

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский государственный  
технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1  
Тел. (499) 263-63-91 Факс (499) 267-48-44  
E-mail: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)  
ОГРН 1027739051779  
ИНН 7701002520 КПП 770101001

№ 04/16-07/29981

на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по науке и цифровому развитию  
МГТУ им. Н.Э. Баумана  
д.э.н., профессор

П.А. Дроговоз

» 25 ноября 2024 г.



### Отзыв ведущей организации -

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) на диссертационную работу Кузнецова Андрея Сергеевича «Методика повышения эффективности проектных решений конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры на ранних этапах проектирования», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.9 «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры (технические науки).

Современные тенденции к расширению сфер применения мобильных транспортных средств, в частности легких и средних беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) требуют разработки новой и совершенствованию выпускаемой бортовой РЭА. При этом приходится учитывать жесткие ограничения, накладываемые на конструкторские

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

2 12 2024 г.

параметры данного типа аппаратуры и, в первую очередь, на ее надежность, массогабаритные характеристики и потребляемую мощность. К тому же, необходимость сокращения сроков разработки аппаратуры предполагает определение оптимального варианта конструкции уже на ранних этапах проектирования. На основании перечисленных особенностей, тему диссертационной работы можно считать актуальной.

**Целью** диссертационной работы является повышение эффективности проектных решений конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА) на ранних этапах проектирования. Достижение поставленной цели обеспечивается путем применения в составе проектируемого изделия наиболее эффективного комплекта готовых модулей, покрывающих составные части БРЭА, и эффективной системы принудительного воздушного охлаждения теплонагруженных модулей.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений, списка литературы и четырех приложений. Общий объем диссертации составляет 131 страницу, работа содержит 59 рисунков, 26 таблиц, четыре приложения. Список литературы включает 131 наименование.

Во **введении** работы описаны актуальность темы исследования, степень разработанности темы исследования, цель и задачи диссертационной работы, положения, выносимые на защиту, представлены пункты, характеризующие научную новизну работы и ее практическую значимость.

В **первой главе** рассмотрены особенности конструкций современных БРЭА на примере БРЛС. Отмечено, что на конструкторские параметры БРЭА накладываются существенные ограничения. Также показано, что выбор конструкции следует осуществлять уже на ранних этапах проектирования. Предложено использовать критерий эффективности для сравнительного анализа и выбора наилучшего варианта конструкторского проектного решения.

Во **второй главе** предложены формализованное описание структуры БРЭА и информационная модель составных частей БРЭА, позволяющие создавать электронные библиотеки готовых модулей, а также повысить уровень автоматизации выбора готовых модулей из архивов предприятий. Рассмотрена разработанная методика формирования конструктивного базиса проектных решений БРЭА, реализованная на основе математического аппарата многодольных графов.

В **третьей главе** рассматривается разработанная концепция синтеза проектных решений конструкций БРЭА, которая объединяет САД систему и программный комплекс анализа теплового режима БРЭА. Предложена методика синтеза системы принудительного воздушного охлаждения БРЭА,

которая обеспечивает требуемое снижение температуры при минимальном потреблении мощности. Рассмотрены алгоритмы двух методов анализа альтернативных конструкторских проектных решений БРЭА, с целью их ранжирования по эффективности: метод комплексного критерия и метод анализа иерархий.

**В четвертой главе** описан разработанный программный комплекс, реализующий предлагаемые методики. Приведены результаты применения программного комплекса для выбора наиболее эффективного варианта конструкции радиочастотного модуля (РЧМ) БРЛС для БПЛА, обеспечивающего заданную надежность при минимальных массогабаритных характеристиках и минимально возможной потребляемой мощности. Также приведены результаты сравнения данных, полученных с помощью теплового моделирования конструкции РЧМ с применением САПР «Solidworks» и полученных расчетным путем с использованием разработанной программы анализа теплового режима БРЭА, которые показали высокую точность совпадения (94%).

