

## *Информатика, вычислительная техника и управление*

### **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ НА БАЗЕ ПОЛИНОМИАЛЬНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ С ДИНАМИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЕМ НАСТРОЕК**

**В.И. Захватов, С.Л. Подвальный, А.В. Михайлугов**

**Аннотация:** рассмотрена задача повышения качества управления сложными объектами на базе полиномиального регулятора с динамическим изменением настроек на примере обратного маятника на каретке. Построена математическая модель объекта управления, синтезирован полиномиальный регулятор с помощью метода символьных вычислений систем дифференциальных уравнений с дополнительным входом для задания среднегеометрического корня извне и подобраны настройки ПИД-регулятора для управления положением каретки стандартными средствами MATLAB Simulink. Для анализа качества и параметров созданной системы управления были созданы модель обратного маятника на каретке и модели регуляторов с помощью визуальной среды моделирования MATLAB Simulink. В результате моделирования была получена прямая зависимость времени установки положения маятника от значения среднегеометрического корня, что подтверждает возможность внешнего управления быстродействием представленной системы управления. Также исследована и подтверждена возможность контроля уровня управляющих воздействий для предотвращения насыщения исполнительных устройств. В результате анализа работы системы управления были выделены несколько направлений для дальнейших исследований: повышение качества предотвращения насыщения исполнительных устройств, управление полосой пропускания исходя из спектральных характеристик помех измерений, управление быстродействием систем без перенастройки регулятора, динамическое управление областью притяжения систем, разработка многоальтернативных систем. Фактически была создана система внешнего параметрического управления динамикой процессов, причем описанный регулятор не требует адаптации и обучения

**Ключевые слова:** система управления, полиномиальный регулятор, параметрическое управление, обратный маятник, сложный объект

### **ОПТИМИЗАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УВОДА ОГРАНИЧЕННО МАНЕВРЕННОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА ОТ СТОЛКНОВЕНИЯ С ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

**А.В. Комаров, Е.К. Кичигин**

**Аннотация:** в работе обсуждены вопросы формализации задачи увода ограничено маневренного воздушного судна от столкновения с земной поверхностью как задачи оптимального управления в постановке пространственного маневрирования. Рассмотрены вопросы выбора математической модели движения ограничено маневренного воздушного судна, которая существенно определяет последующую вычислительную сложность задачи и реализуемость получаемого аналитического решения в реальном масштабе времени. В качестве прогнозирующей модели движения ограничено маневренного воздушного судна рассматривается решение уравнений движения траекторного или пилотажного уровня, в зависимости от смысла решаемой задачи управления, при «замороженном» положении органов управления, то есть параметров модели движения, имеющих смысл уравнений, которые при прогнозировании задаются постоянными величинами. Наличие аналитического решения в предположении постоянства векторов перегрузки и угловой скорости для уравнений базовой модели траекторного движения ограничено маневренного воздушного судна открывает широкие возможности разработки экономичного в вычислительном отношении алгоритмического обеспечения системы увода ограничено маневренного воздушного судна от столкновения с земной поверхностью, синтезируемого на основе решения задачи предотвращения столкновения как задачи оптимального управления

**Ключевые слова:** системы предотвращения столкновения с земной поверхностью, воздушное судно, система автоматического управления полетом, алгоритмическое обеспечение

### **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАДАЧ В ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИИ РОЯ ЧАСТИЦ**

**Ходар Алмосана, Э.К. Алгазинов, Е.Н. Десятиркова, Ияд Алхяат**

**Аннотация:** облачные вычисления — это новый вид общей инфраструктуры, которая может подключать огромные пулы систем, предоставляет пользователям разнообразные ресурсы хранения и вычислительные ресурсы через Интернет. Наиболее важным требованием в среде облачных вычислений является планирование задач, которое играет ключевую роль в эффективности всех средств облачных вычислений. Планирование задач в облачных вычислениях означает выделение наиболее подходящих ресурсов для выполнения задачи с учетом различных параметров, таких как время, стоимость, масштабируемость, интервал выполнения, надежность, доступность, пропускная способность, использование ресурсов и так далее. Большинство существующих алгоритмов оптимизации сосредоточены только на одном аспекте. В этой статье мы разрабатываем комплексную многоцелевую модель для оптимизации планирования задач, чтобы минимизировать время передачи задач, время выполнения задач и стоимость

