

На правах рукописи



ЛАХОВ Юрий Александрович

**МЕТОДИКА И СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА
ЭЛЕКТРОИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ**

Специальность 05.02.22 – Организация производства
(радиоэлектроника и приборостроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена на кафедре инноватики и интегрированных систем качества Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Научный руководитель: **Фомина Алена Владимировна**
доктор экономических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Соловьева Елена Борисовна,**
доктор технических наук, доцент
Заведующий кафедрой Теоретических основ электротехники ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Смирнов Владимир Александрович
Кандидат технических наук
Ведущий инженер-электроник бюро перспективных заказов отдела новой техники, начальник патентно-лицензионного отдела ЗАО «НТЦ «Аквамарин»

Ведущая организация: **Открытое акционерное общество «Авангард»,**
195271, г. Санкт-Петербург, Кондратьевский пр., д. 72

Защита состоится «22» июня 2018 г. В 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.233.04 при Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 67.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по адресу: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67 и на сайте университета <http://dissov.guap.ru>

Автореферат разослан «4» мая 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
канд. техн. наук, доцент



Фролова Е.А.

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Генезис развития радиоэлектронных устройств, политика импортозамещения и постоянно возрастающие требования к качеству продукции отечественной микроэлектроники определяют постановку задачи повышения результативности функционирования электроинфраструктур предприятий изготовления микроэлектроники.

Актуальность создания инновационных средств мониторинга в электроинфраструктурах предприятий производства микроэлектроники подтверждается включением «Технологии информационных, управляющих, навигационных систем» в Перечень критических технологий РФ, утвержденный Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899, а также Государственной программой Российской Федерации «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013–2025 годы», утвержденной Постановлением Правительства от 17 февраля 2016 года № 110, №109.

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 другие - 17 %

В соответствии со стандартами ISO 90001 и ISO 50001 в ЭИСП, включая производство микроэлектроники в условиях энергетического кризиса, развитие активно-адаптивных интеллектуальных сетей (ААИС) и стремление к сокращению энергозатрат, особую актуальность приобретает проблема снижения потребления электроэнергии чистыми помещениями без снижения заданных классов чистоты при производстве микроэлектроники.

Современная электроинфраструктура микроэлектронного предприятия (ЭИС МЭП) представляет собой высокотехнологичную систему, где в элементах управления и мониторинга производственного процесса используются специфические электроприемники - цифровые технические системы. В состав данных элементов входят: системы управления освещением, электрообогревом, вентиляцией (микроклимат производственного процесса), охранные системы, системы кибербезопасности, средства внутренних и внешних цифровых компьютерных коммуникаций, системы мониторинга и управления производственных процессов различных участков изготовления радио и микроэлектроники. Именно данные составляющие элементы (микропроцессоры, процессоры, чувствительные датчики, индикаторы, конденсаторы и т.д.) больше всего подвержены риску выхода из строя при вариативности параметров электроэнергии (ЭЭ) в системе электропитания, в которых они применяются. Нарушения нормального режима работы элементов влекут за собой большой ущерб из-за нарушения производственного процесса или его

полной аварийной остановки, а также повышенное потребление ЭЭ элементами энергокластеров. Обеспечение устойчивого и надежного функционирования всех цифровых технических систем ЭИС МЭП при использовании статистических методов мониторинга и управления является основополагающей и чрезвычайно важной задачей. Именно поэтому в ЭИС МЭП необходимо обеспечивать высокое качество электроэнергии ЭЭ, что, в свою очередь, требует надежных условий функционирования электроинфраструктуры. Таким образом, приоритетной **научной задачей** является повышение результативности функционирования ЭИС МЭП путем разработки методики и алгоритма мониторинга электроснабжения, предполагающего адаптивное управление всеми элементами энергокластеров в соответствии с концепцией ААИС на основе статистических методов в условиях внешних и внутренних возмущений. Система мониторинга и обработки параметров электроснабжения элементов, сопровождающая производственный процесс, должна обеспечивать максимальный учет информации, представленной от приборной измерительной базы. Актуальность применения существующих и создание перспективных средств мониторинга электроинфраструктуры МЭП подтверждается «Энергетической стратегией России на период до 2035 года», где одним из приоритетных направлений развития является создание ААИС.

Степень научной разработанности темы.

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

В выполненных исследованиях недостаточное внимание уделено теоретическим вопросам мониторинга и управления процессами функционирования ЭИСП изготовления микроэлектроники, 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 и формулирует цель, задачи, объект и предмет исследования.

Цель диссертационного исследования - повышение результативности функционирования электроинфраструктуры предприятия производства микроэлектроники на основе применения статистических методов мониторинга показателей приборной базы энергокластеров в условиях концепции активно - адаптивной интеллектуальной сети.

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

- совершенствование научных и системотехнических основ организации устойчивого адаптивного управления параметрами функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции 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 концепции ААИС.

Предмет исследования - модели, методы и алгоритмы статистического мониторинга функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС.

Объект исследования - процесс влияния внешних и внутренних возмущений на функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС.

Теоретической и методологической базой исследования послужили научные труды отечественных и зарубежных ученых в области теории организации производства, теории управления производственно - технологическими системами и комплексами, научных разработок в области методик внедрения инновационной концепции и статистических методов мониторинга и управления.

