

УДК 338.45

**ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ОТРАСЛЕВОЙ СИСТЕМЫ  
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ В АВИАЦИОННОМ  
ПРИБОРОСТРОЕНИИ**

**П.П. Парамонов, Ю.А. Гатчин, И.О. Жаринов, О.О. Жаринов, М.С. Дейко**

Рассматриваются принципы построения отраслевой системы автоматизированного проектирования бортового авиационного оборудования. Приведены маршруты проектирования изделий, функциональная схема программного обеспечения отраслевой системы проектирования. Описаны аппаратные решения реализации системы автоматизированного проектирования на базе локальной вычислительной сети приборостроительного предприятия.

**Ключевые слова:** отраслевая система автоматизированного проектирования, авиационное оборудование.

**Введение**

Современные тенденции развития приборостроительной отрасли в области проектирования бортового радиоэлектронного оборудования (БРЭО) неразрывно связаны с применением систем автоматизированного проектирования (САПР). Разработчики САПР предлагают различные универсальные программные инструменты, предназначенные для автоматизации отдельных этапов проектирования БРЭО. Известны, например, пакеты прикладных программ:

- трехмерного проектирования конструкций аппаратуры БРЭО – AutoCAD, Solidworks, UniGraphics;
- инженерных расчетов и моделирования тепловых полей, создаваемых аппаратурой БРЭО: BETAsoft, Sauna, Асоника-Т;
- моделирования электромагнитных полей, создаваемых аппаратурой БРЭО – OrCAD Family Release, GENESYS;
- спектрального анализа радиочастотных сигналов, генерируемых и принимаемых аппаратурой БРЭО – TESLA;
- моделирования прочностных и резонансных характеристик конструкций авиационных изделий – Samcef, Mecano, Boss Quattro;
- автоматической трассировки печатных плат с учетом трехмерной компоновки элементов монтажа – ACCEL EDA, PCAD;
- конструирования и разводки жгутов в трехмерном пространстве корпусов аппаратуры БРЭО – UG/Wiring;
- моделирования гидродинамических процессов в системах охлаждения авиационных изделий с учетом тепловыделения электрорадиоэлементов и физических процессов теплопереноса – Fine/Turbo;
- электронного моделирования радиотехнических сигналов и цепей – Cadence Design, Mentor Graphics, XILINX Foundation, ALTERA, MicroCap;
- проектирования программного обеспечения C/C++/C#, ADA и др.

Данные программные инструменты составляют основу автоматизации проектных технологий и являются законченными программными решениями. Специфичность форматов хранения и представления данных результатов проектирования в таких пакетах программ существенно влияет на уровень автоматизации процесса проектирования БРЭО в целом. Это связано в первую очередь с тем, что формат представления данных результатов проектирования какой-либо составной части изделия, полученного с применением САПР одного вида, оказывается несогласованным с форматом хранения и представления данных в САПР другого вида, применяемого на последующем, более позднем, этапе проектирования.

В таких случаях возникает потребность введения в технологические маршруты проектирования изделий «ручных» процедур подготовки (переформатирования) отдельных электронных документов, что существенно снижает эффект применения САПР и повышает суммарную трудоемкость разработки конструкторской, технологической и программной документации на изделие в целом.

Для исключения или минимизации объемов «ручных» работ в процессе проектирования все применяемые при разработке БРЭО средства САПР должны интегрироваться в единую отраслевую САПР [1], обладающую совместимыми форматами представления, хранения и передачи данных и поддерживающую все этапы жизненного цикла БРЭО – от маркетинговых исследований целесообразности разработки новых видов изделий до их последующей утилизации. Соответствующая функциональная схема взаимодействия разнородных средств САПР в составе единой отраслевой САПР поддержки жизненного цикла БРЭО приведена на рис. 1.

Как следует из рис. 1, интеграция разнородных средств САПР предполагает объединение технологических операций, реализуемых каждой из них в отдельности, в единую проектную среду «проектирование–производство–эксплуатация» [2]. Единая проектная среда обеспечит автоматизированную поддержку этапов жизненного цикла БРЭО и позволит исследовать и разрабатывать «сквозные» проектные технологии создания изделий, входящих в БРЭО, до их реализации в виде готовых физических объектов.



