

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

доктора технических наук Долженкова Николая Николаевича на диссертационную работу Петрова Ивана Алексеевича «Методика автоматизированной компоновки блоков БРЭО и трассировки коммуникаций на этапах разработки ЛА», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 — Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов

### **Актуальность темы диссертации**

В настоящий момент отчетливо прослеживается тенденция по увеличению функционала и усложнению комплекса бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО). При этом увеличивается количество блоков и связывающих их жгутов. Несмотря на успехи в направлении снижения массы и габаритов, повышения защищенности и т.д., а также достижений в области интеграции и комплексирования, существует большое количество различных требований к размещению БРЭО и в обозримом будущем эти ограничения не будут устранены.

В общемировой практике явно прослеживается тренд на все более широкое применение вычислительной техники и замещение человеческого труда. Однако, задача компоновки сложно формализуема и не может быть в явном виде перенесена на ЭВМ. Разработка специализированного ПО очень трудозатратно, поэтому были автоматизированы рутинные действия за счет внедрения систем автоматизированного проектирования (САПР), которые являются лишь инструментом и никак не участвуют в принятии решения. Даже варьирование позиции элементов осуществляется по команде человека.

Другой тренд проектно-конструкторских работ заключается во все большей потребности в снижении рисков, сроков, трудозатрат и т.д. Поэтому требуется следующий шаг в автоматизации, который можно сделать путем разработки ПО, позволяющего частично автоматизировать процедуру разработки новых вариантов компоновки и их оценки.

Представленная диссертация своей целью ставит разработку методики автоматизированной компоновки с учетом современных требований размещения БРЭО и достижений комбинаторной оптимизации, где в качестве критерия выступает масса межотсечных коммуникаций. Это позволит программе генерировать множество вариантов на основании допустимых комбинаций и оценивать их в автоматическом режиме.

Таким образом, диссертация Петрова И.А. посвящена актуальной научно-технической проблеме.

### **Научная новизна**

В отличие от предыдущих работ по данной теме, основанных на рецепторных моделях или трехмерных матрицах, методика Петрова И.А. предлагает поэтапное решение сначала в одномерном представлении, затем

в псевдотрехмерном. Это позволяет значительно снизить требуемую вычислительную мощность и время расчета.

Кроме этого, этапы выделены таким образом, что их можно сопоставить с типовыми задачами из сферы информационных технологий, например – трассировка пути в навигаторе. Это позволяет использовать широко известные и эффективные алгоритмы.

### **Практическая значимость**

Диссертация содержит алгоритмы, которые могут быть использованы при разработке собственного ПО в области автоматизации компоновки. Алгоритмы подробно описаны и легко модифицируемы, что актуально в условиях быстро меняющихся требований электронному макету и размещению БРЭО. Это особенно важно, т.к. ряд предыдущих разработок по данной теме невозможно реализовать в современном ПО и адаптировать под современные требования. Также в рамках выполнения работы было создано ПО, которое может быть внедрено в практическую деятельность проектных организаций после доработок под специфику конкретного предприятия.

Особую практическую ценность работы подчеркивает то, что результаты внедрены на эскизном проекте среднего военно-транспортного самолета и получен акт внедрения в ПАО «Ил».

### **Апробация и достоверность**

Подтверждается решением верификационных задач, результаты которых очевидны для человека. Кроме этого, проведено тестирование на специально разработанном условном учебно-тренировочном самолете. Также получен акт внедрения с ПАО «Ил» на программе перспективного транспортного самолета. Данный объем выступлений и публикаций достаточен для того, чтобы считать результаты работы достоверными.

### **Оценка структуры и содержание диссертации**

Диссертация включает 4 главы, введение, заключение, список литературы и 8 приложений. Автореферат полностью соответствует тексту диссертации. Общий объем составляет 147 машинописных страниц.

Введение содержит требуемые структурные единицы, такие как: актуальность, цели и задачи исследования, описание предмета и объекта исследования, выносимые на защиту положения, а также сведения об апробации и публикациях.

Первая глава посвящена анализу текущего состояния проблемы и выбору направления выполнения исследования. Для этого сформирована математическая постановка, определено место и формализован процесс компоновки, зафиксированы требования к методам решения.

Вторая глава посвящена разработке дискретной модели компоновки и созданию методики решения задачи. Для этого выполнен анализ ограничений на размещение БРЭО, на основании чего предложены модели представления компоновки в одномерном и плоскостном виде. Достоверность подтверждается статистическим анализом размещения БРЭО на самолетах,

который подтверждает достоверность сделанных предположений. На основе предложенных моделей сформирована методика поэтапного решения задачи.