выполнения задач. Однако целевые функции в этой модели конфликтуют друг с другом. Учитывая этот факт и превосходство алгоритма оптимизации роя частиц (ОРЧ) по скорости и точности, мы разработали многоцелевой алгоритм, основанный на методе ОРЧ, чтобы обеспечить оптимальное решение для предложенной модели. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что предлагаемый способ более эффективен и экономичен во времени и стоимости

**Ключевые слова:** облачные вычисления, оптимизация роя частиц, стратегия планирования, балансировка нагрузки, виртуальные машины, виртуализация

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

**С.Л. Подвальный, М.А. Лихотин**

**Аннотация:** на выходе телекоммуникационного канала расположен усилитель мощности, о структуре которого совсем ничего неизвестно. Моделирование такого устройства осуществлялось по принципу чёрного ящика, оперировали только данными на входе и выходе исследуемого усилителя мощности. Эталонные значения, подаваемые в модель, представлены в виде комплексных чисел. Критерием качества оценивания модели служило принятое в радиотехнике отношение сигнал/шум. Приведены краткие результаты работы прошлого исследования. Поднимаются проблемы, связанные с моделированием процесса работы усилителя мощности на основе нейронных сетей. Приведён пример появления нелинейных искажений в рассматриваемом устройстве. Представлена совместная работа группы нейронных сетей, основанная на кластеризации аналогового сигнала, которая работает по принципу адаптивной резонансной теории Гроссберга. Кратко поставлены результаты работы применения такого типа систем. Сформулированы проблемы при использовании такого подхода к моделированию исследуемого процесса. А также рассмотрены различные алгоритмы настройки весовых коэффициентов нейронных сетей и представлены примеры их работы, обучающихся по спектру сигнала. Сравнивались наиболее популярные в настоящее время алгоритмы обучения для минимизации функции относительной ошибки. Описаны выводы по работе нейросетевых моделей в рамках поставленной задачи

**Ключевые слова:** нейронная сеть, модель, обучение, усилитель мощности, кластеризация, ошибка, шум

## **СИСТЕМА СЛЕЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОНОКУЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ В ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОМ ПОДВЕСЕ**

**В.Г. Бондарев, Д.А. Смирнов, Н.И. Майгурова, А.В. Николенко, К.Ю. Гусев, С.Ю. Вахмин**

**Аннотация:** представлена структура монокулярной системы технического зрения в режимах гиросtabilизации и слежения за объектом. В режиме слежения за объектом интереса выполняется обработка изображения с целью определения его координат на фотоматрице, а затем процесс слежения сводится к такому перемещению рам карданова подвеса, который завершается заданным положением изображения на фотоматрице. При этом показана отработка такого положения рам подвеса, чтобы изображение особой точки, являющейся простой моделью объектов интереса, всегда стремилось к центру фотоматрицы, что улучшает качество изображения фотокамеры и снижает уровень вибрации во время движения летательных аппаратов (ЛА). Это позволяет не только следить за объектом интереса, но и производить сопровождение и захват различных объектов, а также решать задачи навигации ЛА с использованием монокулярной системы технического зрения в гиросtabilизированном подвесе. Дальнейшим развитием режима сопровождения объекта интереса является слежение за протяженным объектом, на котором можно выделить две и более особых точек, тогда обеспечивается управление всех трех рам карданова подвеса и стабилизируется не только линейное, но и угловое положение изображения объекта на фотоматрице

**Ключевые слова:** монокулярная система, техническое зрение, система слежения, режим гиросtabilизации, уровень вибрации, созвездие маяков

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ С АСТАТИЧЕСКИМ МОДАЛЬНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ И ФИЛЬТРОМ КАЛМАНА В КАЧЕСТВЕ НАБЛЮДАТЕЛЯ**

