

Интеграция САПР радиоэлектронных средств на основе CALS-технологий

Генеральный директор ООО "НИИ "АСОНИКА", профессор Шалумов А.С.

Необходимо в развитие **комплекса стандартов Министерства обороны РФ "МОРОЗ-6"** создание автоматизированной системы управления полным индустриальным циклом производства радиоэлектронных средств – от моделирования и проектирования до серийного выпуска, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации

Цели:

Обеспечение выполнения одного из важнейших пунктов Указа Президента РФ В.В.Путина от 7 мая 2012 г. N 603 "О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса": «...1. Правительству Российской Федерации обеспечить:... создание системы управления полным индустриальным циклом производства вооружения, военной и специальной техники – от моделирования и проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации...» на основе создаваемых в проекте:

1) вертикально интегрированной системы автоматизированного проектирования (ВИСАП) радиоэлектронных средств (РЭС) АСОНИКА, которая обеспечит автоматизированное проектирование РЭС в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов (тепловых, механических, электромагнитных, радиационных и др.) в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование-производство-эксплуатация;

2) автоматизированной системы управления полным индустриальным циклом производства (АСУПИЦП) РЭС АСОНИКА – от моделирования радиоэлектронных средств и проектирования до серийного выпуска, которая обеспечит:

- повышение качества проектирования РЭС;
- исключение критических ошибок при проектировании РЭС;
- сокращение времени и трудоемкости работ по проектированию РЭС;
- достижение полного охвата всех 11-и этапов жизненного цикла продукции от маркетинговых исследований и до утилизации в соответствии со стандартами CALS-технологий;
- учет наиболее полного спектра воздействующих факторов – механических, тепловых, электромагнитных, радиационных;
- снижение сроков и затрат на проектирование за счет доступности разработчику РЭС предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования.

Задачи:

— комплексное моделирование взаимосвязанных разнородных физических процессов (электрических, тепловых, механических, электромагнитных и радиационных) в схемах и конструкциях РЭС, обусловленных как процессами функционирования аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и процессами их износа и старения;

— анализ:

- 1) механических процессов в объемных конструкциях РЭС;
- 2) механических процессов в конструкциях РЭС, установленных на виброизоляторах;
- 3) тепловых процессов в конструкциях РЭС;
- 4) тепловых и механических процессов в конструкциях печатных узлов РЭС;
- 5) электромагнитных процессов в РЭС;
- 6) радиационных процессов в РЭС;
- 7) электрических процессов в схемах;

— формирование интегрированной базы данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам;

— создание структуры и программная реализация ВИСАП РЭС АСОНИКА, которая должна предусматривать, что в процессе проектирования, в соответствии с требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании ВИСАП-УМ АСОНИКА (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели сложного РЭС;

— построение специального многокомпонентного программного комплекса анализа и обеспечения стойкости аппаратуры к внешним воздействующим факторам и надежности, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемого РЭС, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, механические, электромагнитные и радиационные процессы в аппаратуре, осуществляют диагностическое моделирование, анализ показателей надежности, а также позволяют интегрироваться с известными системами топологического проектирования печатных плат и известными CAD-системами);

— проектирование и производство РЭС на базе непрерывной информационной поддержки всего жизненного цикла разрабатываемой продукции (CALS-идеологии) с помощью автоматизированной системы управления полным индустриальным циклом производства РЭС – от моделирования и проектирования до серийного выпуска.

Степень проработанности проекта высокая, получены результаты маркетинговых исследований, используемых при разработке. Были проведены детальные маркетинговые исследования российского и мирового рынков. Проведенные маркетинговые исследования показали, что ВИСАП РЭС АСОНИКА может ориентироваться на потенциальный рынок в тысячи

пользователей и на использование государственными и коммерческими организациями (малый и средний бизнес, крупные предприятия), физическими лицами.

Уровень возможного спроса достаточно высокий, причем не только в России, но и за рубежом. Разрабатываемая система является продуктом двойного назначения. Система может использоваться не только для создания радиоэлектронных средств военной техники (ракет, самолетов, космических аппаратов, подводных лодок, танков и др.), но и гражданского назначения (компьютеров, в том числе супер-ЭВМ, источников питания, мобильных телефонов и др.). Так как радиоэлектронные средства применяются практически везде и при этом даже стационарная аппаратура подвергается воздействию внешних факторов (например, при транспортировании), социально-экономическая значимость проекта высокая. Влияние простирается на многие сферы и отрасли, не зависящие друг от друга. Результат проекта - автоматизированная система - будет производиться массово.