Рис. 1. Функциональная схема взаимодействия разнородных средств САПР в составе единой отраслевой САПР поддержки жизненного цикла БРЭО (CAE – Computer Aided Engineering; CAD – Computer Aided Design; CAM – Computer Aided Manufacturing; ECAD – Electronic Computer Aided Design; PDM – Product Data Management; ERP – Enterprise Resource Planning; MRP – Manufacturing Requirement Planning; MES – Manufacturing Execution System; SCM – Supply Chain Management; CRM – Customer Relationship Management; SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition; CNC – Computer Numerical Control; S&SM – Sales and Service Management; CPC – Collaborative Product Commerce; CASE – Computer Aided Software Engineering)

### Технологический цикл разработки, производства и испытаний БРЭО на основе отраслевой САПР

Технологический цикл разработки, производства и испытаний аппаратуры БРЭО на основе отраслевой САПР авиационного приборостроения представлен на рис. 2.

Как следует из рис. 2, основу технологического цикла разработки, производства и испытаний аппаратуры БРЭО составляют проектные процедуры структурного проектирования отдельных изделий, реализации их аппаратных и программных компонентов, поддержки задач технологической подготовки производства, изготовления и испытаний изделия. Существенной составляющей проектирования БРЭО является также этап комплексирования аппаратуры [3].

Основная задача комплексирования аппаратуры заключается в объединении методами структуризации разнородных приборов и устройств (изделие 1, изделие 2 и т.д.) в единый комплекс бортового оборудования. Объединение осуществляется на аппаратном и программном уровне через анализ информационных потоков аэродинамических, пилотажно-навигационных и др. параметров движения летательного аппарата и синтез структур БРЭО. Результатом этапа комплексирования аппаратуры является комплект документации на комплекс БРЭО. В соответствии с принятой терминологией комплекс БРЭО представляет собой систему более высокого порядка по отношению к отдельным ее компонентам.

Таким образом, задачу автоматизации этапов «проектирование–производство–эксплуатация» БРЭО на основе единой проектной среды отраслевой САПР авиационного приборостроения следует рассматривать как задачу создания такой интегрированной САПР, в составе которой:

- автоматизировались бы все основные проектные процедуры проектирования БРЭО;

– взаимодействие (обмен данными между приложениями) разнородных средств САПР осуществлялось бы на основе стандартизованных протоколов передачи информации, например, по стандартам группы STEP (Standard for the Exchange of Product).

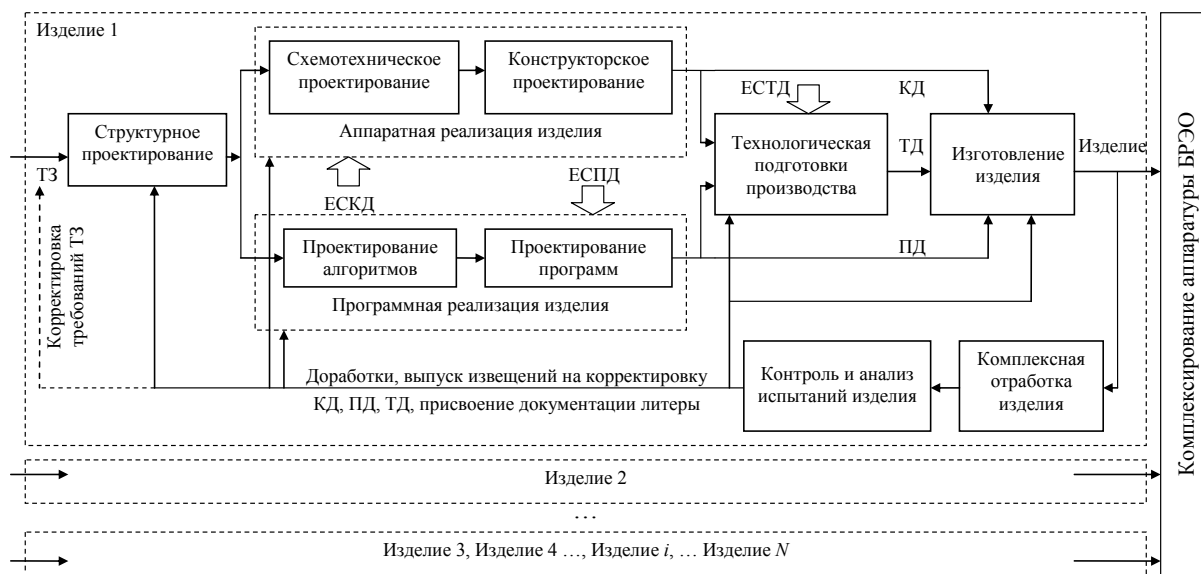


Рис. 2. Технологический цикл разработки, производства и испытаний аппаратуры БРЭО (КД – конструкторская документация; ТД – технологическая документация; ПД – программная документация; ЕСКД – единая система конструкторской документации; ЕСТД – единая система технологической документации; ЕСПД – единая система программной документации; ТЗ – техническое задание)



Рис. 3. Схема взаимодействия основных функциональных компонентов, автоматизирующих проектные процедуры создания аппаратуры комплексов БРЭО

Схема взаимодействия основных функциональных компонентов, автоматизирующих проектные процедуры создания БРЭО на основе отраслевой САПР, представлена на рис. 3.

