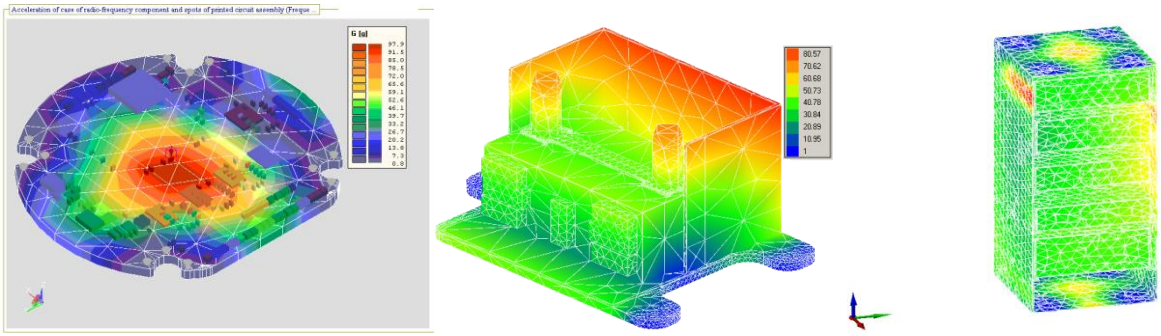
ВООРУЖЕННЫЕ СИЛЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования «Военная академия Республики Беларусь»

Владимирский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации

Научно-исследовательский институт «АСОНИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И ДРУГИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АСОНИКА

Монография
Под редакцией профессора А. С. Шалумова



Минск 2014

УДК 621.396.6
ББК 32.844
М 74

Авторы:
А. С. Шалумов, В. М. Ивашко, Н. В. Малютин, Ю. Н.Кофанов, Е. Ю. Тихонова

М 74 **Моделирование** радиоэлектронных средств с учетом внешних тепловых, механических и других воздействий с помощью системы АСОНИКА: моногр. / А. С Шалумов[и др.]; под ред. проф. А. С. Шалумова. – Минск: ВА РБ, 2014. – 372 с.
ISBN

В монографии представлены совместные труды научной школы моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем профессора А. С. Шалумова (Владимирский филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации) и ученых учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь». Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с созданием автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА, обеспечением виртуализации испытаний и стойкости к воздействию дестабилизирующих факторов при эксплуатации радиоэлектронных средств на базе автоматизированной системы АСОНИКА.

Издание предназначено для инженерно-технических и научных работников, занимающихся вопросами обеспечения надежности и качества радиоэлектронных средств, а также автоматизации проектирования в радиоэлектронике.

УДК 621.396.6
ББК 32.844

ISBN© УО «Военная академия Республики Беларусь», 2014

НАУЧНАЯ ШКОЛА
моделирования, информационных технологий иавтоматизированных систем (НШ МИТАС)

Основатель:

Шалумов Александр Славович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации» (Владимирский филиал), генеральный директорООО «CALS-технологии», лауреат премии правительства Российской Федерации в области науки и техники, академик Международной академии информатизации.

Основной состав:

Багаев Дмитрий Викторович, к. т. н.;
Буравцев Иван Евгеньевич, к. т. н.;
Васильчиков Сергей Алексеевич,к. т. н.;
Данилов Михаил Михайлович, к. т. н.;
Желтов Роман Леонидович, к. т. н.;
Куликов Олег Евгеньевич, аспирант;
Ловушкин Максим Юрьевич, программист;
Малов Антон Владимирович, к. т. н.;
Носков Владимир Николаевич, к. т. н.;
Орлов Алексей Владимирович, к. т. н.;
Першин Евгений Олегович, к. т. н.;
Рогов Виктор Петрович, к. т. н.;
Савельев Алексей Викторович, программист;
Соловьев Дмитрий Борисович, аспирант;
Тихомиров Максим Викторович, к. т. н.;
Травкин Дмитрий Николаевич, к. т. н.;
Урюпин Илья Сергеевич, аспирант;
Фадеев Олег Алексеевич, к. т. н.;
Чабриков Сергей Валерьевич, аспирант;
Шалумова Наталья Александровна, к. т. н.

Основные направления деятельности:

1. Комплексное математическое моделирование радиоэлектронных средств на протяжении жизненного цикла «проектирование –производство – эксплуатация» с использованием средств вычислительной техники и новых информационных технологий.
2. Интеграция систем автоматизированного проектирования, комплексного компьютерного моделирования и технологической подготовки производства радиоэлектронных средств на основе CALS-технологий.

Работа с молодежью:

Под руководством Владимирской областной общественной организации «Союз молодых ученых» (ВООО «СМУ»), созданной Шалумовым А. С., проводится работа с молодежью.

Публикации и защиты:

Было опубликовано более 300 работ, защищено 16 кандидатских диссертаций.

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 8
ВВЕДЕНИЕ 10
ГЛАВА 1 НАУЧНЫЙ КОЛЛЕКТИВ И СИСТЕМА АСОНИКА: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ 12
1.1. Научный коллектив 12
1.2. Система АСОНИКА 13
1.3. Итоги работы и перспективы научного коллектива и системы АСОНИКА 14
1.4. Структура автоматизированной системы АСОНИКА 18
ГЛАВА 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БЛОКАХ, ШКАФАХ И ПРОИЗВОЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ 29
2.1. Анализ и обеспечение стойкости типовых блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М) ... 29
2.2. Анализ и обеспечение стойкости произвольных блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-3D) .. 37
2.3. Анализ и обеспечение стойкости типовых конструкций шкафов РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-ШКАФ) ... 48
2.4. Анализ и обеспечение стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах (АСОНИКА-В) 55
2.4.1. Метод автоматизированного синтеза конструкции РЭС на виброизоляторах, стойкой к механическим воздействиям 55
2.4.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-В 57
2.5. Анализ и обеспечение стойкости конструкций РЭС к тепловым воздействиям (АСОНИКА-Т) 64
2.5.1. Назначение и основные возможности подсистемы АСОНИКА-Т 64
2.5.2. Моделирование тепловых процессов в конструкциях РЭС с помощью подсистемы АСОНИКА-Т 65
2.5.3. Пример моделирования тепловых процессов в нетиповой конструкции РЭС 70
2.5.4. Пример моделирования тепловых процессов в типовой конструкции РЭС 75

2.6. Идентификация физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС (АСОНИКА-ИД) 76
ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЕЧАТНЫХ УЗЛАХ И ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯХ 82
3.1. Анализ и обеспечение стойкости конструкций печатных узлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям в подсистеме АСОНИКА-ТМ 82
3.2. Моделирование механических процессов в печатных узлах сложной формы (АСОНИКА-ТМ) 89
3.3. Анализ усталостной прочности конструкций печатных узлов при механических воздействиях (АСОНИКА-УСТ).....101
ГЛАВА 4 СОЗДАНИЕ КАРТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ И АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ 119
4.1. Автоматизированное заполнение карт рабочих режимов ЭРИ с учетом реальных режимов эксплуатации (АСОНИКА-Р).....119
4.1.1. Функциональное назначение подсистемы АСОНИКА-Р ..119
4.1.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-Р.....121
4.2. Анализ и обеспечение показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ (АСОНИКА-Б) 134
4.2.1. Функциональное назначение подсистемы АСОНИКА-Б..134
4.2.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-Б.....135
4.3. Пример применения подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-Б при проектировании 162
4.4. Модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PSpice и подсистем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б.....168
ГЛАВА 5ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ, БАЗА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕМ 177
5.1. Анализ и обеспечение электромагнитной совместимости РЭС (АСОНИКА-ЭМС) 177
5.2. Интегрированная база данных электрорадиоэлементов и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам (АСОНИКА-БД).....207
5.3. Управление моделированием РЭС при проектировании (АСОНИКА-УМ) 218
5.3.1. Назначение и структура подсистемы АСОНИКА-УМ....218

5.3.2. Интерфейс и базовые функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ.....220
5.3.3. Интерфейс и функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по созданию электронных моделей изделий 230
5.3.4. Интерфейс и функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по интеграции подсистем системы АСОНИКА 240
5.3.5. Развитие функциональных возможностей подсистемы управления моделированием РЭС АСОНИКА-УМ.....252
ГЛАВА 6 РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АСОНИКА.....266
6.1. Виртуальное проектирование радиоэлектронных средств с помощью системы АСОНИКА 266
6.2. Апробация системы АСОНИКА при проведении виртуальных испытаний тестового образца блока РЭС на внешние механические и тепловые воздействия 276
6.2.1. Анализ тестового блока РЭС на тепловые воздействия в АСОНИКА-Т.....277
6.2.2. Анализ тестового блока РЭС на механические воздействия в АСОНИКА-М (АСОНИКА-М2).....287
6.2.3. Анализ печатного узла на механические и тепловые воздействия в АСОНИКА-ТМ.....299
6.2.4. Результаты апробации системы АСОНИКА.....328
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....330
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....332
Приложения:
1. База данных электрорадиоизделий и материалов.....335
2. Акт приемки результатов апробации системы АСОНИКА ..372

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АВХ	–	амплитудно-временная характеристика
АСОНИКА	–	автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры
АЧХ	–	амплитудно-частотная характеристика
БД	–	база данных
ВК	–	вынужденная конвекция
ГОСТ	–	государственный стандарт
ЕК	–	естественная конвекция
ЕСТД	–	единая система технологической документации
ИГАС	–	информатика, гидроакустика и связь
КБ	–	конструкторское бюро
КД	–	конструкторская документация
ККЛТ	–	конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача
КМП	–	коэффициент механических потерь
КРР	–	карта рабочих режимов
КЭ	–	конечный элемент (конечноэлементный)
ЛСК	–	локальная система координат
МИТАС	–	моделирование, информационные технологии и автоматизированные системы
МИЭМ	–	Московский государственный институт электроники и математики
МТП	–	модель тепловых процессов
НД	–	нормативная документация
НИИ	–	научно-исследовательский институт
НИОКР	–	научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НТД	–	нормативно-техническая документация
НШ	–	научная школа
ОКБ	–	опытно-конструкторское бюро
ПО	–	программное обеспечение
ПУ	–	печатный узел
РЭ	–	радиоэлемент
РЭС	–	радиоэлектронное средство
САПР	–	система автоматического проектирования
СБД	–	справочная база данных