Создаваемая в проекте технология – это будет единственная в России технология, позволяющая осуществить сквозное проектирование высоконадежных сложных РЭС от технического задания (ТЗ) и до изготовления опытного образца. Созданный электронный макет впервые позволит реализовать CALS-технологии в электронике на всех 11 стадиях жизненного цикла РЭС от маркетинговых исследований и до утилизации.

Данный проект также направлен на то, чтобы ликвидировать недостаток квалифицированных кадров на предприятиях ракетно-космической отрасли, способных решать следующие задачи:

- 1) комплексное моделирование взаимосвязанных разнородных физических процессов в схемах и конструкциях РЭС;
- 2) системное обучение инновационной исследовательской деятельности в области моделирования высоконадежных РЭС;
- 3) выявление системных отказов, возникающих при взаимодействии наложенных друг на друга нескольких физических процессов;
- 4) использование в учебном процессе мотивационных механизмов и психологических аспектов восприятия и обучения принципам инновационной исследовательской деятельности, позволяющее снять психологические барьеры, связанные с восприятием новой информации при обучении моделированию, значительно сократить сроки обучения и повысить его эффективность.

Предлагаемые для разработки вертикально интегрированная система автоматизированного проектирования РЭС и автоматизированная система управления полным индустриальным циклом производства РЭС – от моделирования и проектирования до серийного выпуска не будут иметь аналогов или сопоставимых прототипов в области моделирования высоконадежных РЭС как в России, так и за рубежом.

Научно-технический уровень планируемого результата будет соответствовать мировому уровню.

Ожидаемые результаты:

1. Модели, методы, методики, методология

1) унифицированные комплексные модели электрических, тепловых, механических, электромагнитных и радиационных процессов РЭС, системная комплексная модель, а также электронный (виртуальный) макет РЭС;

2) методика синтеза моделей электрических, тепловых, механических, электромагнитных и радиационных процессов РЭС;

3) единая актуализирующаяся база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам;

4) методы повышения стойкости РЭС к внешним дестабилизирующим факторам и повышения надежности с учетом комплексного воздействия внешних дестабилизирующих факторов при одновременном снижении массогабаритных характеристик;

5) методология синтеза и анализа проектных решений РЭС при внешних дестабилизирующих воздействиях.

2. Вертикально интегрированная система автоматизированного проектирования (ВИСАП) радиоэлектронных средств (РЭС) АСОНИКА, которая обеспечит автоматизированное проектирование РЭС в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов (тепловых, механических, электромагнитных, радиационных и др.) в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование-производство-эксплуатация.

Многокомпонентный программный комплекс должен управлять процессом отображения результатов модельных экспериментов на геометрической модели, входящей в состав электронного макета, а также преобразовывать электронный макет после его обработки в формат стандарта ISO 10303 STEP. Данные, входящие в электронный макет, используются на последующих стадиях жизненного цикла РЭС.

ВИСАП РЭС АСОНИКА должна включать в себя следующие 13 компонентов (см. рис.1):

1) ВИСАП-М: анализ и обеспечение стойкости объемных конструкций РЭС к механическим воздействиям;

2) ВИСАП-В: анализ и обеспечение стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах;

3) ВИСАП-Т: анализ и обеспечение стойкости конструкций РЭС к тепловым воздействиям;

4) ВИСАП-ТМ: анализ и обеспечение стойкости конструкций печатных узлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям;

5) ВИСАП-ЭМС: анализ и обеспечение электромагнитной совместимости РЭС, расчет эффективности экранирования электрического и магнитного поля;

6) ВИСАП-РАД: анализ и обеспечение радиационной стойкости РЭС;

7) ВИСАП-Р: автоматизированное заполнение карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ) с учетом реальных режимов эксплуатации;

8) ВИСАП-Н: анализ и обеспечение показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ;

9) ВИСАП-УМ: управление моделированием РЭС при проектировании (на ее базе будет разработана автоматизированная система управления полным промышленным циклом производства РЭС – от моделирования и проектирования до серийного выпуска);

10) модуль интеграции подсистем моделирования электрических процессов в схемах PSpice, Mentor Graphics, Altium Designere и компонентов ВИСАП-Р, ВИСАП-Н;

11) модуль интеграции подсистем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD и компонента ВИСАП-ТМ;

12) модуль интеграции 3-D модели, созданной в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, и компонента ВИСАП-М;

13) ВИСАП-БД - интегрированная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам.