**А.П. Харченко, Ю.С. Слепокуров, Ю.Н. Каревская**

**Аннотация:** дистанционное управление следящей системы (СС) с автоматическим регулятором или системой управления (СУ) на основе модального регулятора, наблюдателя и фильтра Калмана должно обеспечивать заданные показатели качества управления СС при минимальных аппаратных и программных средствах. При программной и аппаратной реализации модального регулятора, наблюдателя и фильтра Калмана необходимо учитывать требуемый объем информации, обеспечивающий заданные параметры качества управления. Исследуются варианты реализации автоматического регулятора СС с модальным регулятором и двумя фильтрами Калмана, установленными в цепи

обратной связи, в цепи задающего сигнала и в цепи рассогласования. При моделировании в среде Matlab структурной схемы СС с векторно-матричным описанием фильтр Калмана используется в режиме прогнозирования, фильтрации и сглаживания. Один из установленных в структурную схему СС фильтров Калмана выполняет и функции наблюдателя для восстановления составляющих управляемого вектора состояния  $X$ . Сравниваются показатели качества настройки коэффициентов передаточной функции фильтра Калмана для трех вариантов структурных схем СС с модальным регулятором и фильтром Калмана при переменной и постоянной скорости изменения заданного входного сигнала. Для одной из структурных схем СС с модальным регулятором и двумя фильтрами Калмана исследуется влияние скорости задающего входного сигнала на коэффициент формирования входного сигнала с учетом выходного сигнала модального регулятора и на время задержки настройки коэффициентов передаточной функции фильтра Калмана. В зависимости от структурной СС с модальным регулятором и фильтром Калмана помехи задаются в цепи обратной связи, в цепи задания входного сигнала и в цепи рассогласования, то есть исследуется помехозащищенность или восстановление полезного сигнала при приеме и передаче

**Ключевые слова:** мобильные транспортные системы, структурная схема, астатический модальный регулятор, фильтр Калмана, временные характеристики, время задержки

## *Радиотехника и связь*

### **ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО КАНАЛА РАДИОСВЯЗИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА НАЗЕМНЫЙ ПУНКТ УПРАВЛЕНИЯ**

**Д.Г. Пантенков, Н.В. Гусаков, А.Т. Егоров, А.А. Ломакин,  
В.П. Литвиненко, В.И. Великоиваненко, Е.Ю. Лю-Кэ-Сю**

**Аннотация:** в настоящее время в РФ активно развивается беспилотная авиация в интересах различных заказчиков. При этом по состоянию на 2019 год отечественной промышленностью разработан типоряд комплексов с беспилотными летательными аппаратами (КБЛА) различного класса и целевого назначения – лёгкие («Типчак», «Zala 421-04М», «Элерон-3»), средние («Элерон-10», «Форпост», «Корсар»), тяжелые («Орион»), сверхтяжелые («Альтаир», «Охотник»), которые решают как задачи повышения обороноспособности и безопасности РФ, так и отвечают интересам гражданских потребителей. Одним из ключевых элементов КБЛА является радиолиния передачи командно-телеметрической и целевой информации прямой радиовидимости между БЛА и наземным пунктом управления и обработки информации (НПУОИ). Беспилотные летательные аппараты тяжелого класса могут иметь в своем составе одновременно несколько целевых нагрузок – оптико-электронную систему, радиолокационную систему, систему радиомониторинга и т.д. В связи с тем, что поток информации, поступающий с целевых нагрузок на вход радиолинии, в пиковые моменты может быть достаточно большим, серьезные требования предъявляются как к аппаратуре первичной обработки целевой информации на борту БЛА и её сжатия в аппаратуре регистрации информации, так и к пропускной способности радиолинии в части передачи целевой информации на НПУОИ для последующего её анализа и обработки оператором комплекса. В данной статье рассмотрен перспективный метод OFDM модуляции (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) и COFDM модуляции (OFDM с канальным кодированием) применительно к высокоскоростному информационному каналу БЛА-НПУОИ, представлены результаты расчетов параметров высокоскоростной радиолинии, а также проведена оценка помехоустойчивости OFDM сигнала с каскадным кодом (низкоплотностным LDPC-кодом совместно с кодом Рида-Соломона)

**Ключевые слова:** комплексы с беспилотными летательными аппаратами, высокоскоростная информационная радиолиния прямой видимости, OFDM-сигналы, COFDM, помехоустойчивое кодирование, LDPC-код, код Рида-Соломона, вероятность ошибки, сигнал/шум, бортовые антенны, наземные антенны