Как следует из рис. 3, автоматизация этапа структурного проектирования изделия осуществляется средствами автоматизации процедур выбора оптимальной (по заранее введенному критерию) структуры изделия и процедур распределения функций между аппаратными и программными компонентами изделия. Методы выбора оптимальной структуры изделия в классе бортового приборного оборудования рассмотрены в работе [4], решение задачи «о назначении» функциональных задач на доступные вычислительные ресурсы БРЭО рассмотрено в [5]. Автоматизация этапа разработки аппаратной реализации изде-

лия осуществляется последовательно на основе автоматизации процедур схмотехнического проектирования и процедур разработки конструкции изделия. Методы автоматизации процедур схмотехнического проектирования и генерации проектных решений рассмотрены в работах [6] и [7] соответственно.

Автоматизация этапа разработки программной реализации изделия осуществляется последовательно на основе автоматизации процедур проектирования алгоритмического обеспечения и процедур автоматизации программирования. Методы автоматизации процедур проектирования алгоритмов и программ рассмотрены в работе [8].

Результатом автоматизации этапов разработки аппаратной и программной реализации изделия являются комплекты программной и конструкторской документации, представляющие собой основу (входные данные) для этапа технологической подготовки производства. Автоматизация технологической подготовки производства реализуется на основе принципов стандартизации и унификации технологических операций и технологических процессов с применением универсального станочного оборудования. При этом комплект КД на изделие трансформируется в формат 3-Dimension (3D)-моделей.

3D-модели служат основой для изготовления механических деталей изделия автоматизированным способом на станках с числовым программным управлением. Сборочное производство (поверхностный монтаж электрорадиоэлементов, изготовление многослойных печатных плат) также реализуется автоматизированным способом на основе маршрутных карт, преобразующих конструкторские документы в управляющие программы для тепловых печей и автоматизированных установщиков компонентов.

Автоматизация процедур контроля и испытаний изделия осуществляется вычислительными средствами диагностики, разрабатываемыми автоматизированным способом. В состав средств диагностики входят программные компоненты диагностических тестов исправности аппаратуры, входящие в состав комплекта программного обеспечения (ПО) изделия, аппаратные компоненты автоматизированных рабочих мест (АРМ) по проверке, настройке и регулировке аппаратуры и испытательное оборудование предприятия.

Таким образом, автоматизация основных процедур проектирования, изготовления и испытаний аппаратуры может быть осуществлена на основе интеграции специализированных компонентов САПР, взаимодействующих между собой посредством стандартизованных протоколов передачи информации.

Очевидным преимуществом создания отраслевой САПР является возможность ее обучения в процессе эксплуатации. В результате однократного применения формируются отраслевые библиотеки элементов автоматизации, пригодные для повторного использования на предприятиях приборостроительного профиля, уточняются принципы стандартизации и унификации в разработке, производстве и эксплуатации авиационного приборного оборудования, разрабатываются средства, обеспечивающие автоматизацию разработки самих средств автоматизации проектирования.

#### **Функциональная схема программного обеспечения отраслевой САПР и особенности ее применения**

Функциональная схема ПО типовой САПР АРМ разработчика БРЭО с различными формами взаимодействия «САПР<sub>i</sub> – файл результата проектирования» приведена на рис. 4.

В состав ПО отраслевой САПР входят компоненты взаимодействия ПО САПР с операционной системой инструментальной ЭВМ, на основе которой организовано АРМ разработчика аппаратуры БРЭО, и специализированные компоненты. Специализированные компоненты представлены совокупностью:

- инструментальной составляющей, осуществляющей математическую поддержку решения основных проектных задач и реализации основных проектных операций;
- рабочей составляющей, осуществляющей диалоговое взаимодействие разработчика аппаратуры и рабочей среды проектирования;
- компонентов общего назначения, реализующих невидимые для пользователя операции;
- программы-монитора, взаимодействующей с компонентами операционной системы инструментальной ЭВМ для функционирования универсальных процедур и функций ПО САПР.