Структура ВИСАП РЭС АСОНИКА (см. рис.1) должна предусматривать, что в процессе проектирования, в соответствии с требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании ВИСАП-УМ (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели РЭС.

С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в компоненте ВИСАП-УМ и передается в виде файла в системы анализа электрических схем PSpice, Mentor Graphics и Altium Designere и в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere и OrCAD. Выходные файлы системы PCAD в формате PDIF и Mentor Graphics, Altium Designere и OrCAD в формате IDF сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ, а также передаются в системы КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks для создания чертежей и сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ. В компонент ВИСАП-УМ также передаются 3-D модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks в форматах IGES и SAT, которые передаются из него в компоненты ВИСАП-М и ВИСАП-В (1) для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, в компонент ВИСАП-Т (3) для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках РЭС. Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ (2, 4). Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах PDIF и IDF передаются из компонента ВИСАП-УМ в компонент ВИСАП-ТМ (5) для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ. Кроме того, передаются температуры

воздуха в узлах, полученные в компоненте ВИСАП-Т, а также ускорения опор, полученные в компоненте ВИСАП-М (6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ (7). Перечень ЭРИ (8), файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (9), температурами и ускорениями ЭРИ (10), результаты электромагнитного (15) и радиационного (16) анализа, полученные в компонентах ВИСАП-ЭМС и ВИСАП-РАД передаются из компонента ВИСАП-УМ в компонент ВИСАП-Н. Полученные в результате показатели надежности РЭС сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ (11). Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (12), температурами и ускорениями ЭРИ (13) передаются из компонента ВИСАП-УМ в компонент ВИСАП-Р. Полученные в результате карты рабочих режимов сохраняются в компоненте ВИСАП-УМ (14). Необходимые для всех компонент геометрические, физико-механические, теплофизические, электрические, электромагнитные, радиационные и надежность параметры электрорадиоизделий и материалов передаются из интегрированной базы данных ВИСАП-БД (17).

3. Автоматизированная система управления полным индустриальным циклом производства РЭС – от моделирования и проектирования до серийного выпуска положит начало развитию и внедрению CALS-технологий на предприятиях космической отрасли. Практические и инновационные результаты работы состоят в следующем. Интеграция программных продуктов позволяет осуществить сквозное автоматизированное проектирование РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Язык интерфейса пользователя с программами является максимально приближенным к языку разработчика РЭС. На освоение предлагаемых программ требуется сравнительно малое время. При их внедрении достигается достаточно высокая скорость решения задач моделирования и значительная экономия материальных средств за счет сокращения количества испытаний. Повышается надежность и качество РЭС, проектируемой на основе предлагаемой интегрированной САПР.

Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне электронной модели РЭС, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятым компонентом и компонентом ВИСАП-УМ. Данные интерфейсы обеспечивают преобразование совокупности информационных объектов электронной модели РЭС, описывающих исходные данные для целевого компонента, в файлы проекта данного компонента и наоборот – преобразование файлов проекта исходного компонента в совокупность информационных объектов электронной модели РЭС и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, обеспечивая однозначность представления информации в электронной модели РЭС.

Области применения, способы использования ожидаемых результатов:

Разрабатываемая система позволит получать следующие выходные характеристики РЭС, необходимые для анализа и обеспечения стойкости к внешним воздействующим факторам:

- ВИСАП-Т:

1) температуры участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ в узлах модели при стационарном тепловом режиме;

2) зависимость температуры от времени в контрольной точке конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ при нестационарном тепловом режиме;

3) температуры участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ в различные моменты времени при нестационарном тепловом режиме;

- ВИСАП-М:

1. При гармонической вибрации:

1) зависимость виброускорения от частоты в контрольной точке конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

2) амплитуды виброускорений, виброперемещений и механических напряжений участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ на резонансных частотах;

3) амплитуды виброускорений и коэффициенты механической нагрузки ЭРИ;

4) резонансные частоты ЭРИ;

5) максимальные амплитуды механических напряжений в выводах ЭРИ;

6) минимальное время до усталостного разрушения выводов ЭРИ.