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИРОЛИТИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОКСИДНЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ**

**В.Е. Полковников, Д.С. Пермяков, М.А. Белых, Ш.Х. Юлчиев, С.И. Рембеза**

**Аннотация:** в данной работе описана технология изготовления металлооксидных пленок ZnO, SnO<sub>2</sub>, Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> и CuO из водных растворов соответствующих солей методом спрей-пиролиза. В методе спрей-пиролиза аэрозоль водных растворов солей осаждается на горячую (420 °С) стеклянную подложку. Приведены режимы и условия напыления металлооксидных пленок на горячие стеклянные подложки. Произведен контроль состава полученных структур с помощью рентгенофазового анализа. Измерения электрических параметров пленок производились методом Ван-дер-Пау и с помощью эффекта Холла. Измерены поверхностное сопротивление пленок, тип проводимости, концентрация и подвижность носителей зарядов. Концентрация носителей зарядов в металлооксидных пленках изменялась от  $n=2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$  (ZnO) до  $6,53 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$  (SnO<sub>2</sub>) и составила  $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  для CuO. Металлооксидные пленки ZnO, SnO<sub>2</sub>, Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub> имели n-тип проводимости, а пленка CuO обладала p-типом проводимости. Исследования параметров пленок ZnO, SnO<sub>2</sub>, Zn<sub>2</sub>SnO<sub>4</sub>, CuO производились для оценки возможности использования их в качестве

элементов конструкции тонкопленочного солнечного элемента. Ширина запрещенной зоны определялась по спектрам поглощения света и находилась в пределах 3,2...3,5 эВ для оксидов на основе Zn и Sn, для оксида меди (II) ширина запрещенной зоны составила 1,6 эВ. Синтезированные пленки n-типа можно использовать для изготовления солнечного элемента со светопоглощающим слоем p-CuO. Предварительные результаты на пленочных структурах p-SnO<sub>2</sub>/p-CuO при дневном освещении показали значения  $I_{кз}=3$  мкА  $U_{кк}=48$  мВ. Для повышения эффективности солнечного элемента требуются дополнительные исследования

**Ключевые слова:** спрей-пиролиз, тонкие пленки, оксид цинка, оксид олова, оксид меди, станнат цинка, электрофизические параметры

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ В БЛИЖНЕМ ПОЛЕ МЕТОДОМ ГРИНА

**В.В. Глотов, Т.С. Глотова**

**Аннотация:** решение вопросов электромагнитной совместимости становится в настоящее время неотъемлемым элементом деятельности предприятий - разработчиков и изготовителей радиоэлектронных средств, основой которых, как правило, являются печатные модули. Чтобы не отставать от новых трендов инженерам-конструкторам приходится миниатюризировать электронные компоненты, из-за чего увеличиваются шансы сбоев в работе электронных средств. Так, например, обычная печатная плата может иметь сотни или даже тысячи цепей, при этом каждый контур является потенциальным источником энергии, который в конечном итоге может непреднамеренно воздействовать на другие цепи или элементы. Поскольку проблемы, появляющиеся с решением вопросов электромагнитной совместимости, стоят на поздних стадиях процесса разработки радиоэлектронных средств, то получаемые новые методы оценки электромагнитных помех должны прогнозировать на ранних стадиях проектирования. В случае сложных печатных плат, содержащих встроенные микроконтроллеры, а также большое количество дорожек, для оценки необходимо найти компромисс между точностью и временем моделирования тестируемого печатного модуля. В статье представлен базовый алгоритм, используемый в новом инструменте прогнозного анализа электромагнитных излучений. Он способен точно учитывать фактическое сечение между металлической плоскостью и воздухом для каждой дорожки, элемента печатной платы. Это сравнивается с теоретическими формулами для проверки. Описано влияние покрытия печатной платы на дипольное излучение

