

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

### МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА С ВНУТРЕННИМИ РЕЗЕРВАМИ

С.Л. Подвальный, Д.В. Логунов, Е.М. Васильев

**Аннотация:** рассматривается задача воспроизведения в искусственных объектах способности естественных систем к самовосстановлению вследствие существования в них замкнутого круговорота вещества и энергии. Показано, что создание замкнутого жизненного цикла в системе предполагает реализацию в ней процессов восстановления ресурсов и их накопления в виде внутренних резервов, расходуемых системой в неблагоприятных условиях существования. Получена функциональная схема системы с замкнутым циклом и предложена математическая модель её функционирования в виде дискретного однородного марковского процесса без последствия. Обнаружено, что введение в систему внутреннего резервирования требует рассмотрения двух альтернативных вариантов модели системы: варианта для случая, в котором объём резервов ограничен возможностями каналов восстановления в системе, и варианта, в котором указанное ограничение отсутствует. Составлены графы состояний системы для указанных режимов функционирования и получены выражения для финальных вероятностей этих состояний. На основе полученных финальных вероятностей составлены аналитические расчётные соотношения для характеристик эффективности системы с замкнутым циклом. В качестве основной характеристики эффективности такого рода систем предлагается использовать вероятность полного функционирования системы, т.е. вероятность её работы с использованием всего объёма активных ресурсов. Представлен числовой пример, подтверждающий работоспособность предложенной модели, и проведён сопоставительный анализ вариантов управления эффективностью замкнутой системы путём изменения объёма резервов, количества процессов восстановления и интенсивности этих процессов. Выявлено доминирующее значение внутренних резервов при обеспечении заданных показателей эффективности системы с замкнутым циклом

**Ключевые слова:** системы замкнутого цикла, внутренние резервы, самовосстанавливающиеся системы, марковские процессы

### ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ВКЛАДОВ ФАКТОРОВ В ЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

С.И. Носков

**Аннотация:** разработаны две алгоритмические схемы оценивания параметров линейной регрессии с требованием равенства нулю ошибки аппроксимации для заданного наблюдения и на их основе способы расчета динамических оценок вкладов факторов, входящих в состав правой части линейной регрессионной модели, в значения зависимой переменной. Одна из этих схем основана на решении задачи квадратичного программирования, а вторая предусматривает использование взвешенного метода наименьших квадратов. Организованный при этом итерационный процесс предполагает пересчет матрицы весовых коэффициентов для каждого наблюдения обрабатываемой выборки данных. Рассчитаны вклады следующих факторов для регрессионной модели погрузки на железнодорожном транспорте: объема добычи угля, объема вывезенной древесины, рабочего парка груженых железнодорожных вагонов (в среднем в сутки). Установлено, что наибольшее влияние на выходную переменную оказывает объем добычи угля, хотя это влияние и имеет некоторую общую тенденцию к снижению: почти на 4 пункта за 14 лет. Также несколько ослабевает, на 3 пункта, влияние и второго по значимости фактора - рабочего парка груженых железнодорожных вагонов. А наименее значимый показатель (объем вывезенной древесины) имеет явную тенденцию к усилению своего влияния, которое выросло почти на 7 пунктов

**Ключевые слова:** регрессионная модель, метод наименьших квадратов, значимость предикторов, вклады факторов, погрузка, железнодорожный транспорт

## *Радиотехника и связь*

### **ФОРМИРОВАНИЕ СКАНИРУЮЩЕЙ АНТЕННЫ НА ОСНОВЕ ПОЛУВОЛНОВОГО ДИПОЛЯ**

**С.М. Фёдоров, Е.А. Ищенко, И.А. Баранников, К.А. Бердников, В.В. Кузнецова**

**Аннотация:** рассматривается полуволновый диполь с установленным рефлектором, который позволяет производить сканирование пространства с использованием вращения рефлектора вокруг диполя. Для полученной конструкции производилось моделирование основных параметров, которые показали высокую стабильность при различных положениях рефлектора, постоянное значение коэффициента направленного действия, ширины главного лепестка. Изменение направления излучения совпадает с текущим положением рефлектора. По сравнению с ситуацией, когда у антенны отсутствовал рефлектор, КНД антенны увеличился, так как произошла фокусировка электромагнитных волн. Коэффициент полезного действия и передне-заднее отношение сохраняют высокие значения во всем диапазоне рабочих частот. Применение предложенной конструкции позволяет упростить конструкцию сканирующих антенн, так как для ее реализации требуются лишь полуволновой диполь и плоский рефлектор, установленный на малом расстоянии от источника излучения. В процессе управления характеристиками требуется вращать рефлектор вокруг диполя, при этом диполь остается неподвижным, что позволяет повысить эффективность предложенной конструкции, так как не требуется формировать сложных антенных систем или устанавливать комбинацию из нескольких антенн для фокусировки излучения в одном направлении от источника