Файл результатов проектирования отраслевой САПР формируется в рабочей оболочке САПР и доступен для передачи по локальной сети предприятия всем специализированным САПР<sub>i</sub>. Как следует из рис. 4, возможны два различных режима работы ПО САПР с файлами результатов проектирования: непосредственный, когда каждое прикладное ПО САПР<sub>i</sub> может обрабатывать (читать, редактировать) только файлы, разработанные в данной среде проектирования, и универсальный, когда файлы результатов проектирования, подготовленные в различных САПР, доступны для обработки прикладному ПО любой САПР на основе унифицированных методов доступа. Для построения отраслевой САПР БРЭО, очевидно, пригоден второй (универсальный) вариант.

Схема взаимодействия разнородных САПР<sub>i</sub> в составе единой отраслевой САПР авиационного приборостроения приведена на рис. 5.

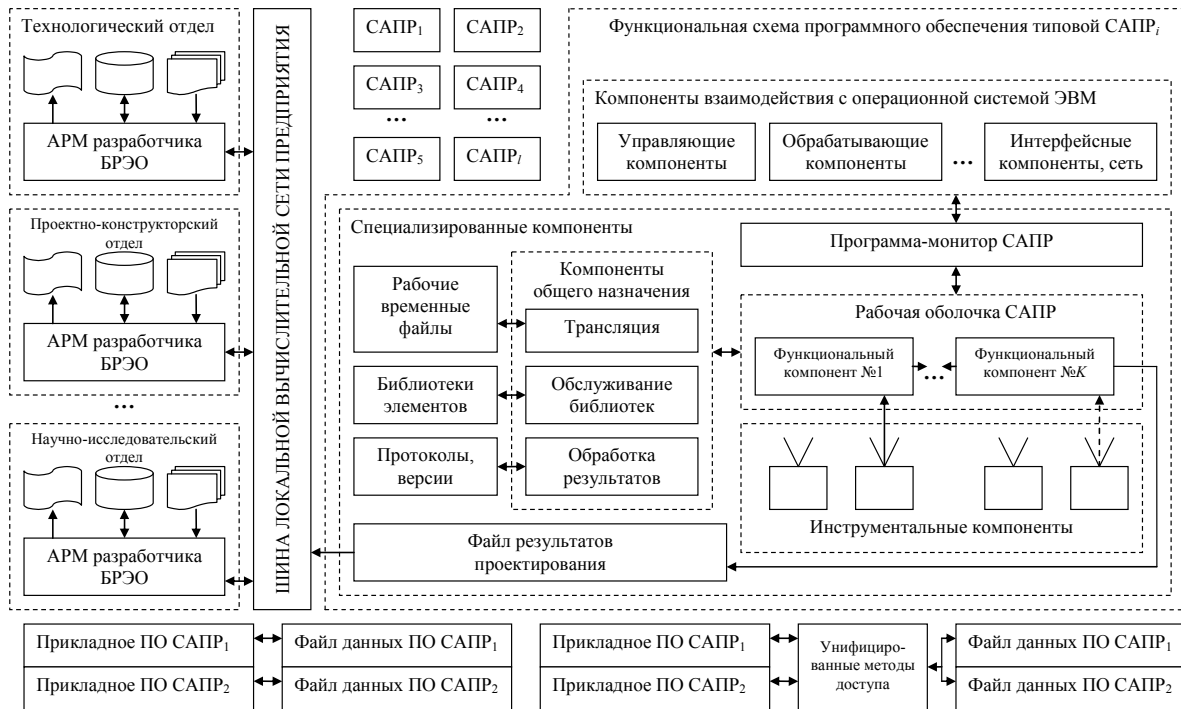


Рис. 4. Функциональная схема ПО типовой САПР автоматизированного рабочего места разработчика БРЭО с различными формами взаимодействия «САПР<sub>i</sub>– файл результата проектирования»



Рис. 5. Схема организации процесса сквозного проектирования изделий БРЭО на базе локальной вычислительной сети предприятия и центрального банка данных проектов предприятия

Взаимодействие разнородных САПР<sub>i</sub> в составе единой отраслевой САПР БРЭО осуществляется программным способом на основе интерфейсов преобразования данных (ИПД). Функция интерфейса заключается в нестандартизованных преобразованиях результатов проектирования САПР<sub>i</sub>, хранящихся в локальном банке данных (ЛБД) этой САПР, в вид, пригодный для ввода этих данных в САПР<sub>i+1</sub> и для последующей обработки. Функцию преобразования (технологический переход) данных  $q_i$  в  $q_{i+1}$  осуществляет оператор  $f_i$  (оператор преобразования форматов). Физический обмен данными между разнородными САПР осуществляется через технические средства шины локальной вычислительной сети предприятия и специализированное сетевое программное обеспечение (СПО).