Методологическую основу составляют методы системного анализа и синтеза, логического и сравнительного анализа, методы наблюдения, количественного оценивания, аналитические, статистические и прогностические методы, методы математического моделирования.

Информационной основой исследовательской работы являются, научно-методические, научно-исследовательские материалы институтов и организаций, образовательных учреждений, научных и периодических изданий.

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 внешних возмущающих факторов;
- методика статистического мониторинга ЭИС МЭП с использованием данных приборной измерительной базы;
- модель мониторинга и управления функционирования электроинфраструктуры МЭП в условиях концепции ААИС;
- рекомендации по модернизации электроинфраструктуры 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 регистрацией 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 приборной измерительной базы, отличающаяся от известных применением параметрического диагностирования на основе факторного анализа с последующим предиктивным управляющим воздействием;
- модель процесса мониторинга ЭИС МЭП в условиях концепции 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;
- технические 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 были представлены на конференциях и симпозиумах, а именно: на 67-ой научно-технической конференции ГУАП (Санкт-Петербург, 2014г.), на научно-технической конференции молодых ученых и специалистов ОАО «НПП «Радар ммс» (Санкт-Петербург, 2014г.), на XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» НИТ-2015 (Рязань, 2015г.), на Всероссийском конкурсе инновационных проектов и разработок в сфере умной энергетики «Энергопрорыв - 2015», (организован ФСК ЕЭС и Координационным советом по делам молодежи в научной и образовательной сферах Совета при Президенте РФ по науке, технологиям и образованию при поддержке партнеров - Фонда «Сколково» и Агентства Стратегических Инициатив, 2015г.), на XV Международной научно-практической конференции «Управление качеством» (2016г., Москва, МАИ), на XXI международном симпозиуме «Надежность

и качество» (2016г., Пенза), на VI Международной научно - технической конференции World Science: Problems and Innovations, (Пенза, 2016г.), на IV Международной научной конференции «Актуальные вопросы технических наук» (Краснодар, февраль 2017г.), на XXXV Международной научно-практической конференции «Приоритетные научные направления: от теории к практике» (Россия, Новосибирск, 2017г.), на XIV Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: Актуальные проблемы науки и практики», АПНП-2017 (Тольятти, апрель 2017г.).

Публикации: по результатам исследований, выполненных в диссертации, опубликовано **30 статей**, в том числе **7** в рецензируемых научных изданиях ВАК.

Внедрение результатов исследования: внедрение основных научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждено актами об использовании в 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 состоит из введения, 3 разделов, заключения, списка использованной литературы из 138 наименований и приложений. Текст диссертации изложен на 167 страницах, содержит 34 рисунка и 9 таблиц.

II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследования, сформулированы цели, задачи, научная новизна и определена практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе «Текущее состояние и перспективы развития мониторинга электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС» проведен анализ технологии мониторинга и управления основных электрических параметров электроинфраструктуры МЭП, рассмотрены требования к приборной базе функционирования ЭИСП в условиях ААИС в границах производственных энергокластеров (потребление, передача, распределение и трансформация), сформулированы направления развития концепции ААИС по повышению результативности процесса при изготовлении радио и микроэлектроники.

По результатам анализа выделено основное перспективное направление развития инновационной концепции ААИС в качестве «умных измерений» - Smart Metering. Проведен анализ нормативной базы существующих ЭИСП и инновационной концепции ААИС. Определена необходимость обеспечения соответствующих условий производства по основным параметрам функционирования ЭИСП: напряжение, частота, ток (нагрузка) и потребляемой мощности и др.

В системах мониторинга функционирования ЭИС МЭП контролируются процессы потребления, трансформации, передачи и распределения электроэнергии (ЭЭ), протекающие при воздействии различных возмущающих внутренних и внешних факторов. Система мониторинга циклично, с определенной дискретностью,

оценивает данные полученные от приборной измерительной базы о состоянии элемента энергокластера (в режиме реального времени) и текущем состоянии топологии электроснабжения ЭИС МЭП, и по результатам обработки данных принимается предиктивное управляющее воздействие (рисунок 1).

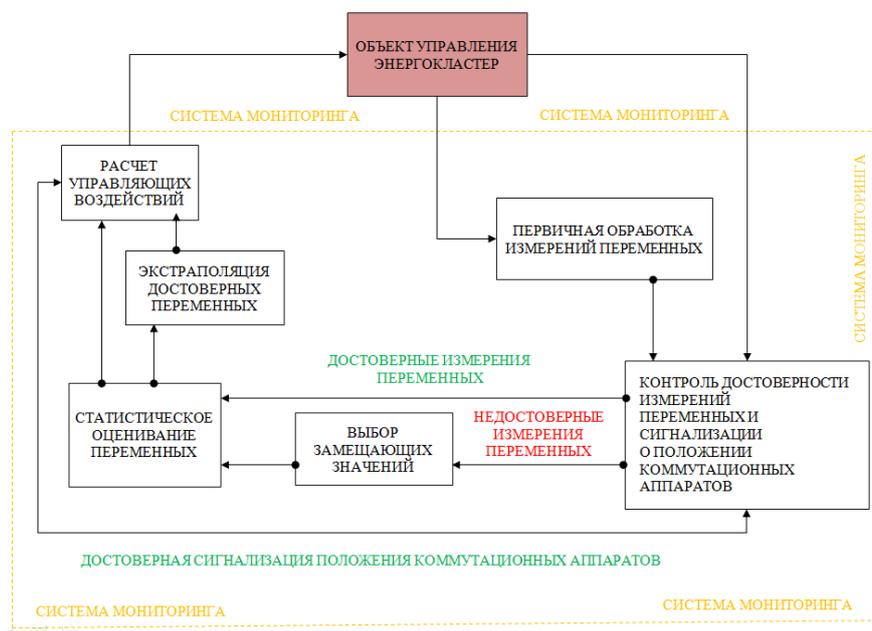


Рисунок 1 - Цикл информационных потоков в системе мониторинга энергокластера ЭИСП изготовления микроэлектроники