**Ключевые слова:** рефлектор, полуволновой диполь, сканирующая антенна

### **ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ LORAWAN ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ РЕЗЕРВНОГО КАНАЛА СВЯЗИ ДЛЯ МЕТЕООБЕСПЕЧЕНИЯ АЭРОДРОМОВ**

**Д.К. Туноголовец**

**Аннотация:** в настоящее время информация о состоянии атмосферы широко используется как при составлении прогнозов погоды, так и при решении многих экономических задач. Существенная особенность метеорологических явлений - их пространственно-временная изменчивость. Это вызывает необходимость такой организации наблюдений, которая позволит своевременно отметить возникновение явления и проследить за ходом его развития. Статистика показывает, что в период с 1997 по 2000 годы произошло порядка 193 авиационных инцидентов, которые обусловлены недостатками метеорологического обеспечения полетов. Поэтому задача повышения качества метеорологического обеспечения является актуальной. На основе модельных и практических экспериментов показано, что беспроводной канал связи LoRaWAN способен объединить весь поток данных, поступающих с удаленных метеорологических датчиков, которые используют разные протоколы для взаимодействия друг с другом. В ходе выполнения эксперимента получены положительные результаты, доказывающие возможность организации таких каналов связи для задач метеообеспечения аэродромов. Также приводится структурная схема для организации канала связи. При этом не требуется прокладка кабельных коммуникаций связи, когда стоимость такого вида работ, включая согласование, зачастую значительно превышает стоимость самого метеорологического оборудования

**Ключевые слова:** LPWAN, метеообеспечение аэродромов, канал связи

## УЛУЧШЕННЫЙ MIN-SUM АЛГОРИТМ ДЕКОДИРОВАНИЯ ДЛЯ НЕРЕГУЛЯРНЫХ LDPC-КОДОВ

А.В. Башкиров, И.В. Свиридова, Т.Д. Ижокина, Е.А. Зубкова, О.В. Свиридова,  
Д.В. Васильченко

**Аннотация:** аналитический подход к определению оптимальной функции постобработки для минимальной операции в алгоритме MIN-SUM, ранее полученный для обычных кодов проверки на четность с низкой плотностью (LDPC-коды), распространяется на нерегулярные коды LDPC. Оптимальное выражение постобработки для нестандартного случая варьируется от одного контрольного узла к другому, а также от одной итерации к следующей. Для практического использования необходимо аппроксимировать эту оптимальную функцию. В отличие от обычного случая, когда можно было бы использовать уникальную функцию постобработки на протяжении всего процесса декодирования без потери производительности битовых ошибок, для нерегулярных кодов критически важно варьировать постобработку от одной итерации к следующей, чтобы добиться хорошей производительности. С использованием этого подхода было выявлено, что качество битовых ошибок от алгоритма распространения доверия соответствует улучшению на 1 дБ по сравнению с MIN-SUM алгоритмом без постобработки. Сначала будет представлен обзор подхода и представлена аналитическая основа для оптимальной постобработки. Далее будет представлена оптимальная функция постобработки для нерегулярных кодов и обсуждены возможные упрощения. И наконец, показаны результаты моделирования и преимущества аппроксимации

**Ключевые слова:** стохастическое декодирование, MIN-SUM алгоритм, алгоритм распространения доверия

## РЕАЛИЗАЦИЯ ЗОННОГО ПРИНЦИПА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АППАРАТУРОЙ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ БОРТОВОЙ СЕТИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