Третья глава посвящена алгоритмам решения задачи и их программной реализации на языке C++. Исходя предлагаемой методики, состоящей из двух этапов, выбраны три типовых задачи из комбинаторной оптимизации. Для этих задач проведено сравнение существующих алгоритмов и анализ на соответствие требованиям, сформированным в первой главе. Приведены подробные схемы как частных, так и общего алгоритма, а также схемы для программной реализации. Эти схемы представляют наибольший практический интерес и на их основании может быть создано новое ПО.

Четвертая глава диссертации посвящена верификации, тестированию и апробации разработанного ПО. Верификация заключается в решении на ПО условных задач и проверке полученных результатов человеком. При тестировании проводилась автоматизированная компоновка условного учебно-тренировочного самолета, во время которой собрана статистическая информация и проведена оптимизация ПО, что позволило повысить производительность в несколько раз. В рамках апробации разработаны рекомендации для эскизного проекта среднего военно-транспортного самолета, позволяющие снизить протяженность коммуникаций на 37%, что подтверждается актом внедрения с предприятия.

Заключение содержит основные результаты диссертационного исследования и выводы по проделанной работе.

### **Замечания к диссертационной работе**

Необходимо отметить следующие недостатки:

1. Область применения предлагаемой методики – только ранние этапы (эскизный и технический проект). Методика достаточно ограничена и не может применяться на более поздних этапах;
2. Не учитываются центровочные характеристики;
3. Реализация электромагнитной совместимости в виде задания пороговых воздействий недостаточна;
4. Эмуляция резервируемости (защищенности) недостаточна;
5. Некоторые блок схемы в третьей главе сложно читаются из-за неудачного формата;

Данные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку работы.

### **Рекомендации**

1. Добавить оценку по массово-центровочным характеристикам;
2. Расширить функционал эмуляции электромагнитной совместимости за счет блоков, несовместимых друг с другом в рамках одного отсека;
3. Расширить функционал эмуляции требований защищенности возможностью запретить размещать блоки в группе отсеков (например, если блоки основной системы размещено по левому

борту, то блок резервной системы можно размещать только на правом борту);

4. Более подробно описать программную реализацию;

### **Заключение**

Характеризуя диссертационную работу в целом, следует отметить полноту и законченность выполненного исследования, серьезность проработки решаемых задач, а также использование лучших мировых решений в области комбинаторной оптимизации. Достаточно смелым решением диссертанта является выбор плоскостей в трехмерном пространстве в качестве основной геометрической модели, что не характерно для традиционных решений в сфере автоматизации компоновки ЛА, в которых в последнее время все чаще применялись рецепторные или сеточные трехмерные модели.

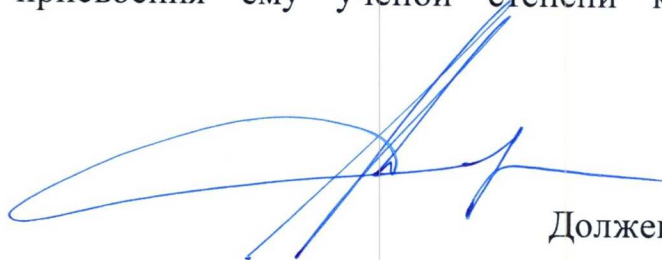
Текст диссертации, представленной к рассмотрению, идентичен тексту диссертации, размещенному на сайте ВАК.

Автореферат полностью соответствует тексту работы, в нем изложены все необходимые структурные элементы.

Диссертация соответствует всем требованиям Положения о присуждении научных степеней.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что рассмотренная диссертация «Методика автоматизированной компоновки блоков БРЭО и трассировки коммуникаций на ранних этапах проектирования ЛА» в полной мере соответствует паспорту научной специальности 05.07.02 — Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов, а сам Петров Иван Алексеевич заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата технических наук.

Генеральный конструктор  
д.т.н



Долженков Н.Н.

Подпись Долженкова Н.Н. удостоверяю:  
Начальник отдела кадров



Родионова Е.В.

МФБН АО «Кронштадт»

Адрес: 115432, г. Москва, пр. Андропова, д. 18, корп. 9, БЦ "Декарт"

Тел.: (495) 123-45-67

Факс: (495) 748 35 87