**Ключевые слова:** печатная плата, провод, корпус, модель Грина, электромагнитная совместимость, ближнее поле

## АЛГОРИТМ УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ ТАКТОВОГО СИГНАЛА SDRAM ПАМЯТИ

**Д.Н. Чернов, А.С. Смирнов, Е.Д. Алперин**

**Аннотация:** рассматривается алгоритм формирования тактового сигнала SDRAM микросхем для повышения надёжности операций чтения и записи при влиянии внешней среды. Суть алгоритма состоит в последовательной связке запись-чтение. То есть константное значение сначала записывается в память, а после считывается из неё, если запись прошла успешно, значение задержки запоминается во внутреннем регистре, если нет, то величина задержки увеличивается и цикл запись-чтения повторяется снова. Так будет происходить до тех пор, пока не зафиксируется рабочий вариант либо не исчерпается лимит элементов задержки. После того, как будет найдено и сохранено первое рабочее значение задержки, алгоритм продолжит выполнять цикл запись-чтение, попутно наращивая значение задержки до тех пор, пока считанное значение будет не совпадать с записанным. Таким образом, получатся минимальное и максимальное значения задержки. После этого вычисляется среднее значение и устанавливается в качестве основного. Описание алгоритма выполнено средствами языка VHDL. В качестве платформы разработки используется ПЛИС от Xilinx семейства Virtex 5 модель XC5VLX110

**Ключевые слова:** тактовый сигнал, SDRAM, задержка, алгоритм, ПЛИС, Virtex 5

## ЛОКАЛЬНАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

**И.М. Голев, А.В. Сергеев**

**Аннотация:** описана локальная система навигации с использованием низкочастотного магнитного поля, обладающая рядом преимуществ по сравнению с системами, использующими другие физические поля. Рассмотрены особенности магнитного, электромагнитного, акустического полей, определяющих характеристики навигационных систем. Показано, что использование магнитного поля позволяет создавать системы навигации, обладающие высокой помехозащищённостью, независимостью от климатических и погодных условий и типа подстилающей поверхности. Описана структурная схема навигационной системы, состоящая из наземного и бортового оборудования. В системе используется вращающееся магнитное низкочастотное поле, которое создается магнитным маяком – двумя катушками

индуктивности, расположенными взаимно перпендикулярно. Для определения характеристик магнитного поля, создаваемого магнитным маяком в точке расположения подвижного объекта, используется трехкоординатный магнитометр, который измеряет три взаимно ортогональные компоненты вектора индукции переменного магнитного поля, амплитуды и фазы которых однозначно связаны с тремя линейными и тремя угловыми координатами объекта. Приводятся параметры макета модуля навигационной системы с частотой магнитного поля 419 Гц, магнитным моментом маяка  $250 \text{ А}\cdot\text{м}^2$  и чувствительностью магнитометра не хуже 1 нТл. Дальность действия описанной навигационной системы не менее 30 метров. Погрешности линейных  $\Delta R$  и угловых измерений  $\Delta\psi$  нелинейно зависят от расстояния  $R$ , при  $R=30$  м величина  $\Delta R = 8,8$  м и  $\Delta\psi = 25^\circ$ , а для  $R=5$  м величина  $\Delta R = 4\cdot 10^{-3}$  м и  $\Delta\psi = 0,13^\circ$ . Для увеличения дальности модули могут быть расположены на поверхности (или под землей) территории, создавая навигационное поле необходимой конфигурации. Системы навигации с использованием вращающегося переменного магнитного поля могут решать задачи локальной навигации и посадки беспилотных летательных аппаратов как самолетного, так и вертолетного типов; навигации внутри помещений; навигации робототехнических устройств; работать в составе систем управления и контроля перемещений персонала, техники и грузов на объектах

**Ключевые слова:** локальная навигационная система, вращающееся переменное магнитное поле, магнитный момент, трехкоординатный датчик

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОЛУОПРЕДЕЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ OFDM СИСТЕМ СВЯЗИ