И.И. Таболин, Р.Ю. Кузьменко, А.Д. Данилов

**Аннотация:** описывается применение принципа зонного регулирования при разработке системы управления аппаратурой регулирования и контроля бортовой сети космического аппарата. Приведены краткие описания аппаратуры регулирования и контроля и входящих в её состав модулей. Приведены функциональная схема регулирования аппаратуры регулирования и контроля и график совместной работы её модулей с разбиением на зоны. Рассмотрена система управления аппаратурой регулирования и контроля. Приведены структурные схемы формирования управляющего воздействия для всех регуляторов аппаратуры регулирования и контроля. Реализация принципа зонного регулирования достигается тем, что вся область возможного изменения сигнала управления разбита на зоны работы, при этом каждому типу модулей выделена своя зона работы. Такой подход, в зависимости от баланса мощности "потребитель - источник", обеспечивает автоматическое подключение требуемых регуляторов. Данный принцип обеспечивает непрерывное изменение сигнала управления в зависимости от энергобаланса системы и параметрических возмущений. Полученную систему можно рассматривать как квазилинейную, что позволяет использовать известные линейные методы синтеза и анализа системы управления, при этом настройка контуров регулирования с заданными показателями качества осуществляется отдельно для каждого типа модулей аппаратуры регулирования и контроля

**Ключевые слова:** система электроснабжения, система управления, принцип зонного регулирования, аппаратура регулирования и контроля, бортовая сеть, космический аппарат

## ДВУХРЕФЛЕКТОРНАЯ АНТЕННА BI-QUAD ДЛЯ ЗАДАЧ WLAN

С.М. Фёдоров, Е.А. Ищенко, И.А. Баранников, К.А. Бердников, В.В. Кузнецова

**Аннотация:** рассматривается двухрефлекторная Bi-Quad антенна, способная работать в диапазоне частот, соответствующих WLAN Wi-Fi 2,4 ГГц. Благодаря возможности управления положением рефлекторов удастся добиться изменения направления излучения, что повышает эффективность использования антенны, коэффициент направленного действия. При управлении происходит поворот ячеек, из которых сформированы отражательные структуры, что позволяет пропускать электромагнитное излучение, которое формирует излучатель из медного провода в форме цифры «восемь». Предложенная конструкция позволяет обеспечить три стабильных режима работы антенны: двустороннее излучение, когда оба рефлектора в открытом положении, при таком режиме у антенны наблюдается одинаковое излучение в обоих направлениях с равным КНД; излучение вверх, в данном режиме верхний рефлектор открыт, что приводит к свободному протеканию электромагнитных волн, а от закрытого нижнего происходят отражения, в результате этого происходит увеличение КНД антенны по сравнению с ситуацией двустороннего излучения; аналогичная ситуация происходит при излучении вниз, когда открыт нижний рефлектор, так электромагнитные волны отражаются от закрытого верхнего рефлектора вниз, что приводит к увеличению КНД антенны. Предложенная конструкция обладает высокой эффективностью в диапазоне рабочих частот

**Ключевые слова:** рефлектор, Bi-Quad антенна, многорежимный рефлектор, Wi-Fi антенна

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ТЕСТЕР УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

М.А. Ромащенко, Д.С. Сеимова, М.А. Иванов

**Аннотация:** рассмотрены основные подходы проверки функциональности электронных средств при воздействии электростатического разряда, а также представлены основные этапы разработки автоматизированного тестера устойчивости электронных средств к электростатическому разряду. Электростатический разряд является одним из основных факторов, способствующих снижению надежности и производительности электронных устройств. Предложен подход к повышению качества разработки электронных изделий на основе автоматизированного устройства для тестирования электронных средств на устойчивость к электростатическим разрядам. Представлена концептуальная структура программно-аппаратного комплекса для оценки влияния электростатического разряда на электронные средства. В конструкции испытательного генератора предусмотрены защитные механизмы, предотвращающие создание непреднамеренных излучаемых или кондуктивных электромагнитных помех импульсного или непрерывного характера для исключения паразитных эффектов, способных оказать влияние на испытуемое или вспомогательное оборудование. Целью исследования, в рамках которого происходила разработка тестирующего устройства, является повышение надежности функционирования электронных средств и приборов при воздействии на них электростатических разрядов. Благодаря предлагаемому подходу становится возможным обеспечить эффективность тестирования конструкций электронных средств на устойчивость к электростатическому разряду на основе комплексных методов оптимального проектирования с учетом обеспечения требований международных стандартов

**Ключевые слова:** электромагнитная совместимость, электростатический разряд, моделирование электромагнитных процессов, электронные средства, электромагнитные помехи

# СРАВНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК КОРРЕЛЯЦИОННО-ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ПЕЛЕНГАТОРА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАПРАВЛЕННЫХ И НЕНАПРАВЛЕННЫХ АНТЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