СИ	–	система измерений
СКБ	–	специальноеконструкторское бюро
СЛАУ	–	система линейных алгебраических уравнений
СНАУ	–	система нелинейных алгебраических уравнений
СОДУ	–	система обыкновенных дифференциальных уравнений
СУБД	–	система управления базами данных
СУМ	–	система управления моделированием
ТЗ	–	техническое задание
ТИ	–	техническое изделие
ТУ	–	технические условия
ФДН	–	метод формул дифференцирования назад
ФУ	–	функциональный узел
ЦНИИИ	–	Центральный научно-исследовательский испытательный институт
ШСВ	–	широкополосная случайная вибрация
ЭА	–	электронная аппаратура
ЭВМ	–	электронная вычислительная машина
ЭМ	–	электронная модель
ЭМО	–	электромагнитная обстановка
ЭМП	–	электромагнитные помехи
ЭМС	–	электромагнитная совместимость
ЭРИ	–	электрорадиоизделие
ЭРЭ	–	электрорадиоэлемент
ЭСР	–	электростатические разряды
CAD	–	ComputerAidedDesign – программное обеспечение для проектирования
CAE	–	ComputerAidedEngineering – программное обеспечение для инженерных расчетов
CALS	–	ContinuousAcquisitionandLifecycleSupport– непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделия
PDM	–	ProductDataManagement– система управления данными об изделии

ВВЕДЕНИЕ

Решением Президиума Российской академии естествознания 29.06.2011 г. официально зарегистрирована «Научная школа моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (НШ МИТАС)». Её руководителю профессору А. С. Шалумовуприсвоенопочетное звание «основатель научной школы». Информация о НШ МИТАС опубликована в энциклопедии «Российские научные школы».

Основным направлениемдеятельности НШ МИТАС является разработка автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА).

С помощью системы АСОНИКА осуществляется автоматизированное проектирование и комплексное компьютерное моделирование высоконадежных радиоэлектронных средств (РЭС) в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах «проектирование – производство – эксплуатация».

Предлагаемая технология предназначена для применения в процессе проектирования РЭС и замены испытаний компьютерным моделированием на ранних этапах проектирования, что позволяет значительно сократить количество испытаний и возможных итераций.

Система АСОНИКА предназначена для решения четырех основных проблем, существующих при разработке современных РЭС:

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

2) обеспечения безопасности человека при полетах на самолетах (предотвращения авиакатастроф) за счет комплексного автоматизированного анализа системы управления самолетом на основе созданной электронной модели при всех видах внешних дестабилизирующих факторов, в том числе в критических режимах;

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

4) автоматизации документооборота и создания электронной модели РЭС за счет интеграции предлагаемых программных средств

в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными и жизненным циклом аппаратуры.

Причины существования четырех вышеперечисленных проблем – в недостатках процессов проектирования и отработки создаваемых образцов, связанных со слабым применением автоматизированных методов проектирования и современных информационных технологий, базирующихся на комплексном математическом моделировании одновременно протекающих в РЭС процессов (электрических, тепловых, механических, аэродинамических, электромагнитных и других), обусловленных как процессами функционирования аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и процессами их износа и старения. Выход из создавшегося положения лежит в унификации математических моделей разнородных физических процессов на основе существующей аналогии протекания. Это позволяет значительно снизить трудоемкость интеграции их в единую комплексную модель, обеспечить полноту и достоверность результатов моделирования, разработать соответствующую методологию и реализующую ее принципиально новую многофункциональную автоматизированную систему анализа схемотехнических и конструктивно-технологических решений и надежности проектируемых РЭС.По результатам работ в данном направлении в 2001 г. профессоры А. С. Шалумов и Ю. Н. Кофанов удостоены премии правительства Российской Федерации в области науки и техники за работу «**Разработка научных основ, создание и внедрение автоматизированных систем комплексного математического моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах**». Разработанная система получила название АСОНИКА.

Данная книга предоставляет разработчикам РЭС возможность принять обоснованное решение о выборе автоматизированной системы АСОНИКА для применения в процессе проектирования РЭС.

ГЛАВА 1
НАУЧНЫЙ КОЛЛЕКТИВ И СИСТЕМА АСОНИКА: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

1.1. Научный коллектив

Научный коллектив разработчиков формировался на базе общества с ограниченной ответственностью «CALS-технологии» (ООО «CALS-технологии»), созданного в 2005 г., – негосударственной организации Владимирской области, ведущей одновременно интенсивную учебную и научную инновационную деятельность, а также в дальнейшем Научно-исследовательского института «АСОНИКА» (НИИ «АСОНИКА»), созданного в 2009 г. на базе ООО «CALS-технологии».

Общество с ограниченной ответственностью «CALS-технологии», в свою очередь, было создано на основе уникальной научной молодежной организации – Владимирской областной общественной организации «Союз молодых ученых», учрежденной в 2001 г. и действующей по настоящее время. Председатель правления – А. С. Шалумов.

В настоящее время в составе НИИ «АСОНИКА» работает более 40 специалистов, треть из них имеют ученые степени кандидатов и докторов наук. За последние несколько лет сотрудниками организации защищено 16 кандидатских диссертаций, ведется подготовка докторских диссертаций в области систем автоматического проектирования (САПР) и информационных технологий. Функционирует очная аспирантура, набор аспирантов осуществляется круглогодично.

Основные направления научной инновационной деятельности:

1. Комплексное математическое моделирование РЭС на протяжении жизненного цикла «проектирование – производство –эксплуатация» с использованием средств вычислительной техники и новых информационных технологий.

2. Интеграция систем автоматизированного проектирования, комплексного компьютерного моделирования и технологической подготовки производства радиоэлектронных средств на основе CALS-технологий.

3. Разработка методик обучения и переобучения, подготовки и переподготовки работников по вопросам автоматизированного проектирования и комплексного компьютерного моделирования радиоэлектронных средств.

Данные направления соответствуют приоритетному направлению развития науки и техники федерального уровня № 4 «Информационно-телекоммуникационные системы» (критическая технология № 15 «Технологии обработки, хранения, передачи и защиты информации»).

В рамках указанных направлений осуществляется создание и внедрение автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах «проектирование – производство – эксплуатация».

1.2. Система АСОНИКА

АСОНИКА – это первая российская автоматизированная система комплексного моделирования физических процессов в электронной аппаратуре, которая аттестована министерством обороны Российской Федерации, рекомендуется специальными руководящими документами министерства обороны Российской Федерации для замены испытаний электронной аппаратуры моделированием на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособную аппаратуру в минимальные сроки и с минимальными затратами.

Основателем системы АСОНИКА является Юрий Николаевич Кофанов, профессор Московского государственного института электроники и математики (МИЭМ), доктор технических наук, лауреат премии правительства Российской Федерации в области науки и техники, академик Международной академии информатизации, Российской академии естественных наук, президент Российской академии надежности.

С 1998 г. началась подготовка квалифицированных кадров, способных решать задачи моделирования, программирования и проектирования. Работа велась Центром моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (МИТАС) при кафедре прикладной математики и САПР Ковровской государственной технологической академии под руководством заведующего кафедрой, профессора Александра СлавовичаШалумова. Затем был создан Влади-

мирский региональный научный центр CALS-технологий «Инновация». В результате деятельности данных организаций и была разработана автоматизированная система АСОНИКА.

1.3. Итоги работы и перспективы научного коллектива и системы АСОНИКА

Основной принцип работы научного коллектива–единство четырех составляющих**:образования, науки, производства и бизнеса.**

Выпущено более 300 монографий, учебных пособий и статей членов научного коллектива.

На территории Российской Федерации система АСОНИКА аналогов не имеет. По зарубежным аналогам информация в открытой печати отсутствует.

За разработку системы АСОНИКА:

– в 2001 г. присуждена премия правительства Российской Федерации в области науки и техники за разработку научных основ, создание и внедрение автоматизированных систем комплексного математического моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах;

– в 2003 г. получены дипломы IX Международной выставки «ЭКСПО – НАУКА-2003»;

– в 2004 г. получена золотая медаль «Лауреат ВВЦ»;

– в 2005 г. получены серебряная медаль V Московского Международного салона инноваций и инвестиций и диплом за подписью министра образования и науки Российской Федерации А. А. Фурсенко, а также благодарность от первого заместителя Губернатора Владимирской области за участие и получение награды V Московского Международного салона инноваций и инвестиций;

– в 2006 г. получена медаль лауреата и диплом первой степени им. С. П. Королева для молодых ученых;

– в 2006 г. получены диплом и медаль лауреата Всероссийского конкурса «Инженер года»;

– в 2007 г. вручена почетная грамота федерального космического агентства;

– в 2009 г. вручена почетная грамота победителя программы «Участник Молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»);

– получен диплом конкурса «Русские инновации –2009»за победу;

– получено множество дипломов Всероссийского конкурса «Компьютерный инжиниринг» и других всероссийских и международных конкурсов и выставок;

– получено положительное Решение участников семинара военных представителей ведущих оборонных предприятий Российской Федерации«Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры – АСОНИКА».

В 2009 г. проект по системе АСОНИКА стал одним из 12 финалистов конкурса на соискание Зворыкинской премии – высшей награды в области инноваций для талантливых молодых российских ученых.

На торжественной церемонии награждения финалистов конкурса, которая состоялась в декабре 2010 г. в рамках Второго Всероссийского молодежного инновационного Конвента в Доме молодежи Васильевского острова г. Санкт-Петербурга, председатель правительства Российской ФедерацииВ. В. Путин лично ознакомился с данным проектом, отметил его актуальность и важность для российской промышленности и рекомендовал оказывать данному проекту всемерную поддержку со стороны государства (рис. 1.1).