Математическое обеспечение, на основе которого разрабатывается методика мониторинга, отвечает требованиям концепции ААИС, с возможностью упреждать возмущающее воздействие в процессах, происходящих в ЭИС МЭП и обеспечивать автоматическое восстановление функционирования динамической системы при отклонении от норм по ГОСТ 32144-2013. На основе анализа концепции ААИС уточнено направление реализации интеллектуальных систем мониторинга ЭИС МЭП, обеспечивающих устойчивость к воздействию внешних и внутренних факторов и повышает результативность процессов функционирования. На основе анализа отечественного и зарубежного опыта реализации концепции ААИС в различных отраслях промышленных предприятий определены основные требования к приборной базе для эффективного функционирования ЭИС МЭП в условиях ААИС для всех типов энергокластеров. Также выделен из нормативной базы ААИС стандарт коммуникационной связи МЭК 61850, являющийся основополагающим в передаче данных при мониторинге и управлении, а также стандарты - IEC 61970 и IEC 61968 описывающие Общую Информационную Модель (СІМ).

В результате анализа нормативной базы концепции ААИС автором определены основные проблемы развития ЭИС МЭП в России, одними из которых являются, необходимость корректировки и дополнения существующей нормативно-технической базы, представленной устаревшими стандартами и руководящими документами, а также присутствие низкой экономической привлекательности в реализации проектов концепции ААИС.

Основными положениями системы мониторинга функционирования ЭИС МЭП являются: определение точек контроля и мониторинга, длительности измерения, топология каналов передачи информации, наполнения и обработки данных, получаемых от измерительной приборной базы. Данные положения отражены в 1 разделе исследовательской работы в пункте 1.5 «Анализ приборной базы в процессах мониторинга электроинфраструктуры производства микроэлектроники».

Применение наилучшего зарубежного опыта в области реализации проектов ААИС требует соответствующей адаптации к условиям организации всех отечественных ЭИС изготовления микроэлектроники.

Анализ технических и эксплуатационных задач функционирования ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС показывает, что «трансформация» существующей ЭИС в ААИС возможна только с использованием приборной базы нового поколения и реализацией разветвленной топологии сетевых коммуникаций.

Во втором разделе «Технология мониторинга в повышении результативности функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники в условиях концепции ААИС» разработана модель процесса функционирования ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС (рисунок 2).

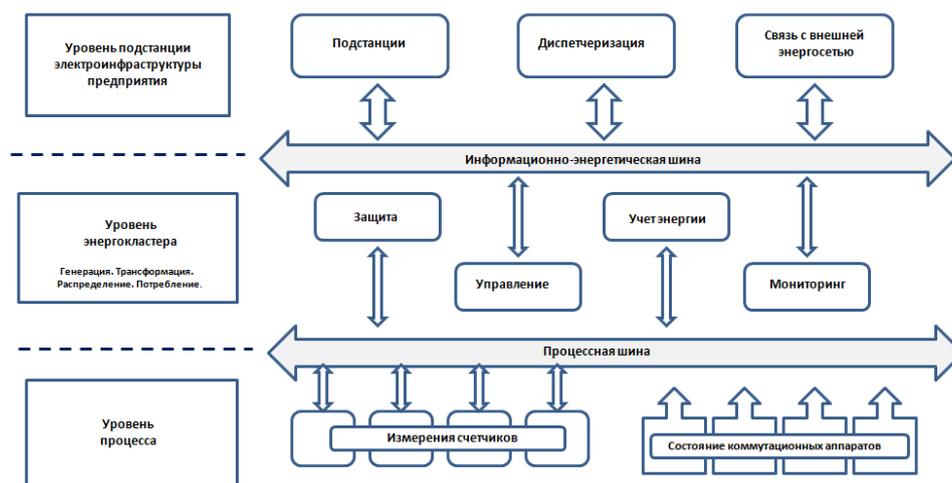


Рисунок 2 - Модель процесса функционирования ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС

Модель процесса функционирования ЭИС МЭП с информационно - энергетической сетевой топологией концепции ААИС представляет собой сложную систему, в которой энергокластеры различного типа (генерация, трансформация, распределение и потребление) взаимодействуют для обеспечения надежного и эффективного электроснабжения всех элементов производственного процесса.

Основное преимущество данной концептуальной модели состоит в возможности предиктивного управления элементами и топологией ЭИС МЭП на основе многокритериального статистического анализа параметров и обработки данных в реальном времени, которые являются основополагающими при повышении результативности производства изделий микроэлектроники.

Разработан алгоритм статистического анализа процесса для прогнозирования состояния элемента энергокластера ЭИС МЭП (рисунок 3).