А.В. Ашихмин, И.Б. Крыжко, А.Б. Токарев, А.А. Фатеев

**Аннотация:** при создании корреляционно-фазовых пеленгаторов, как правило, в качестве антенных элементов используют ненаправленные антенные элементы (АЭ). Для использования измерений направленных АЭ требуется модифицировать алгоритмы пеленгации. Представлены соответствующие модификации алгоритмов и проведено сравнительное исследование точности пеленгования применительно к двухканальным корреляционно-интерферометрическим стандартным пеленгаторам, использующим плоские антенные решетки из направленных и ненаправленных АЭ. Рассмотрена также возможность определения пеленгов лишь по энергетическим измерениям, отсутствующая применительно к пеленгаторам с ненаправленными АЭ. Показано, что применение направленных АЭ позволяет снизить вероятность возникновения аномальных ошибок, повысить точность пеленгования при существенно больших значениях угла места, определяющего направление на источник радиоизлучения, снизить негативное влияние отказа от учета сферичности приходящей волны и, следовательно, уменьшить размеры ближней зоны пеленгатора, для которой характерно появление аномальных ошибок пеленгования. В многосигнальной радиообстановке использование направленных свойств АЭ позволяет также формировать пеленгационную диаграмму, обеспечивающую частичное подавление помеховых сигналов. Вместе с тем эффективное использование направленных свойств антенных АЭ требует максимально точного учета их диаграмм направленности (ДН). Погрешности описания ДН могут приводить к заметным ошибкам при определении пеленга, поэтому повышение качества работы пеленгационной системы за счет использования направленных АЭ сопровождается повышением требований к определению и точности практической реализации ДН АЭ

**Ключевые слова:** пеленгация, направленные антенные элементы, амплитудно-фазовая пеленгация, корреляционно-интерферометрический пеленгатор

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЕСТНАДЦАТИКАНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА С ЦЕЛЬЮ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Д.В. Журавлёв, А.А. Проводников

**Аннотация:** проведена апробация изготовленного по материалам открытого проекта шестнадцатиканального мобильного комплекса регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ). Аппаратно-программный комплекс регистрации ЭЭГ позволяет проводить регистрацию неинвазивным способом 16-ти монополярных ЭЭГ каналов, содержащих биоэлектрические сигналы головного мозга человека. Все составные элементы комплекса регистрации конструктивно расположены на шлеме-основе из твердого пластика. Шлем надевается на голову и удерживает на себе до 32-х вкручивающихся штырьковых электродов, платы электронного устройства регистрации и обработки сигналов, радиопередатчики, аккумуляторные батареи. Регистрируемые сигналы ЭЭГ в режиме реального времени передаются по радиоканалу (стандарт Wi-Fi) на ЭВМ для последующей обработки. Сигналы ЭЭГ, полученные в ЭВМ, подаются в пакет прикладных программ MATLAB для последующей обработки. Сигналы ЭЭГ в ЭВМ формируются в виде стандартных цифровых отсчетов и, соответственно, могут быть переданы в любую программу обработки данных. Сигналы ЭЭГ должны быть подвергнуты математической обработке для выявления определенных состояний головного мозга и формирования паттернов ЭЭГ, служащих ориентирами при подготовке управляющих сигналов на внешние исполнительные устройства. При математической обработке полученных сигналов был проведен анализ частотного состава ЭЭГ, проведены специальные преобразования сигналов и вспомогательные операции для идентификации необходимых паттернов ЭЭГ сигналов. В первую очередь была проведена фильтрация полученных сигналов полосовым фильтром и алгебраической функцией вейвлета Добеши 8-го уровня. Затем были собраны контрольные образцы мозговой деятельности при выполнении трех типов активностей. Обнаружена корреляция между экспериментами и контрольными образцами. Сделанные наработки могут быть использованы для упрощения установки входных параметров искусственных нейронных сетей, применяемых для обработки и анализа сигналов ЭЭГ

**Ключевые слова:** нейроинтерфейс, ЭЭГ, аналого-цифровой преобразователь ADS1299IPAG, неинвазивная диагностика, вейвлет преобразование, фильтрация сигнала

## АСИМПТОТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА В ЭЛЕКТРОДИНАМИКЕ

И.А. Баранников, К.А. Бердников, Е.А. Ищенко, С.М. Фёдоров

**Аннотация:** рассматривается метод геометрической дифракции и физической оптики, который является одним из самых точных и эффективных для решения крупных электродинамических задач. Для анализа характеристик процесса приводится его математическое описание, а также для сравнения с ним приведено описание метода конечного интегрирования, который является наиболее популярным и эффективным для малых объектов. Так показано, что применение метода МКИ невозможно для крупных объектов, так как в процессе сеточного разбиения происходит создание слишком большого числа ячеек для расчета, что значительно усложняет процедуру анализа. Для оценки эффективности и точности метода было произведено моделирование антенного элемента, который установлен на корабле-носителе. Так, характеристики излучателя рассчитывались с использованием метода конечного интегрирования, после чего характеристики диаграмм направленности передавались в проект с кораблем, затем производилось моделирование с использованием метода SBR. Итоговые результаты моделирования показали высокую эффективность и точность метода, а возможность установки шага сканирования позволяет управлять временем моделирования, однако стоит учитывать, что слишком большой шаг приводит к снижению точности анализа

**Ключевые слова:** метод геометрической дифракции и физической оптики, электродинамика

## СДВОЕННЫЙ СФЕРИЧЕСКИЙ ДАТЧИК НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

С.В. Бирюков, А.В. Тюкин, Л.В. Тюкина

**Аннотация:** мы живем в мире высоких энергетических технологий, способных передавать электрическую энергию на большие расстояния. Эту энергию невозможно сосредоточить только внутри передающих энергетических систем. Она выплескивается наружу в виде электрических полей. Эти электрические поля неблагоприятно воздействуют на окружающую среду, технические и биологические объекты. В связи с этим необходимо контролировать уровни электрических полей, важной характеристикой которых является напряженность электрического поля. Для восприятия электрического поля необходимы датчики напряженности электрического поля. Существующие датчики неудобны в эксплуатации и имеют высокую погрешность восприятия напряженности электрического поля, достигающую  $\pm 20\%$ . Выдвигается идея создания универсального датчика нового вида, относящегося к виду сдвоенных датчиков. Его универсальность заключается в том, что он воплощает в себе все виды известных датчиков – одинарные, сдвоенные и теперь еще двойные. Погрешность восприятия напряженности неоднородного электрического поля сдвоенных датчиков не превышает  $+5\%$  во всем пространственном диапазоне измерения  $0 \leq a \leq 1$ . При этом расстояние  $d$  до источника поля ограничено только радиусом сферического основания датчика, т.е.  $d \approx R$ , в то время как для датчиков, входящих в состав сдвоенного датчика, в том же пространственном диапазоне измерения погрешности составляет  $\pm 35\%$ . Используя сдвоенный датчик, можно добиться значительного повышения точности измерения напряженности неоднородных электрических полей в широком пространственном диапазоне измерений по сравнению с известными датчиками

**Ключевые слова:** датчик напряженности электрического поля, одинарный датчик, двойной датчик, сдвоенный датчик, напряженность электрического поля, погрешность от неоднородности поля

## *Машиностроение и машиноведение*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЧИСТОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ВОГНУТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА МАЛОГАБАРИТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ**

**А.М. Козлов, Г.Е. Малютин, Е.А. Малявин, А.А. Козлов**

**Аннотация:** развитие систем ЧПУ современного полногабаритного металлорежущего оборудования дало возможность корректировать режимы резания, например, величину рабочей подачи непосредственно в процессе обработки. Однако на производстве имеется значительная часть деталей, которые по своим габаритам экономически невыгодно обрабатывать на дорогостоящих крупных станках, имеющих мощную систему ЧПУ. Поэтому на предприятиях все большее применение получают относительно недорогие малогабаритные металлорежущие станки. Технологические возможности такого оборудования позволяют обрабатывать не только цветные металлы и сплавы, но и стали. Особенностью управления таким оборудованием является использование упрощенных систем ЧПУ, установленных на персональных компьютерах, которые не имеют возможности выполнять арифметические операции, и это становится препятствием для повышения производительности обработки сложных поверхностей. В то же время из-за своей простоты и низкой стоимости эти системы становятся все более востребованными. Предлагается повысить производительность обработки поверхностей сложной пространственной формы на основе расчета движения инструмента САПР системой путем преобразования реальной траектории в набор симметричных отрезков с известными координатами. Этот метод позволяет при заданной точности обработки установить значения параметров режима резания, близкие к оптимальным, исключить аварийные ситуации, связанные с выходом из строя инструмента при работе с переменной глубиной резания, сформированной после черновой обработки, и повысить производительность на 15-20%