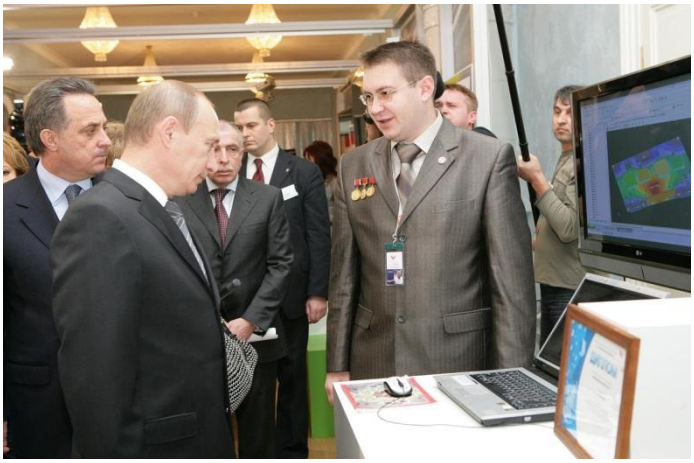


Рис. 1.1. Презентация системы АСОНИКА
на Втором Всероссийском молодежном инновационном Конвенте

Система АСОНИКА внедрена более чем на 60 российскихпредприятиях промышленности, разрабатывающих электронную аппаратуру военного и народнохозяйственного назначения, в частности: в ракетно-космической корпорации «Энергия», в ОКБ Ижевского радиозавода, в государственном НИИ приборостроения (Москва), в

ОКБ «Авиаавтоматика» (Курск), в ОАО «РПКБ» (Раменское), в СКБ приборостроения и автоматики (Ковров) и других,а также на ряде предприятий стран СНГ.

Система АСОНИКА применялась при проектировании и технической экспертизе системы управления ракетного комплекса«Тополь-М», космических аппаратов «Метеор», «Ямал», «Sesat», самолетов Су-27, Миг-29 и др.

Только в КБ ИГАС «Волна» (Москва) годовая экономия за счет внедрения системы АСОНИКА-ТМР составила свыше 30 млн руб., а сроки проектирования систем управления подводными лодками сократились примерно на один год.

Применение системы АСОНИКА при проектировании и технической экспертизе опытных образцов РЭС позволило снизить трудоемкость проведения проектных исследований (в отдельных случаях до 35–40 %), повысить качество разрабатываемых образцов (прежде всего – их надежности за счет своевременного выявления и устранения предпосылок к отказам, связанных с нерациональными схемными и конструктивными решениями), сэкономить средства за счет сокращения объемов работ по созданию и исследованию макетов, уменьшить объемы всех видов испытаний (на 10–15 %).

Совместно с 22-м Центральным научно-исследовательским испытательным институтом министерства обороны Российской Федерации(22 ЦНИИИ МО РФ) разработан руководящий военный документ «Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Принципы применения математического моделирования при проектировании» в рамках военного стандарта «МОРОЗ-6». Система АСОНИКА, согласно руководящему военному документу, является единственной системой, рекомендуемой 22 ЦНИИИ МО РФ в качестве альтернативы натурным испытаниям опытных образцов радиоэлектронной аппаратуры на ранних этапах проектирования.

В 2009 г. по результатам совместных с ОАО «РКК «Энергия» научно-исследовательских работ Федеральным космическим агентством ООО «CALS-технологии» на 5 лет выдана лицензия на космическую деятельность.

Получена положительная экспертная оценка системы АСОНИКА в Международном институте информационных технологий (Индия) и имеется предварительная договоренность о продаже в Индии

учебной программы и создании представительства фирмы по системе АСОНИКА (подписан Меморандум о сотрудничестве с индийской стороной). По данным индийского Международного института информационных технологий, на западном и восточном рынках такого программного продукта нет.

Подписан Меморандум с фирмой NGS (США) и Государственным университетом США, штат Аризона, по созданию автоматизированной системы АСОНИКА-США.

Подписан Протокол о намерениях с фирмой Taetion LLC (США) о сотрудничестве по автоматизированной системе АСОНИКА.

Подписан Протокол о сотрудничестве по автоматизированной системе АСОНИКА с учреждением образования «Военная академия Республики Беларусь».

Проявлен интерес к продукту в Канаде. В настоящее время ведутся переговоры с канадской стороной.

Большой интерес система АСОНИКА вызвала у фирмы Microsoft и других зарубежных и российских организаций в области информационных технологий на российском регулярном научно-практическом семинаре «Новые технологии – инновационному бизнесу» (1–16 февраля 2007 г., г. Москва, бизнес-центр «Крылатские холмы»).

Разработанные модели, методы, методики и программное обеспечение широко внедрены в учебный процесс ведущих российских вузов и ряда вузов стран СНГ, а также используются для дистанционного обучения по специальностям «Проектирование и технология радиоэлектронных средств», «Конструирование и технология электронных вычислительных средств», «Системы автоматизированного проектирования» студентов России и ряда других зарубежных стран.

В плане применения системы АСОНИКА в учебном процессе и в подготовке специалистов НИИ «АСОНИКА» сотрудничает со многими российскими вузами, прежде всего с Владимирским филиалом Российской академии народного хозяйства и государственной службы при президенте Российской Федерации (РАНХиГС), Московским государственным институтом электроники и математики, Оренбургским государственным университетом, Южным федеральным университетом, Нижегородским государственным техническим университетом и др. В июне 2011 г. при кафедре информационных технологий Владимирского филиала РАНХиГС соз-

дана научная лаборатория информационных технологий «АСОНИКА»для реализации задач Владимирского филиала РАНХиГС по расширению научных исследований в области информационных технологий моделирования систем.

На научную лабораторию «АСОНИКА» возложены следующие основные задачи:

1. Создание системы консультирования по вопросам моделирования систем, основанной на современных инновационных технологиях и автоматизированной системе АСОНИКА.
2. Создание методических материалов и проведение обучения по автоматизированной системе АСОНИКА.
3. Развитие и внедрение автоматизированной системы АСОНИКА на промышленных предприятиях.
4. Участие в подготовке и проведении научных исследований по приоритетным направлениям информационных технологий моделирования систем.
5. Маркетинговые исследования и менеджмент по системе АСОНИКА.

1.4. Структура автоматизированной системы АСОНИКА

В рамках автоматизированной системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемого РЭС, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем комплекса (подсистемы позволяют моделировать тепловые и механические процессы в аппаратуре, проводить анализ показателей надежности, а также взаимодействовать с известными системами топологического проектирования печатных плат и известными CAD-системами).

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

В настоящее время система АСОНИКА состоит из восьми подсистем:

– анализа объемных конструкций РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М;

– анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах, АСОНИКА-В;

– анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т;

– анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ;

– автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий АСОНИКА-Р;

– анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б;

– справочной базы данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам АСОНИКА-БД;

– управления моделированием РЭС при проектировании АСОНИКА-УМ.

Система АСОНИКА включает следующие конверторы с известными САПР:

– модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PSpice и подсистем АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б (ведется разработка модулей интеграции с системами MentorGraphics и AltiumDesignere);

– модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, MentorGraphics, AltiumDesignere и подсистемы АСОНИКА-ТМ;

– модуль интеграции 3-D модели, созданной в системах КОМПАС, Pro Engineer, Solid Works, Inventor, T-FLEX в формате *.IGES, и подсистемы АСОНИКА-М (версия АСОНИКА-М-IGES)(ведется разработка версии АСОНИКА-М-3D, включающей чтение
3-Dмоделей в формате *.SAT).

Разрабатывается подсистема электромагнитной совместимости РЭС АСОНИКА-ЭМС и предполагается разработка подсистемы радиационной стойкости РЭС АСОНИКА-РАД.

Структура автоматизированной системы АСОНИКА (рис. 1.2) предусматривает, что в процессе проектирования, в соответствии с

требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании АСОНИКА-УМ (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия.

