и совместимости на основе единого формата данных
	IEC 608706 - описывает информационный обмен между центрами управления;
	IEC 608706 - описывает информационный обмен между центрами управления
	IEC 62351 - решает задачи кибербезопасности коммуникационных протоколов, определённых предыдущими стандартами IEC
	МЭК 61499
Федеральные законы	<ul style="list-style-type: none"> - Федеральный закон «Об электроэнергетике» (с учетом изменений, внесенных № 250-ФЗ от 04.11.2007 г.); - Правила оперативно - диспетчерского управления в электроэнергетике. - Постановление Правительства РФ № 854 от 27 декабря 2004 года.
Своды правил:	<ul style="list-style-type: none"> - Правила устройства электроустановок (ПУЭ), 7-е издание; - Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации (ПТЭ), 2003 г.; - Основные правила обеспечения эксплуатации атомных станций. 3-е издание, измененное и дополненное. РД ЭО 0348 - 02, М., 2002 г.

<p>Регламенты:</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Регламент допуска субъектов оптового рынка электроэнергии к торговой системе оптового рынка электроэнергии; - Приказ РАО «ЕЭС России» № 68 от 30.01.2006 г. «Об утверждении целевой организационно-функциональной модели оперативно - диспетчерского управления ЕЭС России»; - Приказ РАО «ЕЭС России» № 68 от 30.01.2006 г. «О приведении систем телемеханики и связи на генерирующих предприятиях электроэнергетики, входящих в состав холдинга ОАО РАО «ЕЭС России», в соответствие с требованиями балансирующего рынка»; - Приказ РАО «ЕЭС России» № 57 от 11.02.2008 г. «Об организации взаимодействия ДЗО ОАО РАО «ЕЭС России» при создании или модернизации систем технологического управления в ЕЭС России, выполняемым в ходе нового строительства, технического перевооружения, реконструкции объектов электроэнергетики»; - Приказ РАО «ЕЭС России» № 535 от 31.08.2007 г. «Об утверждении и вводе в действие стандарта организации ОАО РАО «ЕЭС России» «Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС и изолированно работающих энергосистемах России. Требования к организации и осуществлению процесса, техническим средствам».
<p>Национальные стандарты</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ серии "Информационная технология". Комплекс стандартов и руководящих документов на автоматизированные системы (ГОСТ 34.602-89; ГОСТ 34.201-89; РД 50-682-89; РД 50-680-88; ГОСТ 34.601-90; РД 50-34.698-90, ГОСТ 34.603-92); - ГОСТ 24.104-85 Единая Система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования; - ГОСТ Р МЭК 60870-5-101-2006. Издание 2. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 101. Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики.; - ГОСТ Р МЭК 60870-5-104-2004. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 104. Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей;

	<ul style="list-style-type: none">- ГОСТ Р МЭК 60870-5-103-2005. Устройства и системы телемеханики. Часть 5. Протоколы передачи. Раздел 103. Обобщающий стандарт по информационному интерфейсу для аппаратуры релейной защит;- ГОСТ 17516.1-90. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам;- ГОСТ 15543.1-89. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам;- ГОСТ 30328-95 (МЭК 60255-5-77). Реле электрические. Испытания изоляции электрических реле;- ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (IEC 61000-6-5: 2001). Устойчивость к ЭМ помехам технических средств, применяемых на электростанциях и подстанциях. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 50648-94, (МЭК 61000-4-8-93). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 51317.4.3-2006 (МЭК 61000-4-3-2006). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 51317.4.4-2007 (МЭК 61000-4-4-2004). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний;- ГОСТ 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний;- ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями.
--	--