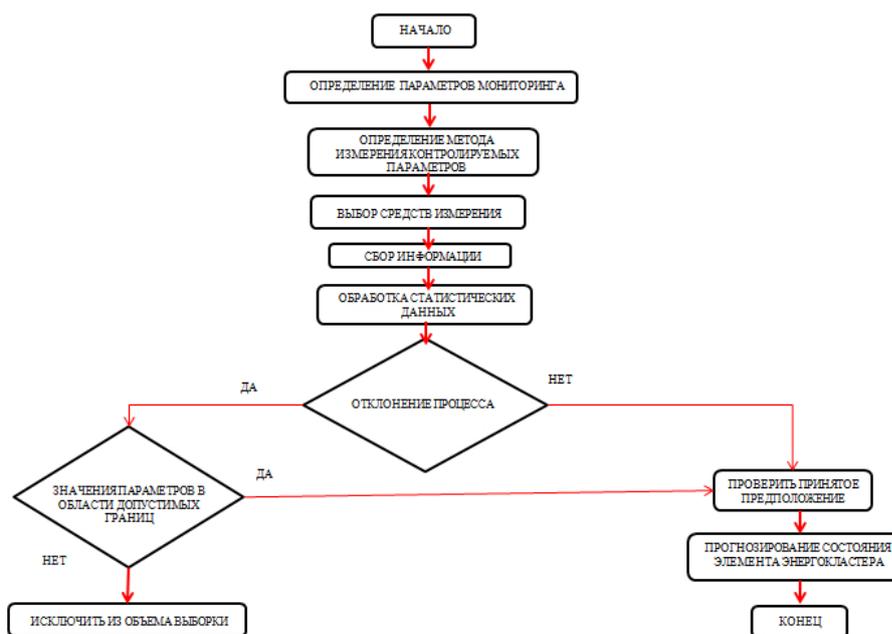


Рисунок 3 - Алгоритм проведения статистического анализа процесса для прогнозирования состояния элемента энергокластера

Входы и выходы алгоритма контролируемых параметров элементов для каждого определенного типа энергокластеров ЭИС МЭП отображены в Таблице 1.

Таблица 1 - Параметры мониторинга элементов энергокластеров ЭИС МЭП

Тип энергокластера	Входные параметры алгоритма	Выходные параметры алгоритма (ГОСТ)
Генерация	U, (напряжение), f (частота), I	U, (напряжение), f (частота), I
Трансформация	U _{вх} , U _в , I (нагрузка)	U _{вх} , U _в , I (нагрузка)
Распределение	I, топология ЭИС	I (ном), топология ЭИС
Потребление	U, I, f, P, Q	U, I, f, P, Q

Состояние электроинфраструктуры МЭП описывается математической моделью вида:

$$\mathbf{X}_{x+1} = \mathbf{X}_h + \mathbf{T}(\mathbf{X}_{h3} * \mathbf{H}_k) * \mathbf{V}_k + \mathbf{T}(\mathbf{X}_{h3} * \mathbf{H}_k) * \mathbf{G}_k \quad \mathbf{V}_k = \mathbf{Y}(\mathbf{X}_k + \mathbf{H}_k) + \mathbf{N}_k;$$

где,

\mathbf{X}_k - вектор состояний электроинфраструктуры МЭП;

\mathbf{X}_h - вектор управляющих воздействий;

\mathbf{V}_k - вектор измерений;

$\mathbf{G}_k, \mathbf{N}_k$ - последовательность случайных величин;

\mathbf{H}_k - матрица параметров ЭИС МЭП;

\mathbf{Y} - нелинейная вектор функция.

Определены критерии эффективного мониторинга для различных типов

энергокластеров ЭИС МЭП:

- генерация: качество передаваемой электроэнергии;
- трансформация: качество преобразования электроэнергии;
- распределение: состояние коммутационных аппаратов (топология сети);
- потребление: уровень нагрузки энергокластера.

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. Определены основные факторы эффективного мониторинга ЭИС МЭП:

- наличие полного спектра функциональности приборной базы в соответствии с требованиями концепции ААИС;
- наличие высокоскоростной связи между приборами мониторинга и сервером обработки, анализа и управления элементами энергокластеров ЭИС МЭП.

Также, в результате анализа концепции ААИС определены основные требования к современной приборной базе ЭИС МЭП:

- 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%);
- обеспечение высокой скорости передачи информации (информационный обмен GOOSE/GSSE - сообщениями в соответствии с МЭК 61850);
- полный спектр измерений параметров электроэнергии, включая показатели качества энергоснабжения (ПКЭ): частота, фазные токи и напряжения, активные, реактивные и фиктивные мощности и энергии, угол сдвига фаз, напряжения и токи гармоник;
- развитые средства обмена информацией, поддержка промышленных стандартов и протоколов, масштабируемость (ввод текущих значений аналоговых и дискретных параметров в цифровой форме, вывод команд управления напряжением элементов, внутреннюю логику для управления и мониторинга параметров элемента, внутреннюю память для организации и хранения текущих архивов событий и данных, коммуникации протоколов связи, наличие у элементов системных портов с протоколами IEC-61850 (8.1, 9.2), IEC-60870-5-10x, MODBUS, DNP3, временную синхронизацию по локальной сети от сервера времени с точностью не хуже ± 1 мс, возможность информационного обмена между терминалами управления коммутационными аппаратами).