**Ключевые слова:** объемное фрезерование, концевая фреза, точность, производительность

## **СПОСОБ ВЕКТОРНОГО ЧАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**С.В. Аникин, В.Л. Бурковский, А.К. Муконин, Д.А. Тонн, В.А. Трубецкой**

**Аннотация:** анализируется проблематика векторного частотного управления асинхронным электроприводом, широко применяемым в качестве исполнительного элемента в рамках современных средств построения обрабатывающих комплексов, разрабатываемых в машиностроительной отрасли. Предлагается вариант частотно-регулируемого асинхронного электропривода, управляемыми величинами которого являются полярные координаты вектора тока в обмотке статора. В данном варианте применяется закон управления, согласно которому угол между векторами тока в обмотке статора и потокосцеплением обмотки ротора не меняется. Управление скоростью вращения электропривода и электромагнитным моментом реализуется заданием модуля тока обмотки статора. При этом формирование угла поворота вектора тока обмотки статора, зависящего от модуля величины потокосцепления роторной обмотки и значения скольжения асинхронного двигателя, дает возможность сохранять постоянным угол между векторами тока обмотки статора и потокосцеплением обмотки ротора, что, в свою очередь, реализует направленное формирование переходных процессов в асинхронном двигателе. Рассматриваемый вариант частотно-регулируемого асинхронного электропривода может найти применение в производственных механизмах, в которых быстродействие не является определяющим критерием функционирования привода, а важно плавное регулирование электромагнитного момента и возможность его ограничения во всех режимах работы. Данный способ управления характеризуется тем, что электромагнитный момент определяется исключительно модулем тока обмотки статора, а контур регулирования скольжения используется для реализации закона поддержания постоянства угла между током обмотки статора и потокосцеплением обмотки ротора

**Ключевые слова:** исполнительный орган электропривода, обрабатывающий комплекс, асинхронный электропривод, асинхронный двигатель, управление, вектор тока обмотки статора, потокосцепление обмотки ротора, закон управления

## ТЕЧЕНИЕ РАБОЧИХ СРЕД ЧЕРЕЗ КАНАЛЫ В КОРПУСЕ ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА

**В.П. Смоленцев, Н.С. Поташникова, И.Г. Стародубцев**

**Аннотация:** рассмотрен механизм течения жидких и газожидкостных рабочих сред через профильный инструмент для комбинированных методов обработки. Приведены типовые детали, для которых применимы электроды-инструменты с регулируемой подачей рабочей среды в зону обработки, обеспечивающей массовынос продуктов обработки из межэлектродного зазора. За счет применения аддитивных технологий решена проблема изготовления инструмента с внутренними каналами расчетного переменного сечения, обеспечивающими стабильную подачу жидкой (газожидкостной) среды и массовынос продуктов обработки. Предложены новые (на уровне изобретений) способ и электрод-инструмент с управляемой подачей по внутренним каналам рабочей среды, параметры которой рассчитаны с учетом специфики чистовой электроабразивной обработки по схеме копирования профиля детали. Расчетные зависимости для описания механизма течения рабочих сред и методы их использования позволили проектировать электроды-инструменты с профильными каналами, обеспечивающими применение технологических режимов для чистовой обработки инструментом с регулируемой подачей сред и выполнением критерия массовыноса продуктов обработки. Приведенные результаты расчета параметров течения рабочих сред через каналы в инструменте позволили расширить область эффективного использования аддитивных технологий и создать новые (на уровне изобретений) инструменты для электроабразивной обработки по методу копирования и высокопроизводительного одновременного профилирования нескольких поверхностей. Доказана возможность использования энергетической модели для расчета потенциальной составляющей энергии от реализации мощности, затрачиваемой на подкачку рабочей среды, и кинетической энергии от вращения инструмента для получения в зоне обработки требуемой скорости течения жидких (газожидкостных) сред

**Ключевые слова:** рабочая среда, течение, каналы, электрод, аддитивные технологии, расчет, электроабразивная обработка

## **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИКРОРЕЛЬЕФА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ В РЕЗУЛЬТАТЕ БЕСЦЕНТРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОЛНОЙ СФЕРЫ**

