

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о соискателе Коробкове Максиме Андреевиче и его диссертации на тему:
«Разработка метода оценки выхода годных печатных плат по их конструктивно-технологическим параметрам», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры

В 2021 году соискатель Коробков М.А. с отличием окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ) с присвоением степени «Магистр» по направлению «Информатика и вычислительная техника».

С 2017 года работает в научно-исследовательском отделе (НИО-307) МАИ в должности техника, с 2019 по 2023 — инженера, с 2023 года — младшего научного сотрудника.

С 2019 года ведет активную преподавательскую работу на кафедре 307 «Цифровые технологии и информационные системы» МАИ в должности ассистента, с 2022 года — старшего преподавателя.

Коробков М.А. проявил себя целеустремленным исследователем, способным самостоятельно проводить комплексный анализ, ставить и решать сложные научные задачи в области проектирования и технологии приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры. В частности, **принимал активное участие в научных работах**, связанных с разработкой и исследованием методов повышения надежности печатных узлов электронных устройств:

— «Разработка технологий изготовления БНК и их элементов, нанесения влагозащитного покрытия и контроля печатных узлов и печатных плат приборов».

Заказчик — АО «Российские космические системы», 2018–2020;

— «Оценка достоверности рентгеновского контроля печатных плат и печатных узлов и оптимизация его проведения». Заказчик — АО «Российские космические системы», 2018–2020;

— «Исследование деформации слоя многослойных печатных структур и усовершенствование методики автоматизированной оценки и снижения деформации слоев при изготовлении многослойных печатных плат». Грант Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук, №МК-582.2022.4, 2022–2023;

— «Разработка методики компенсации деформации в многослойных структурах на участке фотолитографии для применения в производстве печатных плат». Проект фундаментальных и поисковых научных исследований, поддержанный Российским научным фондом, № 23-29-10204, 2023–2024.

— «Исследование основ построения перспективных систем электродвижения, электроснабжения, навигации и управления беспилотных летательных аппаратов». Государственное задание FSFF-2020-0015, 2020–2022.

Научные достижения соискателя отмечены рядом наград, в частности:

— дипломом победителя, медалью и сертификатом профессионального инженера по итогам конкурса «Инженер года» по версии «Инженерное искусство молодых» в номинации «Приборостроение и диагностика» (2021);

— дипломом призера (2-е место) в номинации «Системы управления, информатика и электроэнергетика» на XIV Всероссийском международном конкурсе научно-технических работ и проектов «Молодежь и будущее авиации и космонавтики» (2022);

— дипломом победителя XIV Национальной Научно-технической конференции в отрасли «Станкостроительная и инструментальная промышленность» (2024).

С 2021 года является аспирантом кафедры 307 «Цифровые технологии и информационные системы» МАИ. В качестве направления для исследования соискатель выбрал тему, связанную с повышением эффективности процессов проектирования и изготовления печатных плат путем разработки научных основ количественной оценки их качества.

Актуальность выбранной темы. Необходимость создания конкурентоспособной и экономически эффективной электронной продукции требует сокращения времени и затрат на разработку при одновременном обеспечении надежности, что особенно актуально для техники ответственного назначения. Важными компонентами современных электронных устройств являются печатные платы и узлы на их основе, и надежность конечной аппаратуры в значительной степени зависит от качества проектирования и изготовления этих элементов.

Постоянно увеличивающаяся сложность проектируемых печатных плат требует более глубокого взаимодействия между инженерами-проектировщиками и производственными специалистами. Однако в настоящее время интеграция между командами, занимающимися проектированием и производством, снижается, и зачастую проектировщики, конструкторы и технологи не имеют прямых контактов. Кроме того, наличие различных инструментов и программного обеспечения для

проектирования и производства может привести к несоответствиям в данных и спецификациях. Это ослабляет связь между этапами разработки и изготовления, поскольку информация может теряться или неправильно интерпретироваться. Отсутствие интеграции может привести к тому, что решения, принимаемые на этапе проектирования, не учитывают реальные условия и ограничения производства, что создает риск того, что сложные конструкции не смогут быть произведены с заданным уровнем качества и надежности.

Все эти факторы затрудняют нахождение оптимального баланса между сложностью проектируемой печатной платы и возможностями ее производства при минимальных затратах. В результате это негативно сказывается на качестве проектных решений, увеличивает вероятность ошибок при проектировании и количество дефектной продукции в процессе производства, а также влияет на надежность конечного изделия.

Таким образом, актуальной задачей является разработка методов априорной количественной оценки качества печатных плат, позволяющих адекватно учитывать как конструктивные параметры, используемые при проектировании топологии, так и влияние технологического процесса изготовления.