2. При случайной вибрации:

1) зависимость спектральной плотности виброускорения от частоты в контрольной точке конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

2) среднеквадратические значения виброускорений, виброперемещений и механических напряжений участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

3) среднеквадратические значения виброускорений и коэффициенты механической нагрузки ЭРИ;

4) резонансные частоты ЭРИ;

5) среднеквадратические значения механических напряжений в выводах ЭРИ;

6) время до усталостного разрушения выводов ЭРИ.

3. При ударном воздействии:

1) зависимость ударного ускорения от времени в контрольной точке конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

2) максимальные ускорения, перемещения и механические напряжения участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

3) максимальные ускорения и коэффициенты механической нагрузки ЭРИ.

4. При линейном ускорении:

1) зависимость ускорения от времени в контрольной точке конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

2) максимальные ускорения, перемещения и механические напряжения участков конструкции шкафа, стойки, блока, ПУ;

3) максимальные ускорения и коэффициенты механической нагрузки ЭРИ;

- ВИСАП-В:

1) зависимости амплитуд виброускорений и виброперемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от частоты гармонического вибрационного воздействия;

2) резонансные частоты элементов конструкции РЭС на виброизоляторах;

3) среднеквадратические значения виброускорений и виброперемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах при воздействии случайной вибрации;

4) зависимости спектральной плотности виброускорений и виброперемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от частоты случайной вибрации;

5) зависимости ударных ускорений и перемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от времени;

6) зависимости ускорений и перемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от времени при воздействии линейного ускорения;

7) среднеквадратические значения ускорений и перемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах при воздействии акустического шума;

8) зависимости спектральной плотности ускорений и перемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от частоты акустического шума;

9) зависимости ускорений и перемещений элементов конструкции РЭС на виброизоляторах от времени при детерминированном сложном механическом воздействии;

- ВИСАП-ТМ:

1) амплитудно-частотные или амплитудно-временные характеристики, в зависимости от типа воздействия, значений температур, ускорений, прогибов, перемещений, напряжений в контрольных точках и узлах конструкции печатного узла, а также на отдельных ЭРИ;

2) поля механических и тепловых характеристик в печатном узле при заданном значении времени или частоты;

3) поля температурных напряжений в печатном узле;

4) деформации конструкции печатного узла;

5) таблицы максимальных и допустимых напряжений в конструктивных элементах конструкции печатного узла, на основе которых разработчиком может быть принято проектное решение;

б) карты тепловых и механических режимов работы ЭРИ с указанием коэффициентов нагрузки и перегрузок, если таковые имеются, на основе которых разработчиком может быть принято проектное решение;

- ВИСАП-Н:

1) показатели безотказности: вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и средняя наработка до отказа;

2) показатели долговечности: ресурс РЭС и время до усталостного разрушения выводов ЭРИ;

- ВИСАП-ЭМС:

1) сопротивление и индуктивность печатных проводников, емкость и взаимная индуктивность в парах проводников;

2) напряженность электрического и магнитного поля в конструкции РЭС;

- ВИСАП-РАД:

дозы облучения и коэффициенты нагрузки всех ЭРИ.

Планируемый результат не будет иметь аналогов или сопоставимых прототипов как в России, так и за рубежом. Научно-технический уровень планируемого результата будет соответствовать мировому уровню.

Технический и экономический эффекты от внедрения ВИСАП РЭС АСОНИКА в практику проектирования высоконадежных РЭС обусловлены:

- повышением показателей надежности разрабатываемых РЭС ввиду уменьшения влияния человеческого фактора на адекватность результатов моделирования, вследствие использования специализированных графических интерфейсов синтеза РЭС и визуализации результатов моделирования;

- сокращением сроков и затрат проектирования высоконадежных РЭС с учетом требований нормативной документации по электрическим, тепловым, механическим и другим характеристикам за счет уменьшения количества промежуточных вариантов опытных образцов и снижения трудоемкости конструкторских работ;

- доступностью использования программных средств конструктором, не имеющим специализированных знаний расчетчика;

- возможностью оперативно проводить анализ и синтез проектных решений РЭС при комплексных воздействиях, а также возможностью обеспечения стойкости РЭС к внешним дестабилизирующим факторам на базе программного и методического обеспечения.