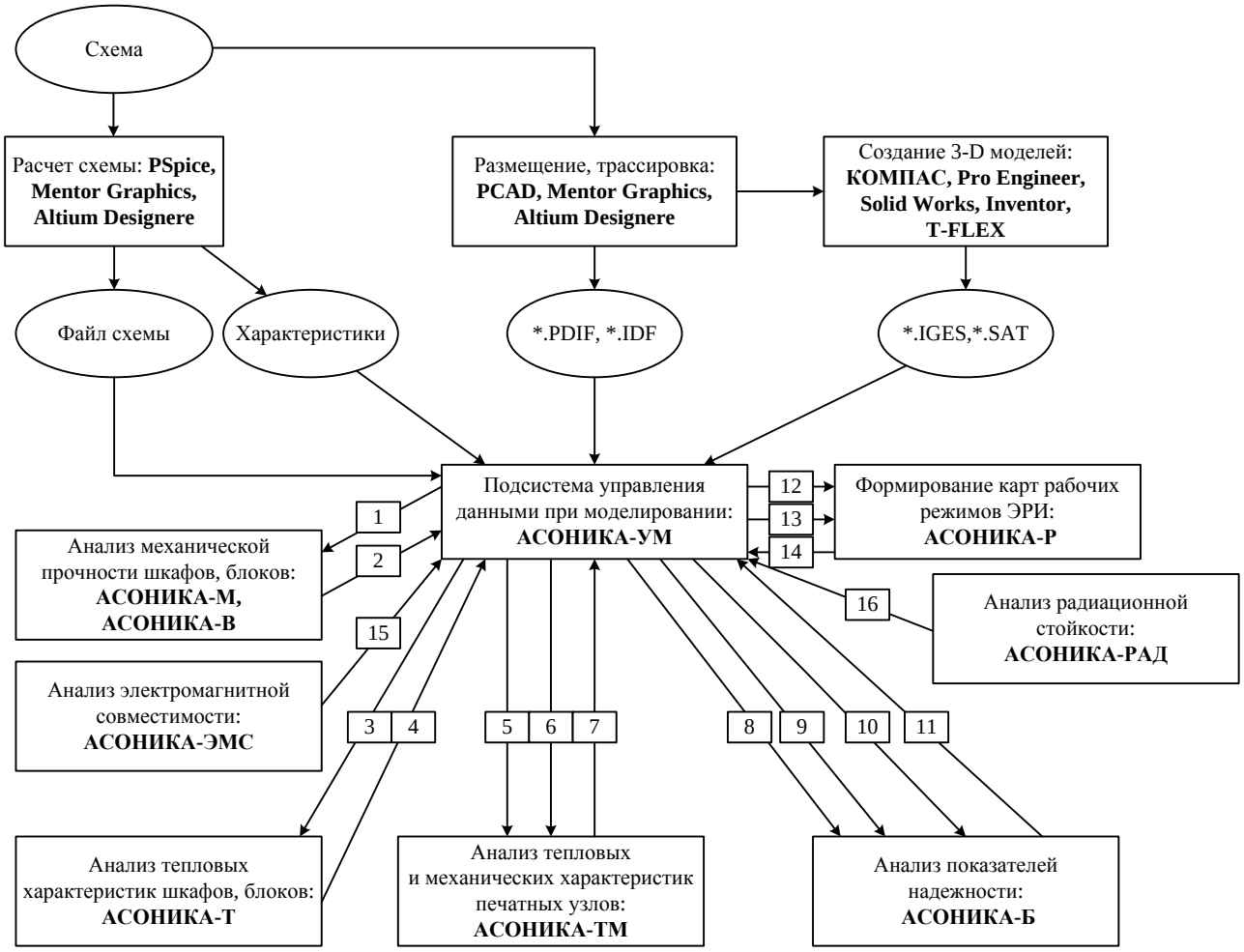


Рис. 1.2. Структура автоматизированной системы АСОНИКА

С помощью специального графического редактора вводится электрическая схема, которая сохраняется в базе данных проектов в подсистеме АСОНИКА-УМ и передается в виде файла в системы анализа электрических схем PSpice, MentorGraphics и AltiumDesignere и в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, MentorGraphics и AltiumDesignere. Выходные файлы системы PCAD в формате *.PDIF и MentorGraphics и AltiumDesignere в формате *.IDF сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ, а также передаются в системы AUTOCAD, КОМПАС, Pro Engineer, Solid Works, Inventor, T-FLEX для создания чертежей и сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ. В подсистему АСОНИКА-УМ также передаются 3-D модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС,

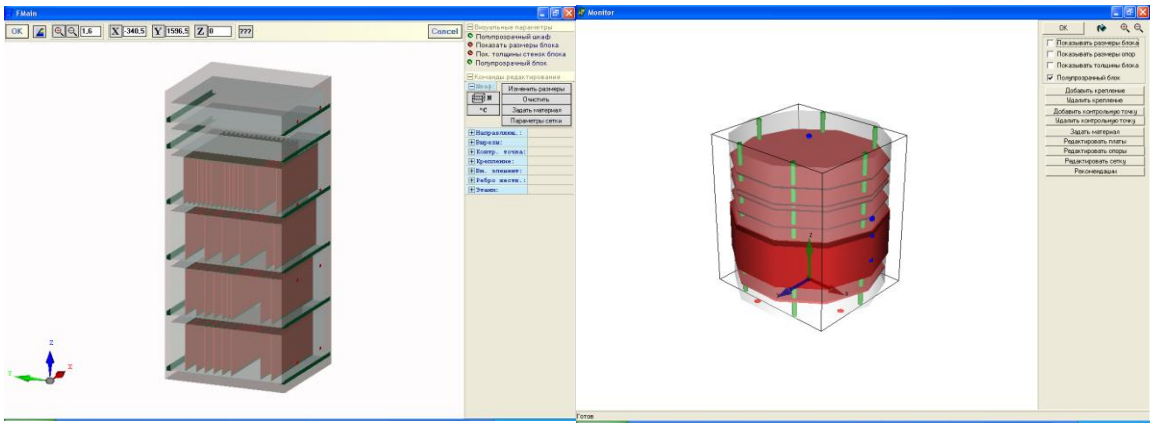
Pro Engineer, Solid Works, Inventor, T-FLEX в форматах *.IGES и *.SAT, которые передаются из нее в подсистемы АСОНИКА-М и АСОНИКА-В (1) для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, в подсистему АСОНИКА-Т (3) для анализа тепловых процессов в шкафах и блоках РЭС.

Полученные в результате моделирования напряжения, перемещения, ускорения и температуры в конструкциях шкафов и блоков сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (2, 4). Чертежи печатных узлов (ПУ) и спецификации к ним, а также файлы в форматах *.PDIF и *.IDF передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему АСОНИКА-ТМ (5) для комплексного анализа тепловых и механических процессов в ПУ. Кроме того, из подсистемы АСОНИКА-Т передаются температуры воздуха в узлах, а из подсистемы АСОНИКА-М – ускорения опор(6). Полученные в результате моделирования температуры и ускорения ЭРИ сохраняются в подсистеме АСОНИКА-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 подсистемах АСОНИКА-ЭМС иАСОНИКА-РАД, передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему анализа показателей надежности РЭС АСОНИКА-Б. Показатели надежности РЭС сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (11). Перечень ЭРИ, файлы с электрическими характеристиками ЭРИ (12), температурами и ускорениями ЭРИ (13) передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему формирования карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р. Сформированные карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (14).

Система ориентирована на разработчика РЭС. С этой целью в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ разработаны специальные интерфейсы для ввода типовых конструкций аппаратуры – шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ физических процессов в РЭС.

Если бы пользователь строил модель механических процессов сложного шкафа или блока (рис. 1.3) в обычной конечно-элементной системе, например, ANSYS, ему бы пришлось вначале пройти специальное обучение и набраться опыта, что заняло бы примерно около года, а затем в течение нескольких часов вводить саму модель. В системе АСОНИКА не нужно проходить специального обучения, необ-

ходимо просто вводить на доступном конструктору языке то, что представлено на чертеже. Ввод того же сложного шкафа может быть осуществлен в течение получаса.



аб

Рис. 1.3. Модели конструкций различного типа,
введенных в подсистеме АСОНИКА-М:
а – 6-этажныйшкаф; *б*– блок цилиндрического типа

Таким образом, полноценный комплексный анализ шкафа на тепловые и механические воздействия вплоть до каждого ЭРИ (получаем ускорения и температуры на каждом элементе) может быть проведен в течение одного дня.Подсистема анализа объемных конструкций РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М позволяет анализировать блоки кассетного, этажерочного и цилиндрического типов, шкафы радиоэлектронных средств и проводить расчет на следующие виды механических воздействий:

– гармоническая вибрация;

– случайная вибрация;

– удар;

– линейное ускорение.

В результате моделирования могут быть получены:

1) зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках и узлах конструкции;

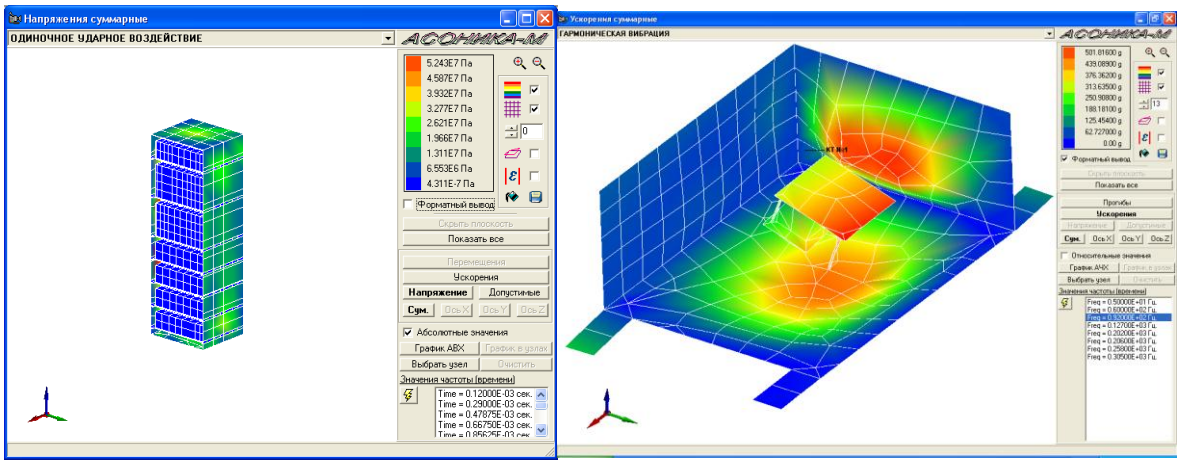
2) перемещения, прогибы, ускорения и напряжения участков конструкции блоков и шкафов (рис. 1.4);

3) деформации блоков и шкафов (рис. 1.4, *б*);

4) ускорения в местах крепления печатных узлов, необходимые для их дальнейшего анализа вплоть до каждого ЭРИ в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

Подсистема АСОНИКА-М включает базу данных со справочными геометрическими, теплофизическими и физико-механическими параметрами конструкционных материалов.

Подсистема анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах, АСОНИКА-В,предназначена для анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков РЭС, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударных нагрузок, линейного ускорения, при воздействии акустических шумов и для принятия решения на основе полученных механических характеристик в целях обеспечения стойкости аппаратуры при механических воздействиях.



а *б*

Рис. 1.4. Результаты моделирования на механические воздействия в подсистеме АСОНИКА-М:
а – максимальные значения напряжений в конструкции шкафа;
б – ускорения и деформации участков конструкции блока

Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции на виброизоляторах.Она позволяет осуществлять идентификацию параметров виброизоляторов, а также оптимизацию их параметров для снижения нагрузок на конструкцию. В результате моделирования могут быть получены зависимости ускорений конструкции на виброизоляторах от частоты и времени. Подсистема АСОНИКА-В включает базу данных со справочными параметрами виброизоляторов.

Подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций РЭС АСОНИКА-Т позволяет анализировать следующие типы конструкций: микросборки, радиаторы и теплоотводящие осно-

вания, гибридно-интегральные модули, блоки этажерочной и кассетной конструкции, шкафы, стойки, а также произвольные конструкции РЭС.

Подсистема дает возможность провести анализ стационарного и нестационарного тепловых режимов аппаратуры, работающей при естественной и вынужденной конвекциях в воздушной среде, как при нормальном, так и при пониженном давлении.

При анализе произвольных конструкций определяются температуры выделенных изотермических объемов и выводятся графики зависимости температур от времени для нестационарного теплового режима.Подсистема АСОНИКА-Т включает базу данных со справочными теплофизическими параметрами конструкционных материалов.