Разработана модель процесса мониторинга элемента энергокластера ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС в программном пакете AllFusion ERwin Data Modeler на функционально-модульном принципе декомпозиции, в котором система описывается в терминах иерархии ее функций и передачи информации между отдельными функциональными элементами (рисунок 4).

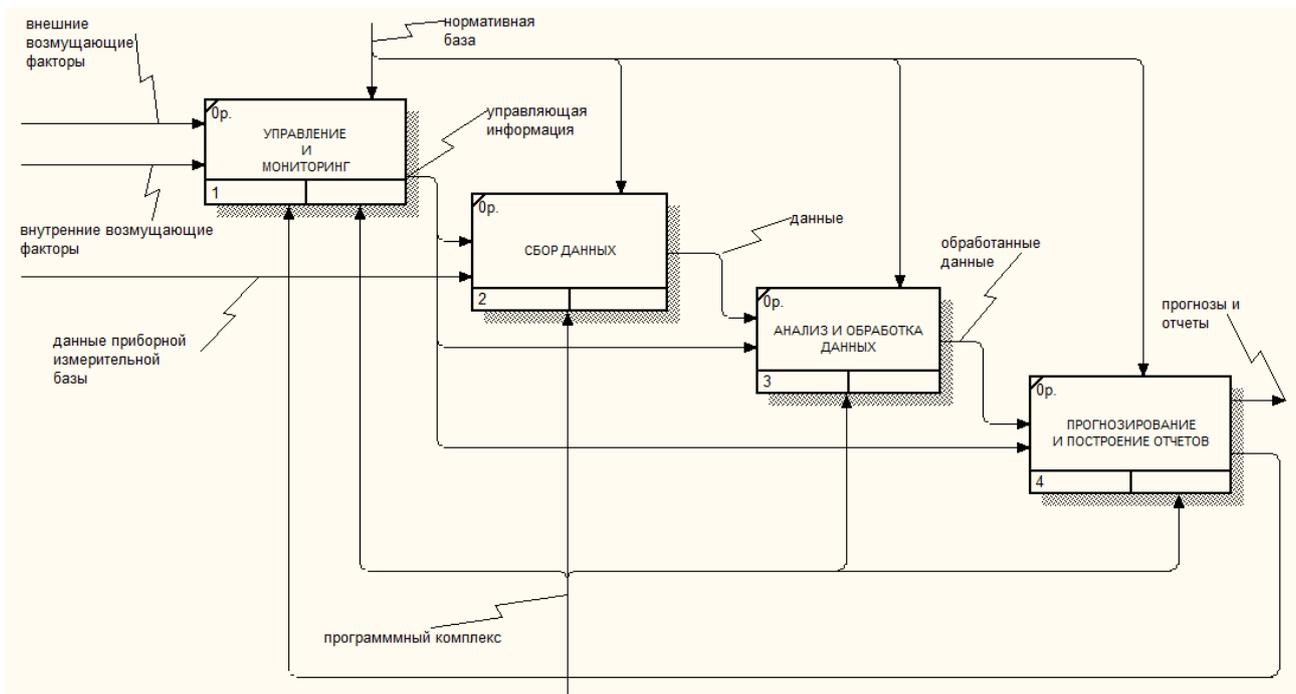


Рисунок 4 - Модель процесса мониторинга и управления элемента энергокластера ЭИС МЭП в условиях концепции ААИС

Представленная модель учитывает декомпозицию подпроцессов мониторинга в составе следующих задач:

- сбор данных о состоянии функционирования компонента энергокластера;
- сбор данных о топологии сети и взаимодействии энергокластеров;
- сбор данных о генерируемой и потребляемой энергии в реальном времени;
- сбор данных о состоянии информационной безопасности сети;
- формирование и передача информационной составляющей о состоянии и передачи управления на энергокластер.

Достоверность модели обеспечивается корректным использованием математических методов и подтверждается близостью теоретических расчетов и результатов статистических испытаний в программно математическом пакете Statistica.

Определены границы мониторинга функционирования существующей ЭИС МЭП и элементов ее энергокластеров, в соответствии с результатами декомпозиции системы по типам, классам и уровням..

В третьем разделе «Методика и алгоритм статистической управляемости процессов функционирования электроинфраструктуры предприятия изготовления микроэлектроники» обосновано применение программного обеспечения Statistica и приведены результаты апробации статистических методов мониторинга и управления функционированием элемента энергокластера электроинфраструктуры МЭП в условиях концепции ААИС. Предложенная и разработанная методика мониторинга функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП основана на методах статистического анализа характеристик процессов и использует основные параметры мониторинга, полученные от измерительной приборной базы. 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.

Задача 1. Прогнозирование энергопотребления ЭИС МЭП.

Предиктивное определение электрической нагрузки базируется на учете свойств прогнозируемого процесса. В качестве инструментария применяется ПО Statistica со встроенным пакетом ST Neural Networks. На рисунке 5 показан график спрогнозированных значений электрической нагрузки ЭИС МЭП на основе созданного программного алгоритма, а также фактические значения нагрузки. Рисунок 6 отображает ошибку прогнозирования электрической нагрузки ЭИС МЭП созданной нечеткой нейронной сетью.