**О.П. Решетникова, Б.М. Изнаиров, А.Н. Васин, Н.В. Белоусова, Г.А. Семочкин**

**Аннотация:** при технологической подготовке операций чистовой и отделочной обработки деталей абразивными инструментами очень важными задачами являются прогнозирование ее результатов в зависимости от назначенных режимов и назначение режимов в зависимости от требуемого качества обработанных поверхностей. Имеющиеся многочисленные справочные материалы такого характера получены в лабораторных условиях, носят дискретный характер, не учитывают специфическую топографию поверхностей абразивных инструментов и множества других условий и поэтому недостаточно достоверны. На их основе возможно планировать технологический процесс только предварительно, а затем неизбежно требуется уточнять его параметры экспериментальным путем, что приводит к значительному удорожанию процесса подготовки производства. Наличие достоверной аналитической методики позволяетратно снизить эти затраты, и поэтому она настоятельно необходима не только и даже не столько при выполнении научных исследований, сколько в реальном производстве. В статье аналитически определены параметры микрорельефа, образующегося в результате бесцентрового шлифования полной сферы. Уточнено влияние процесса выхаживания на формирование шероховатости сферы. Приведена методика расчета среднеарифметического отклонения микропрофиля сферической поверхности

**Ключевые слова:** полые шарики, микрорельеф, бесцентровое шлифование, сфера, режимы обработки, степень влияния

**Благодарности:** статья подготовлена при финансовой поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук № МК-2395.2020.8

## **ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛОВ ТРУБОПРОВОДОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ СТЕНДОВ НА ИХ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**А.В. Саврико, С.Н. Лымич, К.В. Кружаев, В.С. Левин, А.В. Москвичев**

**Аннотация:** приведено исследование зависимости газодинамических характеристик стенда от применяемого материала трубопровода. основополагающими факторами, влияющими на работоспособность стенда, являются выходные параметры – давление и расход рабочего тела, которые напрямую зависят от потерь давления на трение, создаваемого элементами стенда. Для оценки степени влияния материалов на потери стенда выбраны два вида труб: полипропиленовые и металлические. Аналитические расчёты потери давления рассматриваемых трубопроводов из различного материала показали, что трубопроводы из полипропилена предпочтительнее. Однако при проведении эксперимента получены противоположные данные, которые показали, что в полипропиленовых магистралях возможно присутствие значительного количества диафрагм: в местах пайки труб, образовавшихся в процессе изготовления. Именно этот факт способствует существенному повышению значений сопротивлений в полипропиленовых трубопроводах на 20 % по сравнению со стальными трубами, где диафрагмы отсутствуют. В результате проведения исследования был введен коэффициент, учитывающий влияние диафрагм полипропиленового трубопровода при аналитическом расчете на сопротивление. Для сохранения более точных снимаемых значений с газодинамических стендов целесообразнее использовать трубопроводы из металла, в которых рассчитать потери возможно с отклонениями до 3 %

**Ключевые слова:** газодинамический стенд, потери давления, сопротивление, полипропиленовые трубы, металлические трубы, эксперимент

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ПОВЕРХНОСТНОГО НАКЛЕПА**

**О.В. Уразов, А.Д. Данилов**

**Аннотация:** представлены результаты экспериментальных исследований процесса восстановления поврежденных поверхностей трубопроводов различных диаметров методом поверхностного наклепа, реализующего явление поверхностного пластического деформирования, приводящее к изменению распределения напряжений по толщине, выполнено обоснование оптимальных режимов его проведения. При этом было осуществлено численное моделирование процесса накатки, определены оптимальные значения следующих параметров: глубины и силы ППД, скорости ППД, подачи ролика, формы рабочей поверхности используемого ролика. При анализе были учтены следующие физико-механические характеристики: глубина наклепа, величина остаточных напряжений, глубина распределения остаточных напряжений, время обкатки, нагрузка на ролик. Доказано очевидное преимущество роликов большего радиуса профиля – они позволяют обеспечить необходимое изменение шероховатости обрабатываемой поверхности при обкатке с большей подачей, что приводит к снижению времени технологического процесса. При этом в принятом диапазоне параметров режимов обкатки (нагрузка 2500÷3000Н, глубина вдавливания 0.04÷0.06мм) величины компонентов остаточных напряжений оказались практически идентичными для исследованных режимов всех рассмотренных роликов. Полученные результаты были положены в основу технологии восстановительного ремонта трубопроводов различного диаметра без остановки производственного процесса на Нововоронежской АЭС и создана промышленная установка с числовым программным управлением для реализации данной технологии

**Ключевые слова:** поверхностный наклеп, роликовая обкатка, поверхностное пластическое деформирование, остаточное напряжение