В диссертационной работе получен ряд **новых научных результатов**, в том числе:

— Математическая модель оценки вероятности выхода годной печатной платы для критически значимых операций ее производства: фотолитографии, травления, совмещения и сверления, отличие которой от известных заключается в совокупном учете влияния конструктивных параметров печатных плат и погрешностей технологических процессов их изготовления.

— Метод оценки выхода годных печатных плат, основанный на применении разработанной математической модели и обеспечивающий автоматизированное определение вероятности производства изделия, соответствующего заданным требованиям приемки, по конструктивным параметрам платы и характеристикам технологических процессов ее изготовления.

— Методика определения конструктивно-технологических параметров печатной платы, основанная на численном поиске наборов параметров, совокупно удовлетворяющих заданной целевой вероятности выхода годных.

— Методика определения параметров каплевидной контактной площадки сквозного металлизированного отверстия, основанная на решении оптимизационной задачи минимизации занимаемой ею площади для заданного значения вероятности выхода годных, обеспечивающая уменьшение размеров

контактной площадки или снижение требований к точности оборудования для сверления.

Практическая ценность работы состоит в том, что:

— методика определения конструктивно-технологических параметров для печатной платы позволяет определить рекомендуемые значения параметров конструкции печатной платы для выполнения требований производства или решить обратную задачу — определить необходимые параметры производства для изготовления спроектированной печатной платы.

— методика определения параметров каплевидных контактных площадок для сквозных металлизированных отверстий позволяет снизить требования к точности используемого для сверления оборудования (в рассмотренных примерах получено снижение требуемой точности от 1,5 до 5 раз в зависимости от класса применения, а также конструктивных параметров печатной платы).

— реализующее метод оценки выхода годных печатных плат программное обеспечение, которое позволяет получить априорную количественную оценку качества печатной платы в виде вероятности ее изготовления в соответствии с предъявляемыми требованиями приемки по заданным конструктивным параметрам платы и характеристикам технологических процессов ее изготовления, что обеспечивает возможность внедрения метода в цифровые информационные технологии для снижения трудоемкости проектирования и повышения экономичности производства печатных плат.

— методика экспериментального определения параметров операции фотолитографии позволяет минимизировать влияние процесса на изменение параметра ширины проводника; введение в производственные файлы проекта печатной платы компенсации систематической составляющей погрешности, определенной по разработанной методике, уменьшило минимальную воспроизводимую ширину в 2,7 раза.

— структурная схема, конструкция, архитектура программного обеспечения и собранный на их основе экспериментальный образец установки прямого экспонирования, использующий для переноса проводящего рисунка на заготовку жидкокристаллическую матрицу, которая обеспечивает автоматизированное проведение операции фотолитографии.

— разработан и апробирован оригинальный алгоритм совмещения заготовки и шаблона на операции фотолитографии, основанный на применении конечно-элементной сетки: реализация алгоритма на опытном образце установки прямого экспонирования позволила уменьшить минимально допустимое проектируемое

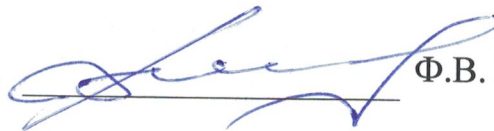
значение пояска площадки переходного отверстия в 2,3 раза на рассмотренных примерах.

По теме диссертации опубликовано 30 работ, в том числе 4 в рецензируемых изданиях Перечня ВАК, 4 в изданиях, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus и Web of Science, 1 в материалах конференций, индексируемых в международной реферативной базе данных Scopus, 1 патент на изобретение и 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ. Результаты работы внедрены в АО «НИЦЭВТ» и АО «АВЭКС», а также использованы в учебном процессе кафедры 307 «Цифровые технологии и информационные системы» МАИ, а именно в дисциплинах «Конструирование средств информационно-вычислительной техники», «Технология производства средств информационно-вычислительной техники» и «Современные технологии производства электронных средств».

Коробков М.А. является квалифицированным специалистом в области проектирования и технологии приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры. Диссертационная работа Коробкова М.А. написана на высоком научно-техническом уровне и по показателям удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Работа соискателя Коробкова М.А. достойна рассмотрения диссертационным советом 24.2.327.12 при Московском авиационном институте с целью её защиты Коробковым М.А. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.9. Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры.

Научный руководитель, кандидат
технических наук, доцент,
заведующий кафедрой 307
«Цифровые технологии и
информационные системы», МАИ

19.05.2025



Ф.В. Васильев

Подпись Васильева Ф.В. заверяю,
Заместитель начальника Отдела
кадров МАИ



М.А. Иванов