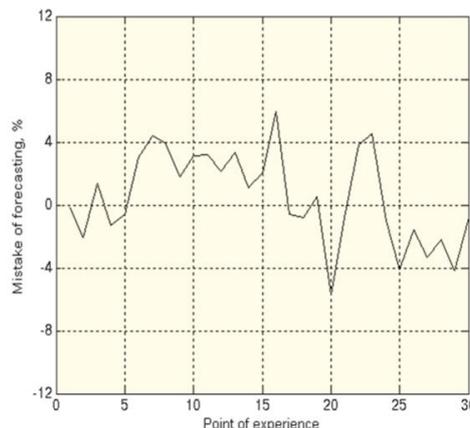
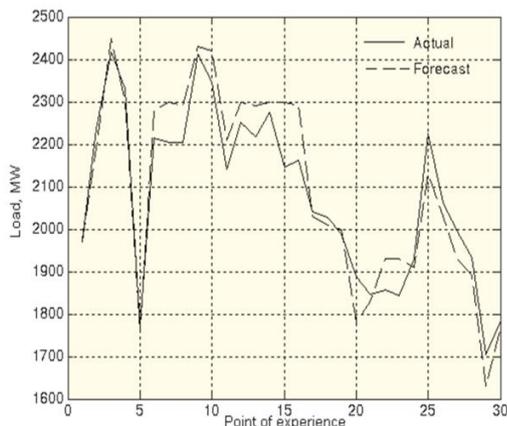


Рисунок 5 - Прогноз потребления ЭЭ

Рисунок 6 - Ошибка прогноза

В результате, поведение сети вполне адекватно, средняя ошибка прогнозирования составляет 2,5 %.

Задача 2. Мониторинг показателей качества электрической энергии.

Анализ функционирования энергокластеров ЭИС МЭП показывает наличие суточных, недельных и более длительных циклов изменения отклонений ПКЭ во времени. Статистические данные подтверждают, что наиболее точно закон распределения отклонений напряжения в энергокластерах ЭИС МЭП может быть описан с помощью нормального закона распределения. На рисунке 7 представлены законы распределения и диаграммы размаха для отдельных энергокластеров по отдельным ПКЭ.

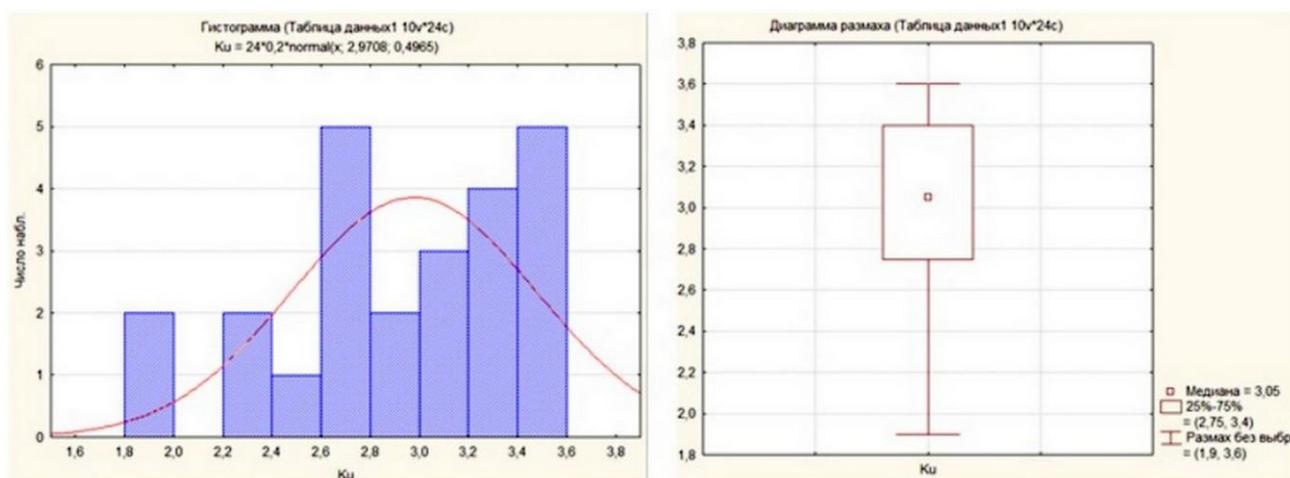


Рисунок 7 - Закон распределения и диаграмма размаха энергокластера «потребление»

Задача 3. Параметрическое диагностирование элемента энергокластера «потребление». Для надежного функционирования элементов энергокластеров ЭИС МЭП представлен метод статистического мониторинга на основе применения параметрического диагностирования с использованием карт Хотеллинга. Предлагается повышение чувствительности карты Хотеллинга с использованием предупреждающей границы. Проведен анализ чувствительности статистических процедур к возможным нарушениям процесса.