Подсистема анализа конструкций печатных узлов РЭС на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ позволяет анализировать печатные узлы РЭС и проводить расчет:

1) стационарного и нестационарного тепловых режимов как при нормальном, так и при пониженном давлении;

2) на следующие виды механических воздействий:

– гармоническая вибрация;

– случайная вибрация;

– удар;

– линейное ускорение;

– акустический шум.

Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции печатного узла (рис. 1.5).

В результате моделирования могут быть получены:

1) зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках конструкции;

2) максимальные температуры, ускорения и напряжения участков печатных узлов и электрорадиоизделий (рис. 1.6);

3) формы колебаний печатных узлов на собственных частотах;

4) карты тепловых и механических режимов электрорадиоизделий.

Подсистема автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий АСОНИКА-Р предназначена для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭРИ.

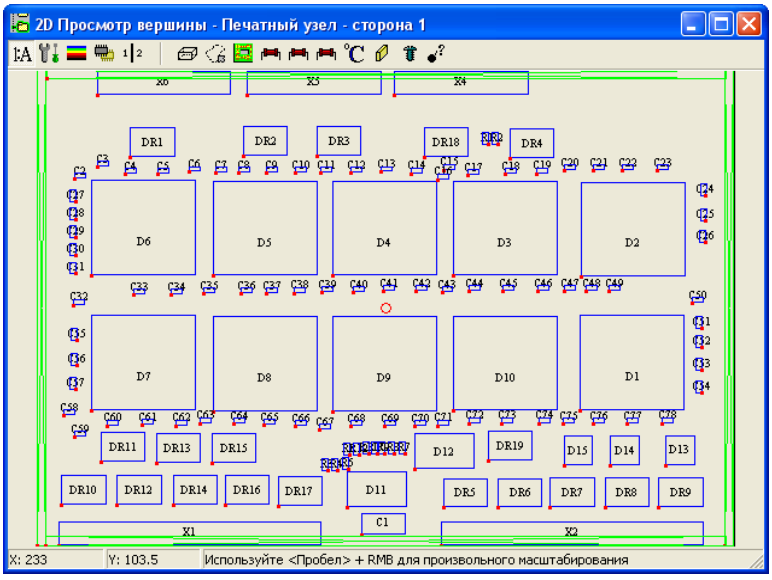
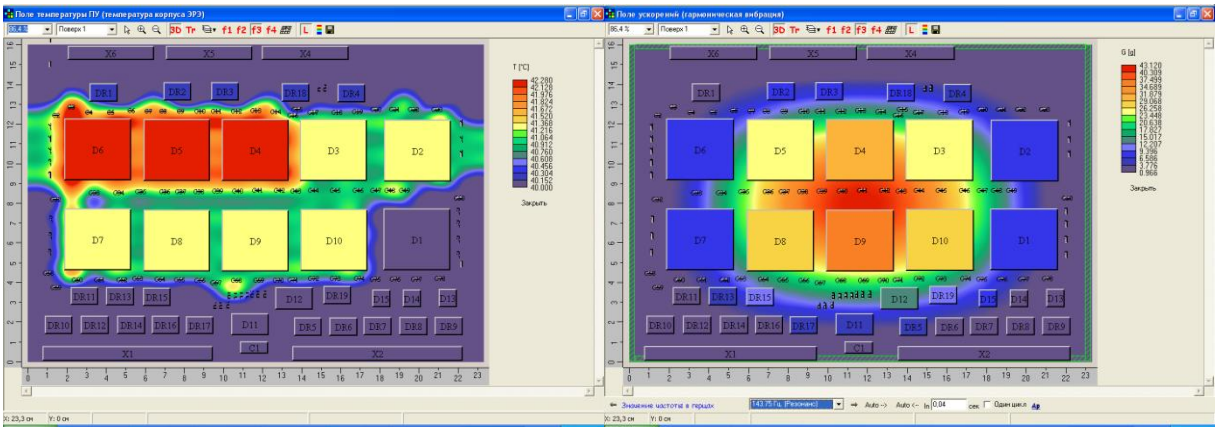
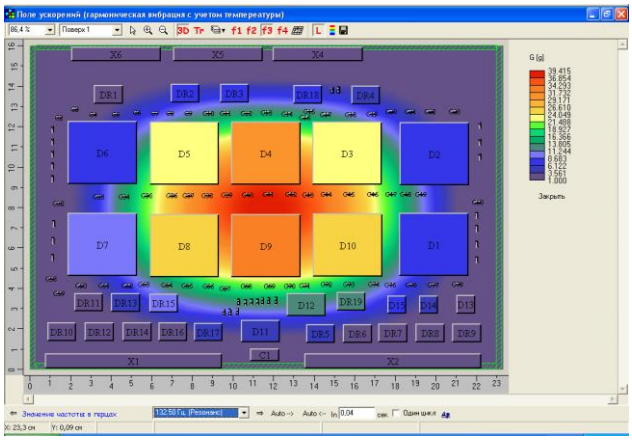


Рис. 1.5. Эскиз печатного узла



а *б*



в

Рис. 1.6. Результаты моделирования печатного узла на тепловые имеханические воздействия в подсистеме АСОНИКА-ТМ:
а – поле ускорений на 1-й резонансной частоте при нормальной температуре; *б* – поле температур; *в*– поле ускорений на 1-й резонансной частоте с учетом температур

В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции РДВ.319.01.09-94 (2000 г.). Результаты работы подсистемы – заполненные карты режимов ЭРИ – автоматически конвертируются программой в текстовый процессор Word, где они могут быть отредактированы и распечатаны. Подсистема имеет необходимую базу данных, в которой находится информация о предельных значениях параметров ЭРИ, взятая из нормативно-технической документации (НТД).

Подсистема анализа и обеспечения показателей надежности РЭС АСОНИКА-Б позволяет анализировать шкафы, блоки, печатные узлы, ЭРИ и решать следующие задачи: 1) определение показателей безотказности всех ЭРИ; 2) обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС. Подсистема поддерживает: 1) пассивное резервирование с неизменной нагрузкой; 2) активное нагруженное резервирование; 3) активное ненагруженное резервирование; 4) активное облегченное резервирование. В результате моделирования могут быть получены: эксплуатационные интенсивности отказов, вероятности безотказной работы и среднее время безотказной работы РЭС. Сервисное обеспечение подсистемы АСОНИКА-Б включает: 1) базу данных с математическими моделями для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели; 2) редактор базы данных. Подсистема позволяет импортировать данные о составе конструкции из других САПР электроники (PCAD), а также тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА.

Подсистема управления моделированием РЭС при проектировании АСОНИКА-УМ позволяет осуществить интеграцию САПР, внедренных на предприятии,–Pro Engineer, PCAD, АСОНИКА, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и других, и управлять передачей данных между подсистемами при моделировании в процессе конструкторского проектирования РЭС. Подсистема интегрируется с любой используемой на предприятии PDM-системой. В ходе проектирования подсистема позволяет сформировать комплексную электронную модель РЭС в рамках математических моделей тепловых, электрических, механических процессов и математической модели надежности и качества РЭС.

Реализация описанной интеграции положила начало развитию и внедрению CALS-технологий на предприятиях радиоэлектронной и

приборостроительной отраслей. 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 10303STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой АСОНИКА-УМ. Данные интерфейсы обеспечивают преобразование совокупности информационных объектов электронной модели РЭС, описывающих исходные данные для целевой подсистемы, в файлы проекта подсистемы и наоборот – преобразование файлов проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов электронной модели РЭС и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, что обеспечивает однозначность представления информации в электронной модели РЭС.

Подобное решение информационной согласованности обеспечивает гибкость структуры автоматизированной системы РЭС АСОНИКА. Таким образом, при осуществлении обновления, замены существующих подсистем и добавления новых подсистем в данную структуру необходимо провести изменения интерфейсов интеграции с подсистемой АСОНИКА-УМ только подсистем, подлежащих замене либо вводимых в состав структуры. Сложность интерфейсов определяется используемыми в качестве компонентов сквозной САПР РЭС программными системами.

Целью внедрения системы АСОНИКА является повышение эффективности работы структурных подразделений предприятия, при-

ведение их в соответствие с современными мировыми и отечественными стандартами качества, сокращение сроков проектирования и разработки наукоемких РЭС, повышение надежности разрабатываемых РЭС.Внедрение данного программного комплекса позволяет получить значительную экономию материальных средств за счет сокращения количества испытаний при внедрении предлагаемого программного обеспечения.

Таким образом, результатом внедрения системы АСОНИКА станет переход на принципиально новый уровень информационных технологий, что позволит расширить номенклатуру выпускаемой продукции, сократить сроки выхода на рынок новых изделий, снизить брак и затраты на производство.

ГЛАВА 2
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БЛОКАХ, ШКАФАХ И ПРОИЗВОЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

2.1. Анализ и обеспечение стойкости типовых блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М)

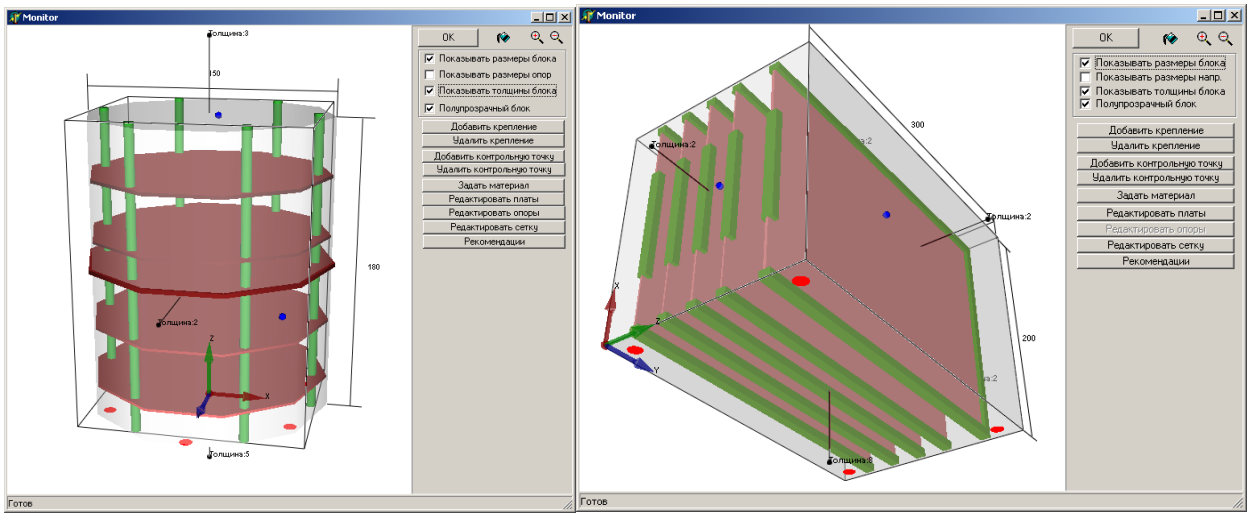
Подсистема АСОНИКА-М предназначена для анализа ускорений, перемещений и напряжений в конструкциях цилиндрических блоков, блоков кассетного и этажерочного типов РЭС и других типовых конструкций при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударов, линейных ускорений.