Как следует из рис. 5, все технические отделы, принимающие участие в разработке конструкторской, технологической и программной документации, имеют доступ к локальной вычислительной сети предприятия. Доступ осуществляется через подключенные унифицированные АРМ разработчиков БРЭО.

Результаты проектирования бортового авиационного оборудования с использованием отраслевой САПР хранятся в центральном банке данных (ЦБД) предприятия, доступ к которому также осуществляется с АРМ разработчиков через ИПД. В ЦБД хранятся разрабатываемые предприятием алгоритмы и программы функционирования (АПФ) БРЭО; документация на изделия; нормативно-справочная инфор-

мация (НСИ) – описание изделий, описание материалов, описание технологических процессов; справочная научно-техническая информация (СНТИ) – описание авторских изобретений, патентов, результатов выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР); программное обеспечение разработки конструкторской и технологической документации (ПО РКТД).

### Заключение

Исследования проблемы построения отраслевых САПР авиационного приборостроения проводятся сегодня как в нашей стране, так и за рубежом. В частности, известны работы [9] в области разработки технологий сквозного проектирования авиационного оборудования в США, которые получили название АТИР (Avionics Technology Integrated and Prototyping). Технология АТИР была впервые использована в качестве элемента САПР исследовательских стадий проектирования компаниями Boeing и Lockheed Martin в процессе выполнения НИОКР AVSEP (Avionics Virtual Systems Engineering and Prototyping) при разработке архитектуры БРЭО многоцелевого ударного истребителя-бомбардировщика F35 по программе Joint Strike Fighter [10]. Проведение НИОКР AVSEP позволило американским разработчикам БРЭО определить основные процедуры итерационного процесса проектирования, посредством которого проектные организации должны осуществлять переход от утвержденной концепции построения БРЭО к конкретному составу блоков (модулей), являющихся материализацией технического облика комплекса.

В нашей стране, в современных рыночных условиях проблема автоматизации решения проектных задач имеет ключевое значение для успешного функционирования предприятия приборостроительного профиля. Создание отраслевой САПР авиационного приборостроения имеет стратегическую направленность и способствует техническому и программному переоснащению проектного и производственного оборудования промышленных предприятий. Применение отраслевой САПР авиационного приборостроения жестко не связано со структурой предприятия и возможно практически на любом предприятии авиационной отрасли.

Рассмотренные элементы отечественной отраслевой САПР были апробированы на практике. Экспериментально полученные оценки длительности проведения НИОКР с использованием элементов отраслевой САПР и без них представлены на рис. 6. Нетрудно видеть, что длительность этапов проектирования комплекса БРЭО с использованием средств САПР составляет 7 лет (кривая 1), без использования средств САПР – 9 лет (кривая 2), с применением САПР и принципов преемственности, унификации и стандартизации разработок – 4,5 года (кривая 3). Таким образом, эффект от автоматизации проектных процедур выражается в сокращении продолжительности этапов проектирования БРЭО на 2–4,5 года.