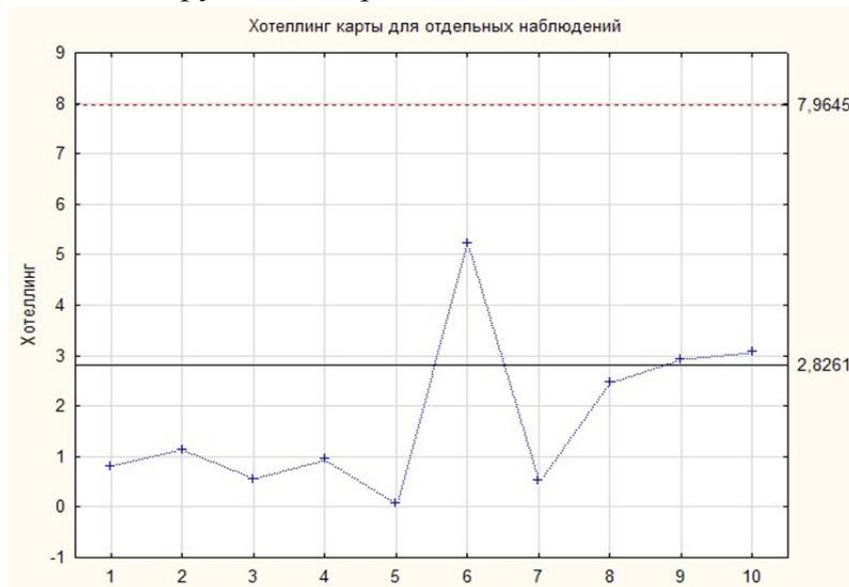


Рисунок 8 - Контрольная карта Хотеллинга с предупреждающей границей

На рисунке 8 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 электроинфраструктуры.

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 (Рис. 9).

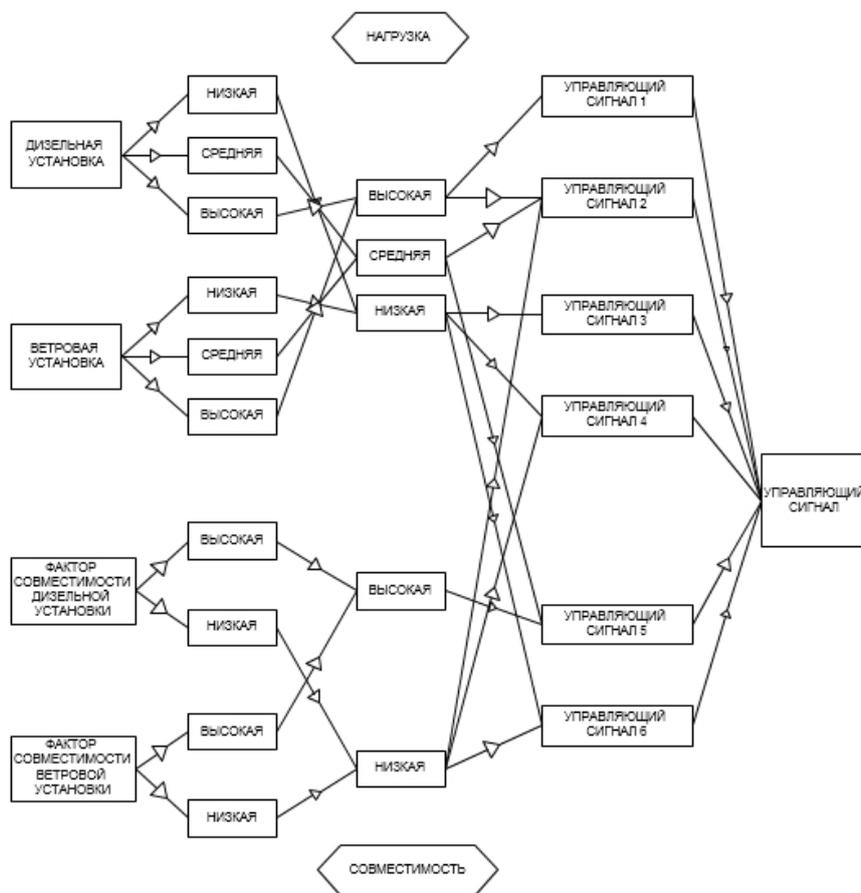


Рисунок 9 - Пример реализации управления топологией ЭИС ААИС в соответствии с нагрузкой с применением аппарата нечеткой логики

Входные параметры для модели определены как энергетический баланс и объем потребления энергии. Использование предлагаемой модели дают решение вопросов в распределении ЭЭ и управлении топологией сети, показывая потенциальные области применения в концепции ААИС.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены теоретические положения, совокупность которых имеют важное значение в повышении результативности функционирования электроинфраструктуры предприятия 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 научную новизну и практическое значение:**

- определены границы мониторинга энергокластеров ЭИС МЭП, их состав в соответствии с принадлежностью **по типам, классам и уровням** концепции

ААИС;

- получены результаты анализа особенностей мониторинга и управления ЭИС, учитывающие требования к эффективному функционированию в условиях концепции ААИС;
- предложена математическая модель функционирования ЭИС МЭП;
- предложена 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.

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

Использование результатов диссертационного исследования обеспечивает повышение результативности функционирования ЭИС МЭП, выраженное в снижении энергопотребления серийного производства микроэлектронной аппаратуры на 7-9% при сохранении качества аппаратуры и сокращении трудовых затрат на эксплуатацию аппаратуры обеспечения микроклимата производственных зон на 5-7%.

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.

IV. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях

1. Лахов, Ю.А. Управление функционированием энергокластера предприятия / Ю.А. Лахов // Успехи современной науки и образования: 2016. Вып.11. Т.2. С.32-40.
2. Лахов, Ю.А. Квалиметрическая оценка электроинфраструктуры предприятия в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов // Успехи современной науки и образования: 2016 Вып.12. Т.8. С.210-215
3. 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
4. Лахов, Ю.А. Подготовка электротехнического персонала для интеллектуальных сетей / Ю.А. Лахов // Наука Красноярья. 2017. Вып.1-2, Т.6. С.209-212
5. 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

«Общетеchnическая». 2017. № 10. С. 104-106.