Примеры физических моделей цилиндрического, кассетного и этажерочногоблоков, созданные в графическом интерфейсе подсистемы АСОНИКА-М, представлены на рис. 2.1. Модели блоков готовы к расчету, то есть по ним программой автоматически создаются математические модели.

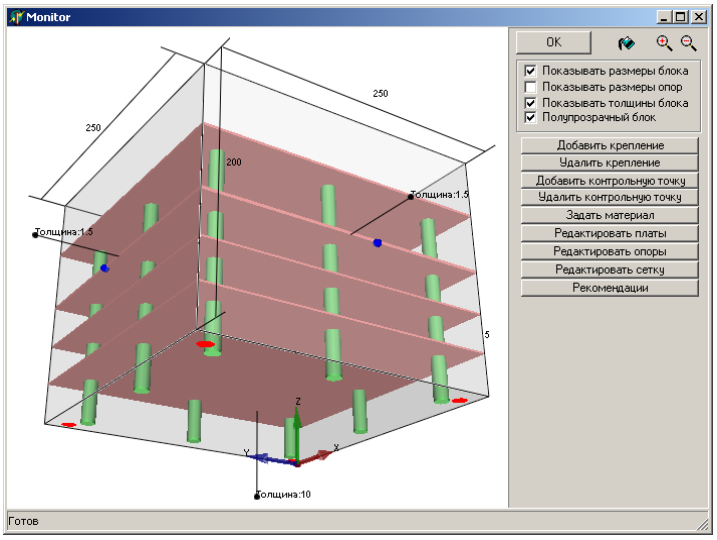
Для цилиндрического блока (рис. 2.1, *а*) задано пять плат разной толщины (1,5...2,5 мм) и массы электрорадиоизделий, шесть опор, проходящих через весь блок. Средняя плата по всему краю жестко соединена со стенками блока. На верхней и боковой стенках заданы две контрольные точки. Блок крепится через дно посредством шести опор.

Для кассетного блока (рис. 2.1, *б*) также задано пять плат с различными параметрами. Все платы размещены в направляющих, расположенных на дне и верхней стенке блока. С передней части блока платы вставлены в разъемы. Одна плата жестко прикреплена к блоку и с противоположной стороны разъема. На боковой и передней стенках заданы две контрольные точки. Блок крепится через нижнюю стенку посредством четырех круглых креплений.

Для этажерочного блока (рис. 2.1, *в*) задано четыре платы с восьмью опорами, проходящими от дна блока до последней платы. Каждая плата имеет свои параметры. Крепления блока расположены по углам нижней стенки. На боковых стенках заданы две контрольные точки.



аб



в

Рис. 2.1. Примеры физических моделей блоков различного типа:
а– цилиндрического; *б* – кассетного; *в*–этажерочного

Основное преимущество интерфейса модели сложного этажерочного блока (рис. 2.2) над уже рассмотренным интерфейсом этажерочного блока состоит в возможности ввода нескольких этажерок в блоке, при этом каждая а может иметь свои параметры и сложную конструкцию.

В сложном этажерочном блоке к основанию можно задавать лапки крепления прибора (рис. 2.3, *а*). Панель редактирования лапок крепления прибора позволяет производить операции добавления, удаления и редактирования. Для ввода лапки крепления указывается ее толщина, координаты расположения и габариты. Лапка крепления по оси *Z* имеет координату, равную нулю, то есть присоединяется к

основанию и имеет материал такой же, как и у основания. Количество задаваемых лапок произвольно.

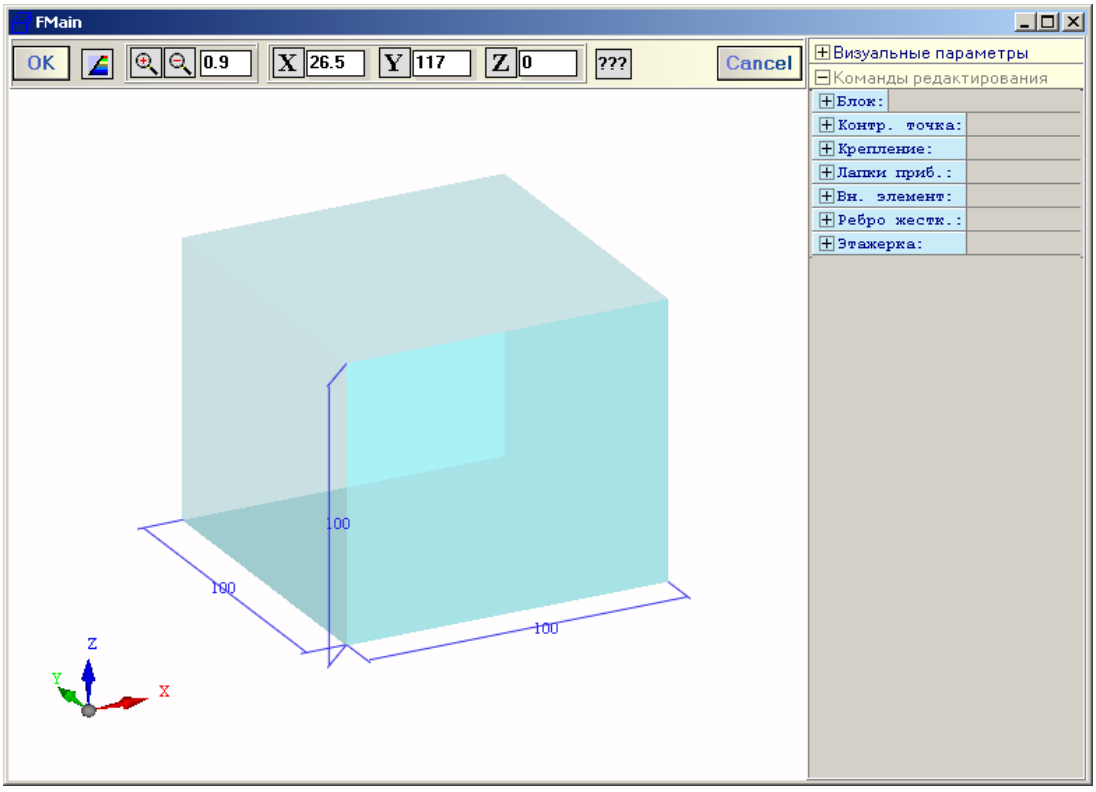
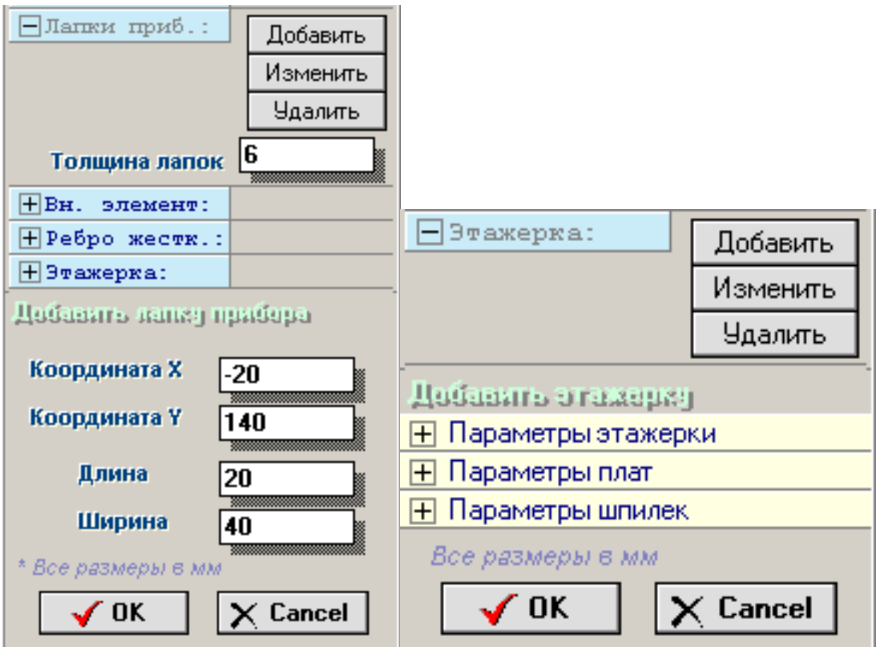