Вместе с тем реализация данного проекта создаст условия для:

1) предотвращения возможных отказов при эксплуатации на ранних этапах проектирования РЭС за счет комплексного моделирования разнородных физических процессов;

2) обеспечения условий для повышения надежности РЭС в условиях внешних дестабилизирующих воздействий в процессе автоматизированного проектирования путем комплексного компьютерного моделирования;

3) исключения аварийных ситуаций, повышение безопасности эксплуатации техники и обеспечение сохранения жизни и здоровья человека при полетах на авиационных и космических аппаратах (предотвращение

авиационных и космических катастроф) за счет комплексного автоматизированного анализа системы управления космическим аппаратом на основе созданной электронной модели при внешних дестабилизирующих воздействиях, в том числе в критических режимах;

4) сокращения сроков и затрат на проектирование за счет доступности разработчику аппаратуры предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования;

5) автоматизации документооборота и создания электронной модели изделия за счет интеграции предлагаемых программных средств в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными и жизненным циклом РЭС.

Описание проблемы, обоснование актуальности:

Очевидна особая актуальность данного проекта в современной тенденции радиоэлектронных средств вооружения, военной и специальной техники, ракетно-космической техники, надежность и качество функционирования которых напрямую зависит от правильно спроектированного конструктива и высоко надежных радиоэлектронных средств (РЭС).

Актуальность работы обусловлена высокими требованиями к надежности современных РЭС подвижных объектов, работающих в сложных условиях внешних воздействующих факторов, и жесткими требованиями по срокам и стоимости выполнения проектных работ, а также отсутствием на российских предприятиях методик и программного обеспечения, необходимых для осуществления в заданные сроки комплексного компьютерного моделирования электрических, тепловых, аэродинамических, механических, электромагнитных и радиационных процессов в РЭС, обусловленных как процессами функционирования аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и процессами их износа и старения, и обеспечения высоких показателей надежности и качества аппаратуры.

Решение задач проекта обеспечивает выполнение одного из важнейших пунктов Указа Президента РФ В.В.Путина от 7 мая 2012 г. N 603 "О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса": «...1. Правительству Российской Федерации обеспечить:... создание системы управления полным индустриальным циклом производства вооружения, военной и специальной техники – от моделирования и проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации...».

Актуальность задач, связанных с автоматизацией проектирования радиоэлектронных средств была рассмотрена и поддержана председателем Правительства РФ В.В. Путин на выставке 11 декабря 2009 г. в г. Санкт-Петербурге. При ознакомлении с результатами разработок по описываемой тематике, в частности с системой АСОНИКА, разработчиком и правообладателем которой является инициатор данного проекта, Председателем Правительства было отмечена важность данного проекта для

отечественной промышленности и рекомендовано профильным министерства оказывать поддержку развития данных исследований (см. сайт www.asonika.com).

На территории РФ система АСОНИКА аналогов не имеет и разрабатывается впервые. По зарубежным аналогам информация в открытой печати отсутствует.

Актуальность проекта за рубежом и отсутствие аналогичных разработок, обеспечивающее выход на мировой рынок, следуют из подписанных Меморандумов, протоколов и Соглашений о совместной деятельности с зарубежными организациями и их представителями в России:

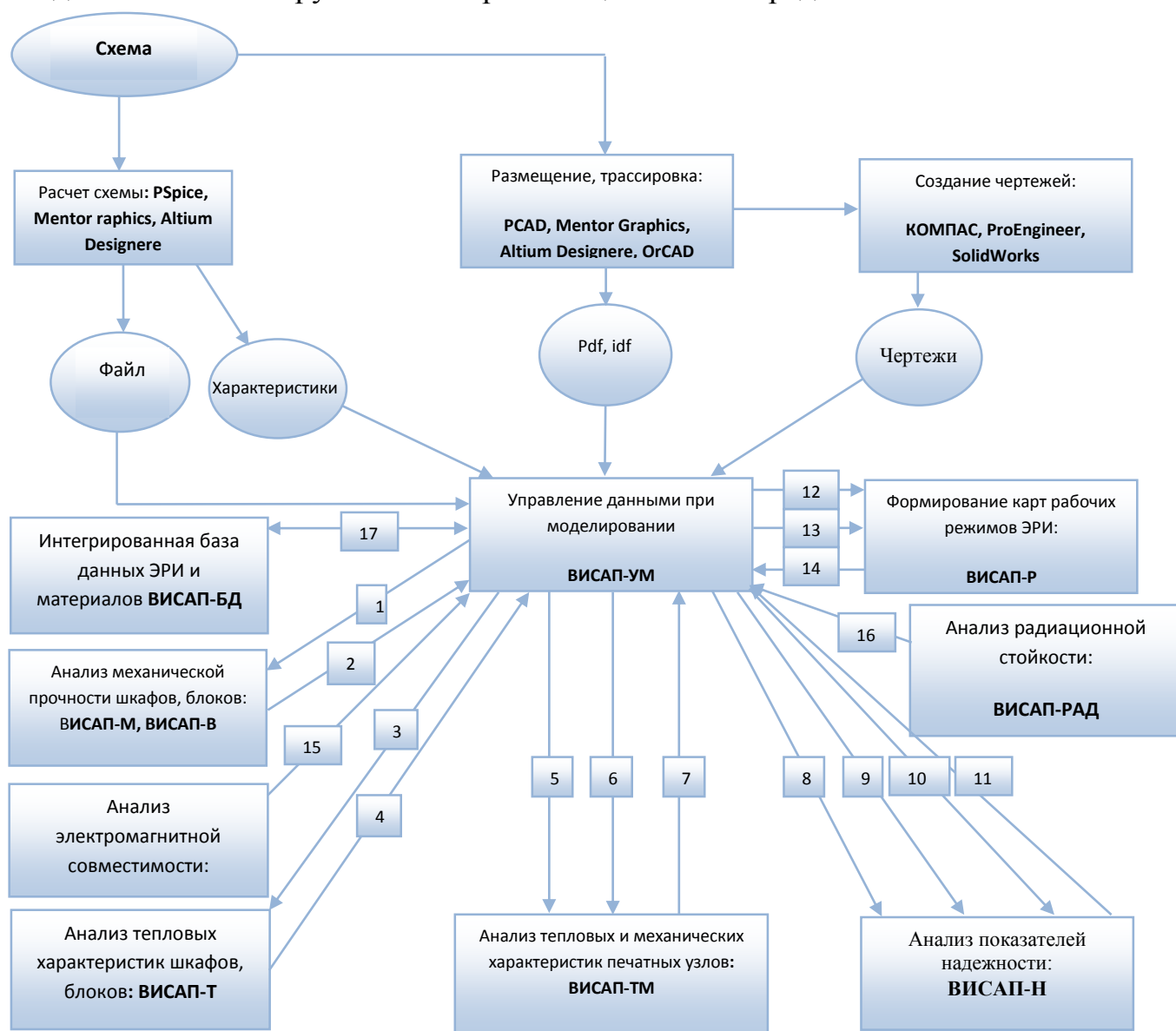


Рис.1. Структура вертикально интегрированной системы автоматизированного проектирования радиоэлектронных средств (ВИСАП РЭС АСОНИКА)

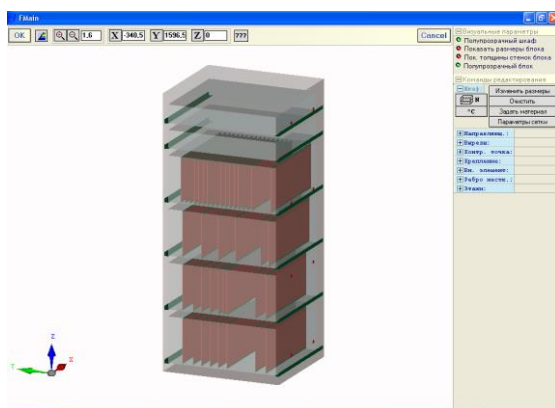


Рис.2. Модель конструкции 6-этажного шкафа (КБ ИГАС «Волна»), введенного в подсистеме **АСОНИКА-M**

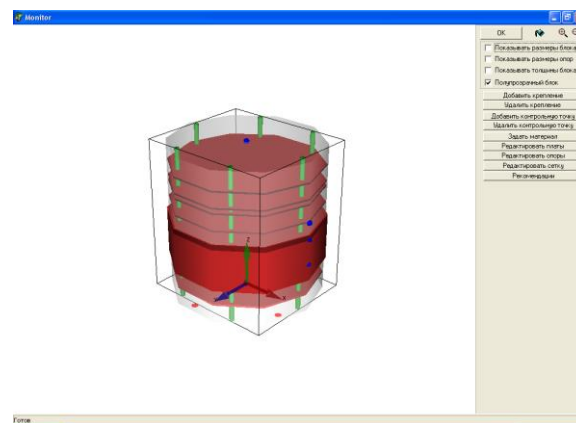


Рис.3. Модель конструкции блока цилиндрического типа (государственный НИИ приборостроения), введенного в подсистеме **АСОНИКА-M**