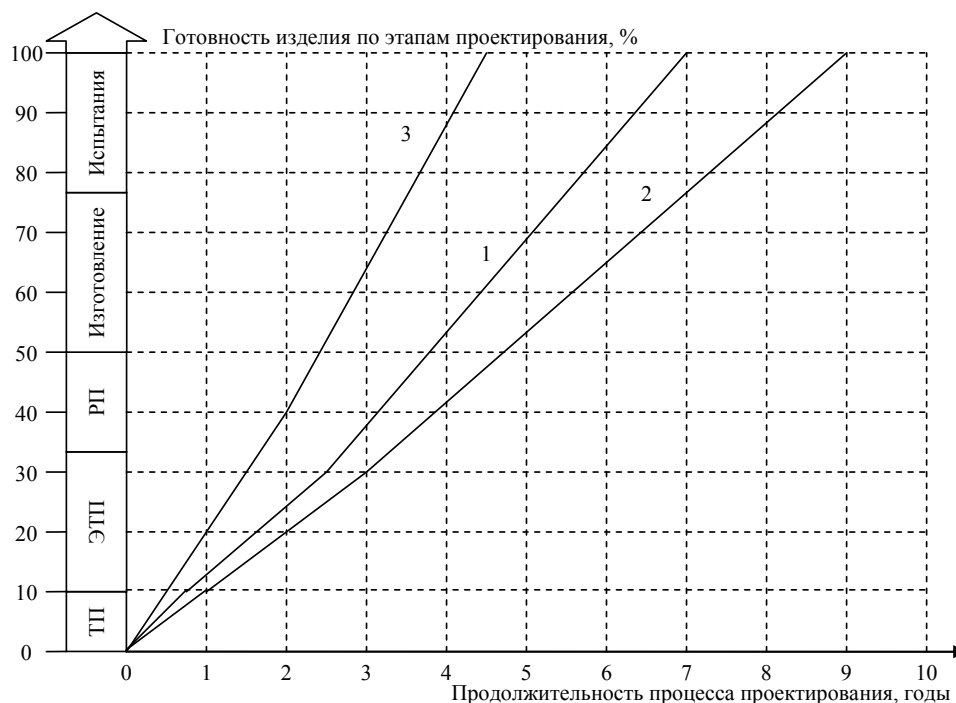


Рис. 6. Экспериментальные оценки длительности проведения НИОКР по разработке, производству и испытаниям комплексов БРЭО: а) с использованием средств САПР (кривая 1); б) без использования средств САПР (кривая 2); в) с использованием принципов унификации и стандартизации аппаратно-программных разработок предприятия (кривая 3): ТП – техническое предложение; ЭТП – эскизно-технический проект (объединение этапов эскизного и технического проектирования); РП – рабочее проектирование) на основе отраслевой САПР

### Литература

1. Гатчин Ю.А., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Архитектура программного обеспечения автоматизированного рабочего места разработчика бортового авиационного оборудования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 2 (78). – С. 140–141.
2. Гатчин И.Ю., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Косенков П.А. Реализация жизненного цикла «проектирование–производство–эксплуатация» бортового оборудования на предприятиях авиационной промышленности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 2 (78). – С. 141–143.
3. Андреев Л.В., Богословский С.В., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О., Парамонов П.П., Сабо Ю.И. Формализация вектора наблюдений измерительного комплекса беспилотных летательных аппаратов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 11. – С. 23–27.
4. Сабо Ю.И., Жаринов И.О. Критерий подобия проектных решений требованиям технического задания в авионике // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3 (67). – С. 57–63.
5. Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Декомпозиционные методы в задачах распределения вычислительных ресурсов многомашинных комплексов бортовой авионики // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 1. – С. 2–5.
6. Гатчин Ю.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Жаринов О.О. Метод автоматизированного проектирования аппаратных средств бортового оборудования // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 5. – С. 5–10.
7. Шек-Иовсепянц Р.А., Жаринов И.О. Генерация проектных решений бортового оборудования с использованием аппарата генетических алгоритмов // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 3 (67). – С. 67–70.
8. Суслов В.Д., Шек-Иовсепянц Р.А., Видин Б.В., Жаринов И.О., Немолочнов О.Ф. К вопросу об унификации бортовых алгоритмов комплексной обработки информации // Изв. вузов. Приборостроение. – 2006. – Т. 49. – № 6. – С. 39–40.
9. Алакоз Г.М., Котов А.В., Курак М.В. и др. Вычислительные наноструктуры: в 2 ч. Ч. 1. Задачи, модели, структуры. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 487 с.
10. Craig E. Steidle. The Joint Strike Fighter Program // Johns Hopkins Apl Technical Digest. – 1997. – № 1. – V. 18. – P. 6–20.

- Парамонов Павел Павлович** – ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П. А. Ефимова», доктор технических наук, профессор, директор, postmaster@elavt.spb.ru
- Гатчин Юрий Арменакович** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой, gatchin@mail.ifmo.ru
- Жаринов Олег Олегович** – Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, кандидат технических наук, доцент, zharinov@hotmail.ru
- Жаринов Игорь Олегович** – ФГУП «СПб ОКБ «Электроавтоматика» имени П. А. Ефимова», доктор технических наук, доцент, руководитель учебно-научного центра, igor\_rabota@pisem.net
- Дейко Михаил Сергеевич** – Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, студент, postmaster@elavt.spb.ru