**О.Н. Чирков, М.А. Ромащенко, С.А. Слинчук**

**Аннотация:** рассмотрена задача помехоустойчивого обнаружения сигналов со спектральным эффективным частотным разделением каналов с мультиплексированием. Оптимальное обнаружение сигналов со спектральным эффективным частотным разделением каналов с мультиплексированием основано на методике наименьших квадратов и алгоритмах максимального правдоподобия. Задача обнаружения многопользовательских систем множественного доступа с кодовым разделением может быть классифицирована как целочисленная оптимизация линейного программирования. Стандартные методы оптимального обнаружения сигналов в статье преобразуются в выпуклую оптимизацию полуопределенного программирования. Предложена комбинированная методика максимально правдоподобного обнаружения SEFDM сигналов на основе полуопределенных методов программирования. Приведена упрощенная блок-схема приемника с оценкой полуопределенного программирования (ПОП) и максимально правдоподобного (МП) детектора. Выведены алгоритмы, позволяющие повысить помехоустойчивость при обнаружении сигналов со спектральным эффективным частотным разделением каналов с мультиплексированием. Проведено моделирование рассмотренных методик оптимального обнаружения сигналов с частотным разделением каналов с мультиплексированием в среде Matlab. Основной характеристикой исследования выбрана битовая ошибка приема от отношения сигнал/шум. Результаты моделирования показывают эффективность предложенных методик полуопределенного программирования в BER характеристики над существующими приемниками, основанных на снижении минимальной среднеквадратичной ошибки приема

**Ключевые слова:** релаксация, полуопределенное программирование, максимальное правдоподобие, помехоустойчивость, обнаружение сигнала

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ В ЗАКРЫТЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ МЕТОДОМ ДЛИННОЙ ЛИНИИ

**В.В. Глотов, Т.С. Глотова**

**Аннотация:** на современном этапе проблема электромагнитной совместимости играет значимую роль в развитии радиоэлектронной аппаратуры. Большинство разработчиков стараются миниатюризировать электронные компоненты, из-за чего увеличиваются шансы сбоев в работе радиоэлектронных средств. Для экономии фонда рабочего времени и денежных средств вполне логично и целесообразно выявлять проблемные места печатной платы на ранних стадиях разработки. В статье представлено описание методики оценки электромагнитных характеристик печатных плат в закрытых конструкциях. Описана эффективность использования метода Transmission Line Matrix (TLM) – метод длинной линии при изучении внутриаппаратурной электромагнитной совместимости в закрытых конструкциях радиоэлектронных средств. Данный метод применяется для учета и анализа взаимодействий печатной платы и корпуса изделия на основе физических особенностей печатной платы. Описаны полученные результаты, снятые с помощью Н-зонда, сканера ближнего электромагнитного поля. Проведено сравнение результатов, полученных экспериментальным методом и методом моделирования моментов (МоМ), подтверждающих достоверность численной модели. Анализ обеспечения электромагнитной совместимости в различных радиоэлектронных устройствах показал, что при разработке любого электронного инструмента наибольшее внимание следует уделять проектированию печатных плат. Поэтому разработчику необходимо на ранних стадиях проектирования радиоэлектронных устройств определить проблемные области печатной платы

**Ключевые слова:** печатная плата, провод, корпус, TLM-метод, электромагнитная совместимость, ближнее поле

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ЗОНДОВАЯ СТАНЦИЯ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИСТАЛЛОВ ДИОДОВ И ТРАНЗИСТОРОВ**

**В.В. Кондусов, В.А. Кондусов**

**Аннотация:** описано устройство, относящееся к измерительной технике и представляющее собой установку для испытания электрических параметров кристаллов диодов и транзисторов при их производстве. Как один из видов контроля зондовые измерения позволяют оценить основные параметры разрабатываемых полупроводниковых приборов перед их корпусированием в процессе разбраковки и сортировки по параметрам. Благодаря этому удаётся избежать дополнительных затрат и снизить себестоимость выпускаемой продукции. Для проведения указанных измерений необходима зондовая станция, которая позволит соединить исследуемый прибор с измерительным устройством и обеспечить целостность и достоверность полученных результатов. Описаны проблемы, возникающие при измерениях электрических параметров кристаллов диодов и транзисторов на предприятиях радиоэлектронной промышленности. Представлены недостатки современных решений для тестирования кристаллов радиоэлектронных приборов. Показаны пути решения данных проблем и недостатков на примере разработанной установки. Описанная установка является составной частью программно-аппаратного комплекса и обеспечивает проверку электрических параметров чипов, отделённых от общей полупроводниковой пластины (заготовки), а также позволяет определить, какие из изготовленных кристаллов исправны и могут быть использованы в дальнейшей работе по монтажу их в корпус. Описаны инновационные решения при проектировании игольчатого контакта и пневматической подачи, описан процесс разработки конструкции, алгоритм работы установки и назначение основных органов управления