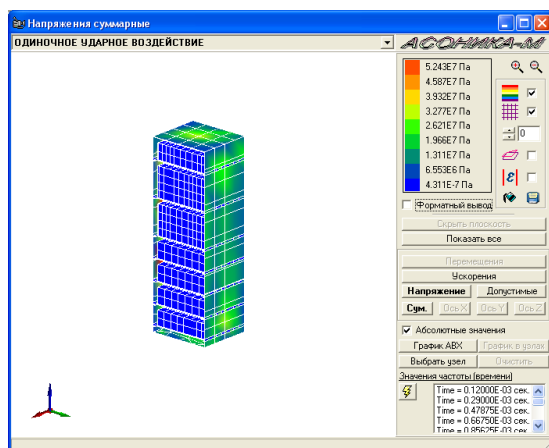


Рис.4. Максимальные значения напряжений [Па] в конструкции шкафа при воздействии механического удара одиночного действия

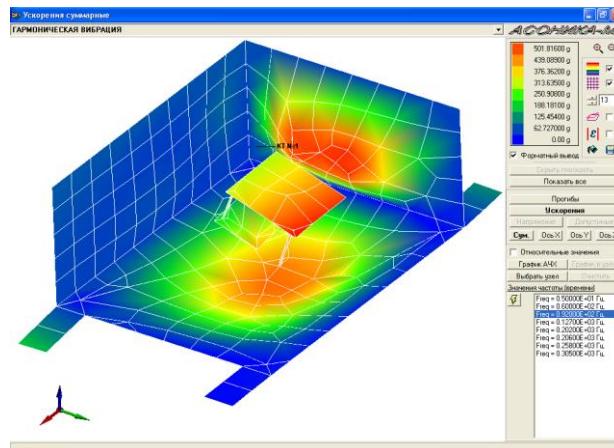


Рис.5. Ускорения и деформации участков конструкции блока, полученные в подсистеме **АСОНИКА-M**

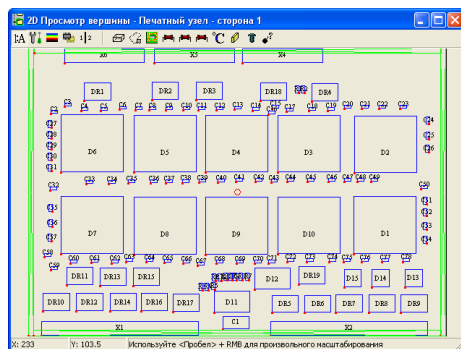


Рис.6. Эскиз печатного узла

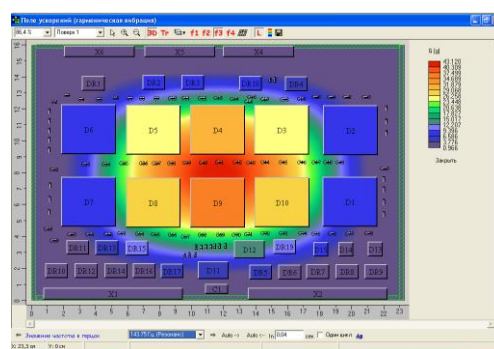


Рис.7. Поле ускорений на 1-й резонансной частоте при нормальной температуре

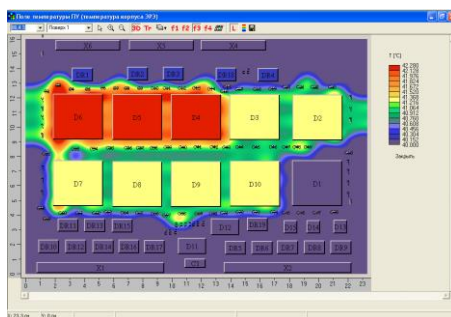


Рис.8. Поле температур в плате

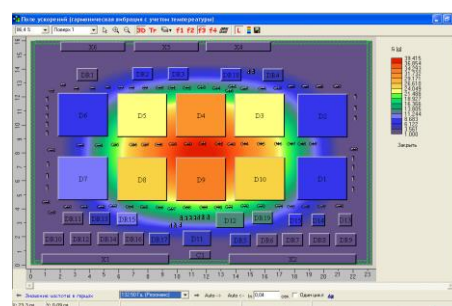


Рис.9. Поле ускорений на 1-й резонансной частоте с учетом температур