	<p>Требования и методы испытаний;</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12-95). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к колебательным затухающим помехам. <p>Требования и методы испытаний;</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к пульсациям напряжения электропитания постоянного тока. <p>Требования и методы испытаний;</p> <ul style="list-style-type: none"> - ГОСТ Р МЭК 60950-2002 (МЭК 60950-1999). Оборудование информационных технологий.; - ГОСТ 12.1.004-91. ССБТ. Пожарная Безопасность. Общие требования; - ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ материалов. Номенклатура показателей и методы их определения; - ГОСТ 12.1.030-81. ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление; - ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности; - ГОСТ 12.1.012-90. ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования; - ГОСТ 12.2.007.6-75. ССБТ. Аппараты коммутационные низковольтные. Требования безопасности. - ГОСТ 12.2.003-91. ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности; - ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности; - ГОСТ 12.1.010-76. ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования; - ГОСТ 15150-69. Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды; - ГОСТ 15543.1-89Е. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам; - ГОСТ 17516.1-90Е. Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам; - ГОСТ 23216-78. Изделия электротехнические. Хранение, транспортирование, консервация, упаковка. Общие требования и методы испытаний.
--	---

Руководящие документы	<ul style="list-style-type: none">- РД 34.35.120-90. Основные положения по созданию автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) подстанций напряжением 35-1150 кВ; ЦДУ ЕЭС России. 1991.;- РД 34.35.127-93. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУТП тепловых электростанций; РАО ЕЭС России. 1995.;- Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ;- РД 34.08.502-96. Основные научно-технические требования к созданию и развитию автоматизированных систем управления районов электрических сетей (АСУ РЭС); РАО ЕЭС России. 1996.;- РД 34.08.501-89. Основные положения по созданию автоматизированных систем управления предприятий электрических сетей (АСУ ПЭС); РАО ЕЭС России. 1994.;- РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем; РАО ЕЭС России. 1997.;- РД 34.11.114-95. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Основные нормируемые метрологические характеристики. Общие требования. - М.: РАО "ЕЭС России", 1998.;- РД 34.11.321-96. Нормы погрешности измерений технологических параметров тепловых электростанций и подстанций; М.: РАО "ЕЭС России", 1996.;- РД 34.35.310-97. Общие технические требования к микропроцессорным устройствам защиты и автоматики энергосистем. М.: РАО "ЕЭС России", 1999.
-----------------------	---

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Акты внедрения**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»
(ГУАП)

ул. Большая Морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000, Тел. (812) 710-6510, факс (812) 494-7057,
 E-mail: common@aanet.ru ОГРН 1027810232680, ИНН/КПП 7812003110/783801001

№ _____

На № _____



УТВЕРЖДАЮ

И.о. ректора ГУАП

Д.А. Тимофеева

МП

2017 г.

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

результатов диссертационной работы

Лахова Юрия Александровича

«Методика и средства мониторинга электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники»

Комиссия в составе:

Председатель – заведующий кафедрой высшей математики и механики, д-р ф.-м. наук А.О. Смирнов

Члены комиссии: доцент кафедры высшей математики и механики, канд. техн. наук Ю.А. Гусман

старший преподаватель кафедры высшей математики и механики,

канд. ф.-м. наук О.Ю. Иванова

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы «Методика и средства мониторинга электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук:

- модель процесса мониторинга электроинфраструктуры микроэлектронного предприятия в условиях концепции активно-адаптивных интеллектуальных сетей, учитывающая все подпроцессы сбора, передачи, обработки и прогнозирования информационных данных,
- математическая модель функционирования электроинфраструктуры микроэлектронного предприятия с регистрацией внутренних и внешних возмущающих факторов, обеспечивающая учет основных векторов состояний, измерений и управляющих воздействий,

– использованы в деятельности Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

Материалы диссертационной работы Лахова Юрия Александровича были использованы в учебном процессе в дисциплинах «Математические методы и модели в научных исследованиях», «Математические методы в задачах анализа и синтеза систем», читаемых на кафедре высшей математики и механики для студентов направлений «Прикладная математика и информатика», «Прикладная математика».

Председатель комиссии

докт. физ.-мат. наук

Члены комиссии:

канд. техн. наук, доцент

канд. физ.-мат. наук

А.О. Смирнов

Ю.А. Гусман

О.Ю. Иванова



Акционерное общество
«Научно-производственное предприятие «Радар ммс»

197375, Россия, Санкт-Петербург
ул. Новосельковская, д.37, лит. А
тел.: +7 (812) 777-50-51
факс: +7 (812) 600-04-49
e-mail: radar@radar-mms.com
www.radar-mms.com

092-134
26.06.2017

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
кандидат технических наук



И.Г.Анцев

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов диссертационной работы ЛАХОВА Юрия Александровича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроения)

Комиссия в составе:

Председатель – заместитель директора научно-производственного комплекса микроэлектроники, микросистемо-техники и нанотехнологий – директор научного комплекса, д.т.н., проф. Богословский С.В.