В качестве **научной новизны** диссертационной работы стоит отметить следующее:

1. Предложена методика синтеза и ранжирования конструкторских проектных решений БРЭА БПЛА, учитывающие особенности данной аппаратуры и позволяющие повысить эффективность и точность прогнозирования конструкторских параметров проектных решений на ранних этапах проектирования.

2. Предложена методика автоматизированного формирования конструктивного базиса проектных решений БРЭА, который включает в себя множество допустимых комплектов готовых модулей, покрывающих структуру БРЭА и удовлетворяющих требованиям ТЗ.

3. Разработан алгоритм синтеза систем принудительного воздушного охлаждения, позволяющих за счёт использования не теплонагруженных элементов конструкции в качестве удалённых радиаторов максимально возможно снизить температуры теплонагруженных модулей при минимальном потреблении мощности и тем самым повысить эффективность проектных решений БРЭА.

**Практическая значимость** работы заключается в том, что разработанные методики формирования конструктивного базиса БРЭА и синтеза систем принудительного воздушного охлаждения БРЭА, реализованные в виде программного комплекса, могут быть внедрены на предприятиях, что позволит на ранних этапах проектирования повысить эффективность разрабатываемой БРЭА.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность результатов работы подтверждена экспериментальной проверкой разработанных методов и алгоритмов, актами практического внедрения и обсуждениями на научно-технических конференциях.

### **Соответствие паспорту специальности**

Диссертационная работа соответствует специальности 2.2.9. «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры» (технические науки), поскольку в ней находит отражение следующий пункт паспорта специальности: «Научное обоснование новых и совершенствование существующих методов проектирования и производства информационно-измерительных приборов, систем контроля и диагностирования, радиоэлектронной аппаратуры и их элементов на базе решения проблем обеспечения надежности их работы и экологической безопасности окружающей среды».

По диссертационной работе Кузнецова А.С. могут быть сделаны следующие замечания:

1. В разделе 3.3 диссертации для кластеризации множества проектных решений предложено использовать нейронную сеть Кохонена, однако не обосновано почему использован именно этот метод, а не другие методы, на пример, метод К-средних, BIRCH или др.

2. На странице 45 рассмотрено применение метода обхода графа в глубину. Однако не приведены данные по вычислительной сложности предлагаемого алгоритма обхода графа в глубину. Также не рассмотрены альтернативные методы обхода графа.

3. В параграфе 3.3 в комплексный показатель качества входит параметр стоимости проектного решения. Однако не понятно почему в параграфе 4.3, в процессе ранжирования проектных решений он отсутствует.

4. Для большей информативности в программных формах, отображенных на рисунках 4.2 и 4.5, желательно использовать выноски, описывающие дополнительную информацию.

5. На страницах 13 и 25 обнаружен ряд технических помарок и стилистических ошибок.

Отзыв на диссертацию Кузнецова Андрея Сергеевича «Методика повышения эффективности проектных решений конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры на ранних этапах проектирования» обсужден и одобрен на заседании кафедры «Проектирование и технология производство электронной аппаратуры» (ИУ-4) МГТУ им. Н. Э. Баумана.

### **Заключение.**

Указанные замечания не являются критическими и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа «Методика повышения эффективности проектных решений конструкций бортовой радиоэлектронной аппаратуры на ранних этапах проектирования» соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013,

предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её автор, Кузнецов Андрей Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.9. «Проектирование и технология приборостроения и радиоэлектронной аппаратуры» (технические науки).

Зав. каф. МГТУ им. Н.Э. Баумана  
заслуженный деятель науки РФ,  
докт. техн. наук, профессор



В.А. Шахнов

**Адрес:** 105005, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Басманный,  
ул. 2-я Бауманская, д. 5, с. 1.

**Тел.:** +7 (499) 263 63 91, адрес электронной почты: [bauman@bmstu.ru](mailto:bauman@bmstu.ru)

На включение персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку согласны.

С отзывом ознакомлен  
02.12.2024.