Рис. 2.2. Интерфейс сложного этажерочного блока

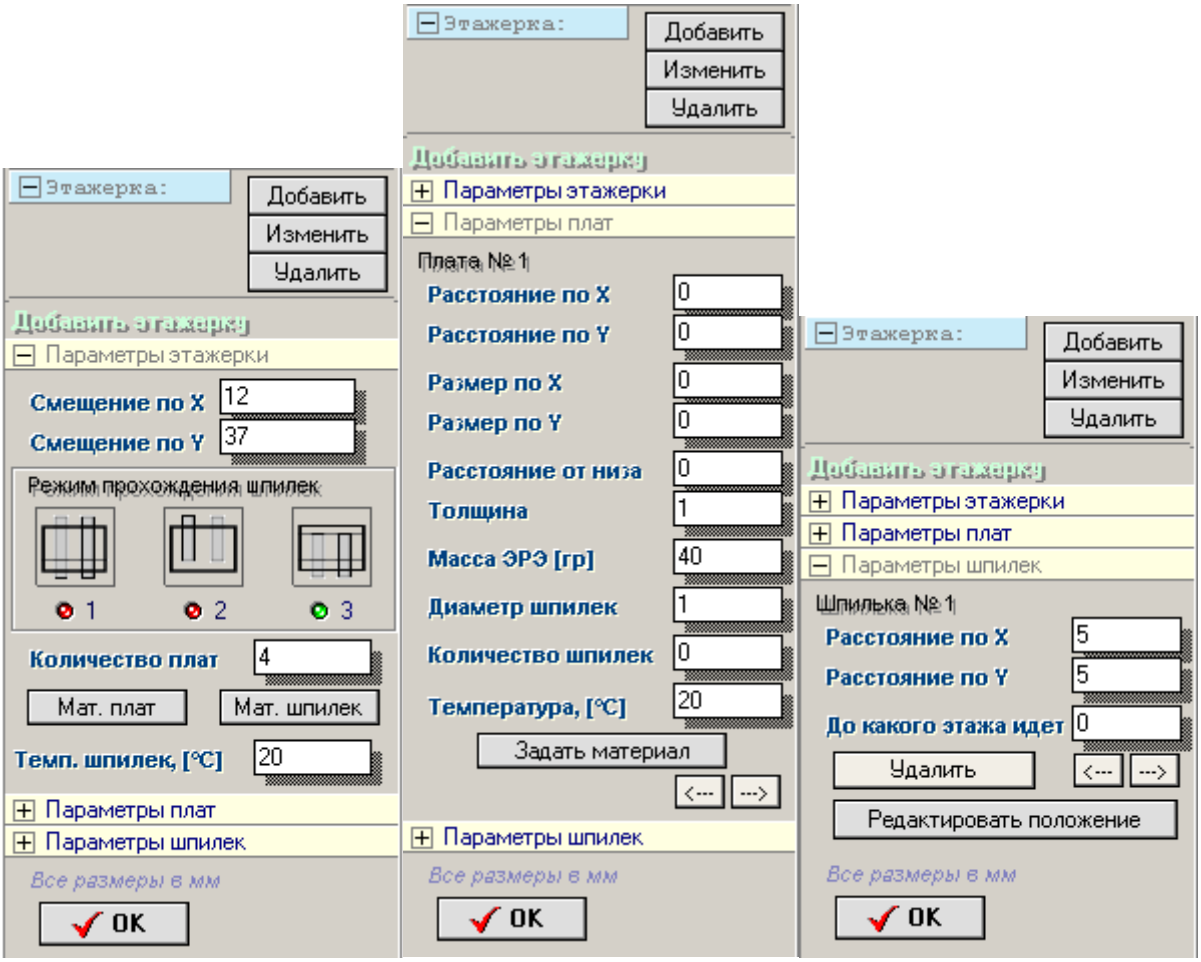


а *б*

Рис. 2.3. Панели для работы с лапками крепления (*а*) и этажерками (*б*)

Для добавления, изменения и удаления этажерок в интерфейсе блока есть соответствующая панель (рис. 2.3, *б*). Она содержит три

панели для работы с параметрами этажерки (рис. 2.4, *а*), параметрами плат (рис. 2.4, *б*) и параметрами шпилек (рис.2.4, *в*).



а *б* *в*

Рис. 2.4. Панели для работы с параметрами этажерки (*а*), параметрами плат (*б*) и параметрами шпилек (*в*)

В панели для работы с параметрами этажерки задаются смещение этажерочной конструкции относительно системы координат блока по осям *X* и *Y*, режим прохождения шпилек, количество плат, материал плат и шпилек и температура шпилек. Так же, как и в простой этажерочной конструкции, в зависимости от варианта прохождения шпильки могут крепиться сразу и ко дну, и к верхней стенке блока (режим 1), только ко дну (режим 2) или только к верхней стенке блока (режим 3). Задаваемый материал и температура для плат будут использоваться по умолчанию в дальнейшем для каждой платы и шпильки в пределах активной этажерки, а можно будет задать их и отдельно.

Для каждой платы этажерки панель (рис. 2.4, *б*) позволяет вводить смещение относительно системы координат этажерки, габариты,

высоту расположения, толщину, массу ЭРИ, расположенных на плате, диаметр шпилек, температуру и материал. Выбор активной платы производится кнопками <--- --->, ееномер отображается вверху панели.

Для активированной платы при помощи панели (рис. 2.4, *в*) производится редактирование шпилек: указываются координаты расположения каждой и этаж (плата), до которого проходит данная шпилька. Если шпилька проходит до какой-либо стенки блока, то указывается нулевой этаж. Для шпилек первой платы этажерки этаж всегда нулевой. Есть альтернативный способ задания шпилек (рис. 2.5),он вызывается нажатием кнопки Редактировать положение на панели (рис. 2.4, *в*). Внутри данного редактора изображены контур и габариты платы и шпильки в виде синих квадратов. Активная шпилька имеет зеленый цвет. Выбор расположения любой шпильки осуществляется при помощи курсора мыши. Этот редактор позволяет производить наглядный ввод, удалять любую шпильку и выполнять автоматическое добавление любого количества шпилек.

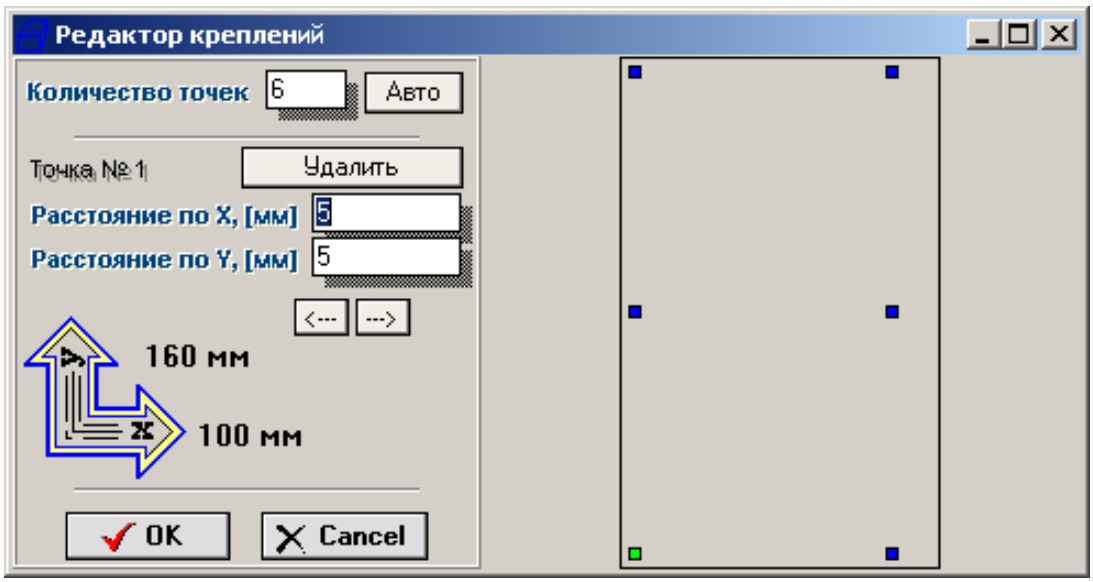


Рис. 2.5. Редактор расположения шпилек на текущей плате

Пример этажерочной конструкции, которую можно ввести средствами интерфейса сложного этажерочного блока, представлен на рис. 2.6. Изображенная конструкция имеет три платы, у каждойиз них свои параметры: толщина, диаметр шпилек, масса ЭРИ и пр. Платы каждого этажа имеют свои габариты и смещены друг относительно друга. Координаты расположения шпилек каждого этажа разные.

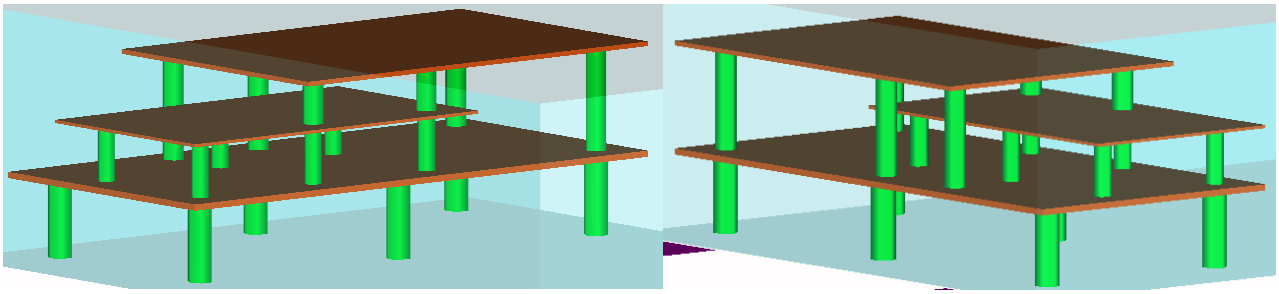


Рис. 2.6. Пример сложной этажерочной конструкции

Пример физической модели другого сложного этажерочного блока представлен на рис. 2.7. В его состав входят две этажерки,на платах которых размещены два внутренних элемента определенной массы. На стенках блока заданы три ребра жесткости. На верхней и передней боковой стенке поставлены две контрольные точки. Блок закрепляется посредством четырех лапок.