**Ключевые слова:** зондовое тестирование, кристаллы диодов и транзисторов, прецизионный манипулятор, гидравлическое демпфирование, монокристаллический материал, рабочий цикл

## ***Машиностроение и машиноведение***

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ В ФИЛЬТРАХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

**А.Ю. Рязанцев, Е.В. Смоленцев, В.Г. Грицок, А.А. Широкожухова**

**Аннотация:** рассмотрены методы получения отверстий в металлических фильтрах различных типоразмеров. Раскрыта специфика применения электроэрозионного и электронно-лучевого методов обработки при прошивке отверстий. Представлены пути обеспечения качества поверхностного слоя деталей в процессе изготовления фильтрующих элементов жидкостных ракетных двигателей. Проведенный анализ существующих комбинированных методов обработки металлических фильтров позволяет сделать вывод о том, что максимальная производительность достигается при использовании электронно-лучевой обработки для прошивки отверстий. Исходя из того, что фактическое микроструктурное состояние контактных поверхностей является основным условием формирования характеристик фильтрующих элементов, определены методы исследования. В соответствии с рассматриваемыми в работе методами обработки выполнены исследования параметров шероховатости изготовленных отверстий на образце-имитаторе и гидравлических характеристик фильтрующего элемента при постоянном расходе рабочей среды. При проведении испытаний в качестве испытательной среды использовалась техническая вода. Исходя из расчетных параметров пролива фильтра и полученных фактических результатов, сделан вывод о том, что для обеспечения оптимальных гидравлических характеристик фильтрующих элементов электроэрозионный способ обработки отверстий является более предпочтительным. Результаты работы способствуют повышению технологичности изготовления изделий новых поколений техники, что актуально для машиностроения

**Ключевые слова:** качество, фильтрующий элемент, поверхностный слой, двигатель, шероховатость, деталь

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОДА-ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ ЕДИНИЧНОГО И ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**А.П. Суворов, А.В. Кузовкин**

**Аннотация:** в данной статье рассматривается проблема проектирования, изготовления и эксплуатации комбинированного электрода-инструмента (ЭИ) в условиях единичного и опытного производства, которая заключается в высоких технологических и экономических затратах на изготовление такого ЭИ сопоставимых, а иногда и превышающих стоимость изготовления детали с применением традиционных процессов резания. Объектами, рассматриваемыми в работе, являются комбинированные электроды-инструменты, проектируемые и изготавливаемые на основе современных цифровых технологий и методов 3D-печати и применяемые для обработки

сложнопрофильных поверхностей в условиях единичного и экспериментального производств. Показано, что сочетание параметрического проектирования на основе цифровых моделей и изготовления методами аддитивных технологий основы комбинированного инструмента с последующим приданием ему токопроводящих свойств позволяет существенно расширить область электрохимической обработки за счет возможности финишной размерной обработки сложнопрофильных поверхностей с высокой степенью кривизны. Экспериментальные исследования показали, что апробированный в условиях единичного и экспериментального производств комбинированный инструмент в дальнейшем может быть изготовлен для нужд серийного производства. Материалы статьи представляют практическую ценность для предприятий машиностроительного комплекса в связи с упрощением процесса изготовления электрода-инструмента для электрических методов обработки и его удешевлением

**Ключевые слова:** электрод-инструмент, электрохимическая обработка, аддитивные технологии

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАСЛЕДСТВЕННОСТИ НА ПРОЦЕСС ФОРМИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ АЛМАЗНЫМ ВЫГЛАЖИВАНИЕМ