6. Лахов, Ю.А. Мониторинг электроинфраструктуры предприятия на основе применения средств измерений и методов статистического анализа / Семенова Е.Г., Лахов Ю.А., Смирнов А.О., Степанов А.Г., Смирнова М.С. // Вопросы радиоэлектроники. 2018. № 1. С 42-47.

7. Лахов, Ю.А. Применение метода и средств мониторинга процесса энергопотребления чистыми помещениями на основе использования программного пакета STATISTICA ST NEUTRAL NETWORKS / Балашов В.М., Лахов Ю.А., Фомина А.В. // Радиопромышленность. 2018. № 2. С. 114-125.

Статьи в прочих изданиях

8. Лахов, Ю. А. Определение показателей энергоэффективности нефтеперерабатывающего предприятия / Е.Г. Семенова, Ю.А. Лахов // Актуальные проблемы экономики и управления / СПб: ГУАП. Вып. 4(4). 2014. С.78-83.

9. Лахов, Ю.А. Определение показателей энергоэффективности / Ю.А. Лахов // Материалы НТК молодых ученых и специалистов АО «НПП «Радар ммс» / 2014. С.

10. Лахов, Ю.А. Система управления энергоэффективностью / Ю.А. Лахов // Материалы международной молодежной научной конференции «Прикладные научные исследования: мультидисциплинарный подход» / СГАУ. 2014. С.126-127.

11. Лахов, Ю.А. Применение нечеткой логики в Smart Grid / Ю.А. Лахов // Материалы сборника докладов V Всероссийской конференции "Молодежная наука в развитии регионов" / ПНИПУ. 2015. С.71-72.

12. 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.

13. Лахов, Ю.А. Определение показателей энергоэффективности нефтеперерабатывающего предприятия / Ю.А. Лахов // Science time. Вып. 7.2014. С.198-207.

14. Лахов, Ю.А. Сбалансированная система показателей для управления энергоэффективностью на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Лахов // Технические науки: проблемы и перспективы: сб. докл. / СПб. Свое издательство. 2015. С.91-96.

15. Лахов, Ю.А. Разработка модели оценки энергоэффективности нефтеперерабатывающего предприятия / Ю.А. Лахов // Актуальные вопросы науки, технологии и производства: сб. науч. тр. / СПб. 2015. С.58-62.

16. Лахов, Ю.А. Применение квалиметрии в определении энергоэффективности нефтеперерабатывающего предприятия / Ю.А. Лахов // Новые информационные технологии в научных исследованиях: сб. науч. тр. / НИТ-2015. 2015. С.197-198.

17. Лахов, Ю.А. Квалиметрическая оценка энергокластера предприятия / Ю.А. Лахов / Современные тенденции в науке, технике, образовании / 2016.Ч.1. С.72-74.

18. Лахов, Ю.А. Нейро - нечеткая модель для управления энергопотреблением в концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов // Новая наука: Теоретический и практический взгляд: сб. науч. тр. / 2016.С.178-181.

19. Лахов, Ю.А. Модель энергокластера нижнего уровня в программном пакете Fuzzy

- Tech / Ю.А. Лахов // Управление качеством: сб. науч. тр. / ФБГОУ ВО МАИ. М.:ПРОБЕЛ-2000. 2016. С.206-211.
20. Лахов, Ю.А. Моделирование и оптимизация процессов энергопотребления предприятия / Ю.А. Лахов // Надежность и качество: сб. науч. тр. / 2016. Т.1. С.140-141.
21. Лахов, Ю.А. Определение эффективности процесса энергопотребления в энергокластере / Ю.А. Лахов // Молодой ученый / Вып.18.(122). 2016. С.89-91.
22. 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.
23. 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.
24. Лахов, Ю.А. Анализ технического базиса электроинфраструктуры Smart Grid / Ю.А. Лахов // Современное научное знание: теория, методология, практика: сб. науч. тр. / ООО «НОВОЛЕНСО». 2017. С.177-179.
25. Лахов, Ю.А. Проблематика трансформации электроинфраструктуры в условиях концепции Smart Grid / Ю.А. Лахов // Научные достижения и открытия современной молодежи: сб. науч. тр. / Наука и просвещение. 2017. С.177-178.
26. 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.
27. 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.
28. Лахов, Ю.А. Кибербезопасность электроинфраструктуры предприятия / Семенова Е.Г., Лахов Ю.А. // Proceedings of the 13 th International Academic Conference «Applied and Fundamental Studies», 2017, Volume 2, pp. 36–38.
29. Лахов, Ю.А. Сбалансированная система показателей для управления энергоэффективностью на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А.Лахов // Шестьдесят восьмая научно-техническая конференция ГУАП: Сб. докл.: Технические науки / СПб.: ГУАП., 2015
30. Лахов, Ю.А. Анализ нормативной базы концепции Smart Grid / Лахов Ю.А.// «Приоритетные научные направления: от теории к практике». ЦРНС. XXXV Международная научно-практическая конференция. Россия, г.Новосибирск, 24 января 2017г.