Члены комиссии:

начальник центра, канд.техн.наук, доцент Карпова И.Р.

ст.научн.сотрудник, докт.техн.наук, Заслуженный деятель науки и техники РФ, доцент Бундин Г.Г.

ведущий специалист Стовец Ю.В..

настоящим актом подтверждает, что научные выводы, положения и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Лахова Ю.А.:

- принципы построения системы мониторинга электроинфраструктуры (ЭИС) микроэлектронного предприятия (МЭП);


- методика статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных от приборной измерительной базы;

- модель процесса мониторинга ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, учитывающая все подпроцессы сбора, передачи, обработки и прогнозирования информационных данных.

использованы при организации серийного производства микроэлектронной аппаратуры систем управления и наведения изделий серии 500, а также при модернизации производственно-технологической базы научно-производственного комплекса микроэлектроники, микросистемотехники и нанотехнологий..

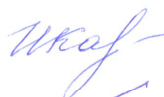
Использование результатов диссертационного исследования Лахова Ю.А. обеспечило снижение энергопотребления серийного производства микроэлектронной аппаратуры на 7-9% при сохранении качества аппаратуры, сокращение трудовых затрат на эксплуатацию аппаратуры обеспечения микроклимата производственных зон на 5-7%.

Председатель комиссии



С.В. Богословский

Члены комиссии



И.Р. Карпова



Г.Г. Бундин



Ю.В. Стовец



Российская Федерация
Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт
микроэлектронной аппаратуры
«Прогресс»

125183, Москва, пр-д Черепановых, 54
Тел.: (499) 153-03-11; Факс: (499) 153-01-61
niima@mri-progress.ru
<http://www.mri-progress.ru>

20.11.2017 № 538
на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
К.э.н.

В.В. Шпак

АКТ О ВНЕДРЕНИИ

научных результатов диссертационной работы ЛАХОВА Юрия Александровича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.22 – Организация производства (радиоэлектроника и приборостроения)

Комиссия в составе:

Председатель – главный научный советник, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат премий Правительства РФ, Госкомоборонпрома Немудров В.Г.

Члены комиссии:

- начальник отдела испытаний и измерений Иванов А.Н.
- и.о. начальника отделения аппаратуры Чикваркин И.Б.

настоящим актом подтверждает, что научные выводы, положения и рекомендации, сформулированные в диссертационной работе Лахова Ю.А.:

- принципы построения системы мониторинга электроинфраструктуры (ЭИС) микроэлектронного предприятия (МЭП);

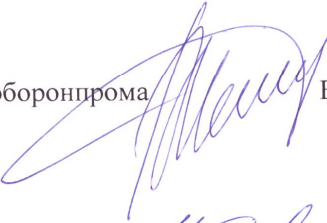
- методика статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных от приборной измерительной базы;

- модель процесса мониторинга ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС, учитывающая все подпроцессы сбора, передачи, обработки и прогнозирования информационных данных.

использованы при организации серийного производства навигационных приемников и микроэлектронной аппаратуры ГЛОНАСС/GPS, а также при создании производственно-технологического комплекса дизайн-центра Российской Федерации по разработке специализированной микроэлектронной элементной базы.

Использование результатов диссертационного исследования Лахова Ю.А. обеспечило снижение энергопотребления серийного производства микроэлектронной аппаратуры и приемников аппаратуры ГЛОНАСС-GPS на 13-15% при сохранении качества микроэлектронной аппаратуры, сокращение трудовых затрат на эксплуатацию аппаратуры обеспечения микроклимата производственных зон на 11-14%.

Председатель комиссии:

Главный научный советник,
доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники РФ,
лауреат премий Правительства РФ, Госкомоборонпрома  В.Г. Немудров

Члены комиссии:

Начальник отдела испытаний и измерений  Иванов А.Н.

И.о. начальника отделения аппаратуры  Чикваркин И.Б.