**М.Н. Нагоркин**

**Аннотация:** представлена методика количественной оценки влияния технологической наследственности на формирование параметров качества поверхностей деталей машин. Исследовались технологические системы чистового торцевого фрезерования композитом 10 с последующим алмазным выглаживанием плоских поверхностей деталей из чугуна. Представлен пример качественной оценки результатов экспериментов, позволяющий выявить управляющие факторы технологических систем, вносящих наибольший вклад в формирование микроструктуры поверхностного слоя. Оценивается влияние кинематических схем обработки торцевым фрезерованием и алмазным выглаживанием на формирование поверхностной микроструктуры обрабатываемой детали. Анализ корреляционных связей между параметрами качества поверхностей, полученных при предварительной обработке деталей, и соответствующими параметрами, полученными после окончательной обработки, позволил установить минимально необходимое число параметров качества для их технологического обеспечения. Для количественной оценки влияния технологической наследственности на формирование параметров качества в процессе обработки предлагается применить метод имитационного моделирования. На примере формирования параметра шероховатости  $Ra$  поверхности детали торцевым фрезерованием композитом 10 с последующим алмазным выглаживанием оценивается влияние технологической наследственности, позволяющей дифференцированно решать вопросы выбора факторов обработки по величинам  $k_{qv}$  с целью эффективного управления регламентируемыми параметрами качества. Представлена графическая интерпретация влияния технологической наследственности на формирование параметров микропрофиля

**Ключевые слова:** алмазное выглаживание, технологическая наследственность, корреляция, параметры шероховатости

## ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА НАЗНАЧЕНИЯ СТРАТЕГИИ ЭФФЕКТИВНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА

**А.В. Анцев**

**Аннотация:** рассматривается задача назначения стратегии эффективной эксплуатации лезвийного инструмента непосредственно в процессе обработки партии деталей на конкретном металлорежущем станке с учетом вариабельности процесса резания. Стратегия эксплуатации лезвийного инструмента – это совокупность принципов и правил, обеспечивающих заданное управление процессом эксплуатации лезвийного инструмента путем поддержания рациональных режимов работы лезвийного инструмента и назначения работ по его восстановлению в соответствии с техническим состоянием. Показана необходимость учета вариабельности процесса резания при оценке периода стойкости и обеспечении эффективной эксплуатации лезвийного инструмента. Для автоматизации процесса назначения стратегии эксплуатации лезвийного инструмента в режиме самообучения предложен программно-методический комплекс назначения стратегии эффективной эксплуатации лезвийного инструмента. Предложенный программно-методический комплекс позволяет в режиме самообучения назначать экономически эффективный режим профилактики лезвийного инструмента, назначать рациональные режимы резания, производить сравнительную оценку качества лезвийного инструмента разных производителей, формировать комплект лезвийного инструмента технологической системы операции и рассчитывать нормы расхода лезвийного инструмента с учетом вариабельности процесса резания. Рассмотрена общая методика применения программно-методического комплекса назначения стратегии эффективной эксплуатации лезвийного инструмента. Использование предложенного программно-методического комплекса позволит повысить эффективность промышленных технологий производства продукции машиностроения, в том числе и на предприятиях оборонно-промышленного комплекса

**Ключевые слова:** стратегия эксплуатации, оптимизация, скорость резания, период замены, удельные затраты, информационная поддержка, программно-методический комплекс

# АНАЛИЗ МОРФОЛОГИИ СТРУЖКИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

**М.В. Вилкина**

**Аннотация:** данное исследование направлено на изучение морфологии стружки, полученной методом высокопроизводительного фрезерования (ВПФ) на станке с ЧПУ со средними кинематическими и силовыми характеристиками путем фрезерования высококачественной легированной стали для четырех уровней производительности с повышением режимов резания и средней толщины стружки. Полученные образцы стружки были сгруппированы по уровню обработки, после чего на электронном микроскопе были получены микроснимки образцов каждой группы и проведен их морфологический анализ с целью установления оптимальных условий ВПФ. На основе результатов современных исследований в данной области удалось установить оптимальную границу повышения динамики обработки, в пределах которой можно ожидать снижения износа инструмента, связанного с термическими эффектами и адгезией. Глубина обработки превышала 2 диаметра фрезы, при этом были найдены оптимальные условия резания, при которых опасные для инструмента явления адиабатического сдвига не проявляются и стружка по общей классификации по своей морфологии близка к сливной. При этом благодаря рассчитанной в САМ системе траектории ВПФ стружка имеет постоянную толщину и сегментирована достаточно, чтобы удовлетворять условиям автоматизированного производства

**Ключевые слова:** резание металлов, высокопроизводительное фрезерование, морфология стружки, повышение производительности