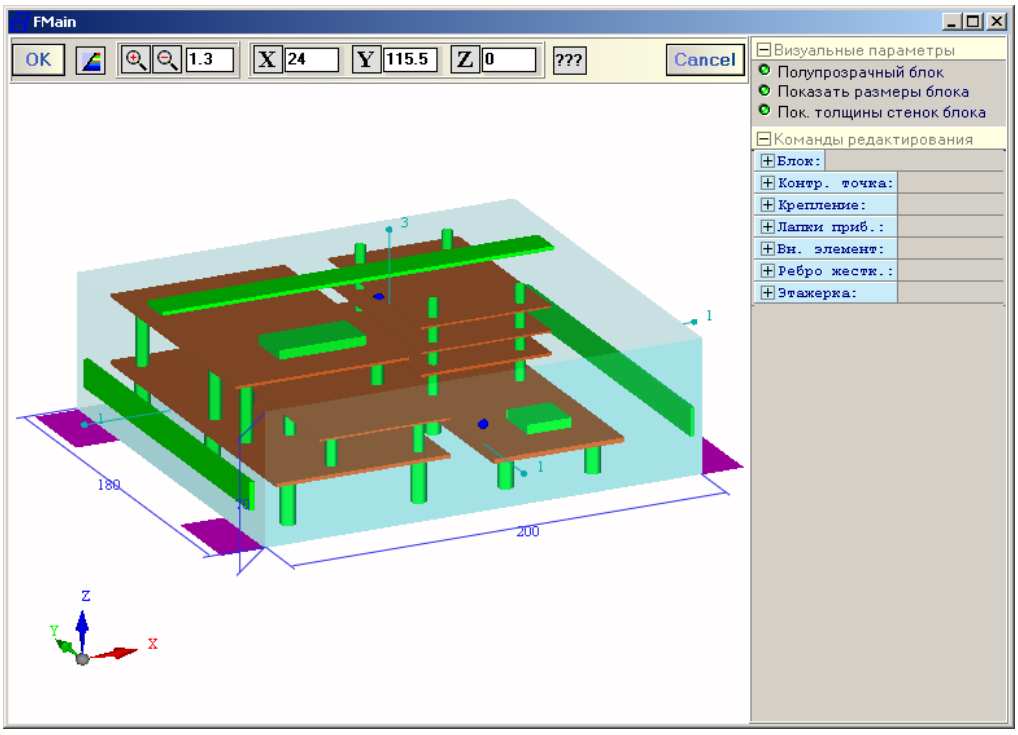


Рис. 2.7. Пример физической модели второго сложного этажерочного блока (с ребрами жесткости и лапками крепления)

Примеры других физических моделей типовых блоков представлены на рис. 2.8.

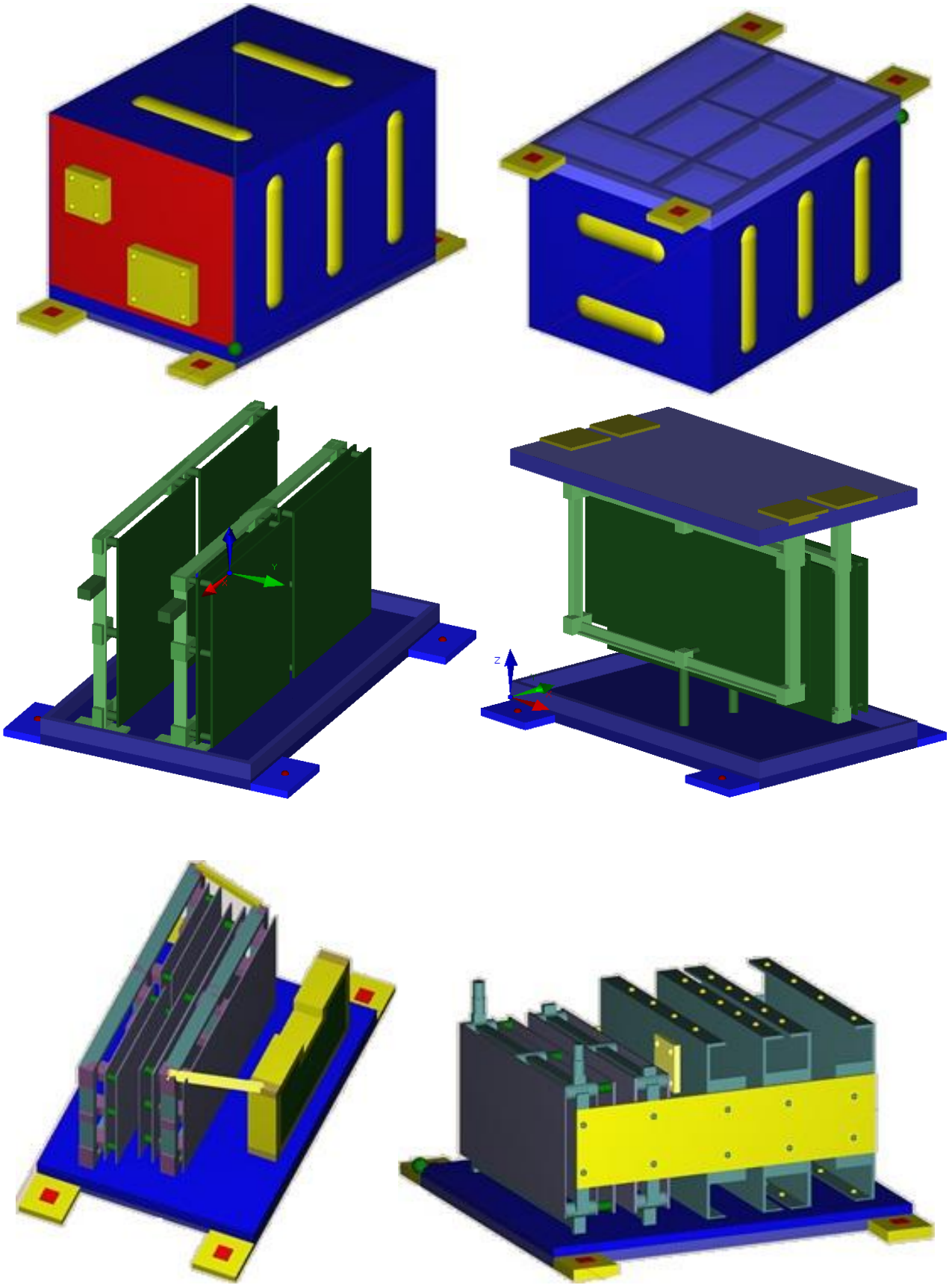


Рис. 2.8. Примеры физических моделей типовых блоков

При запуске команды «Возд...»главной инструментальной панели происходит вызов диалогового окна задания механического воздействия, показанного на рис. 2.9.

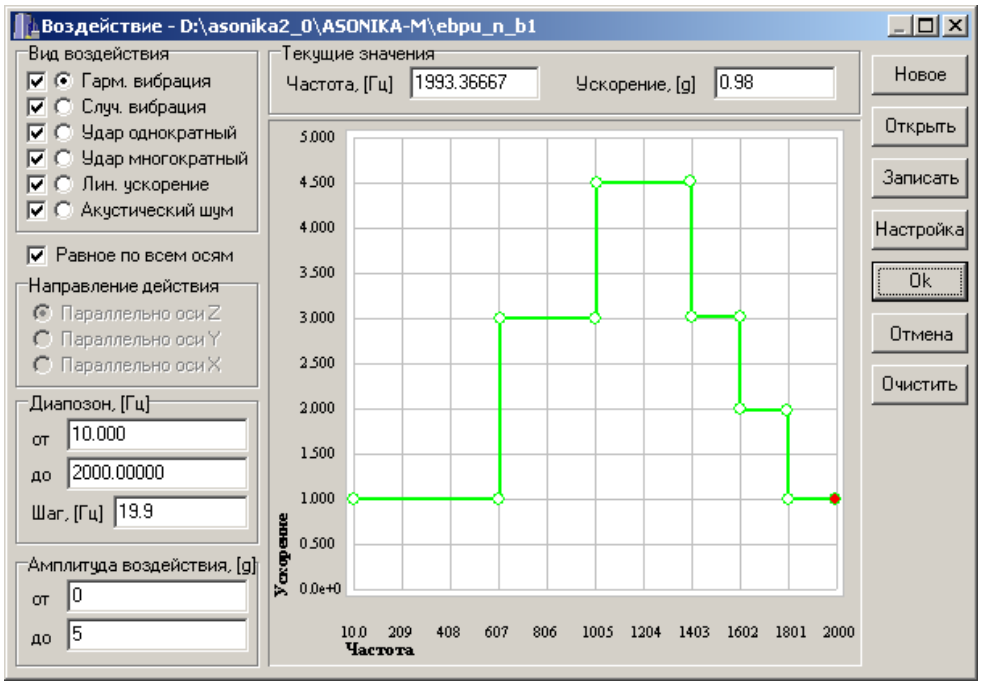


Рис. 2.9. Диалоговое окно задания механического воздействия

Примеры результатов расчета представлены на рис. 2.10, 2.11.

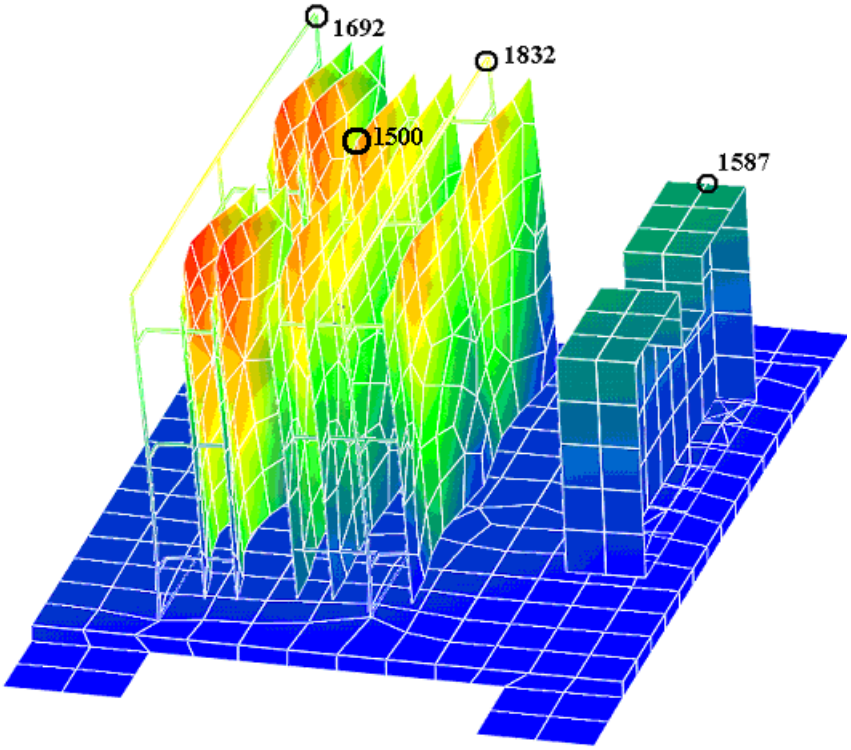


Рис. 2.10. Поля ускорений

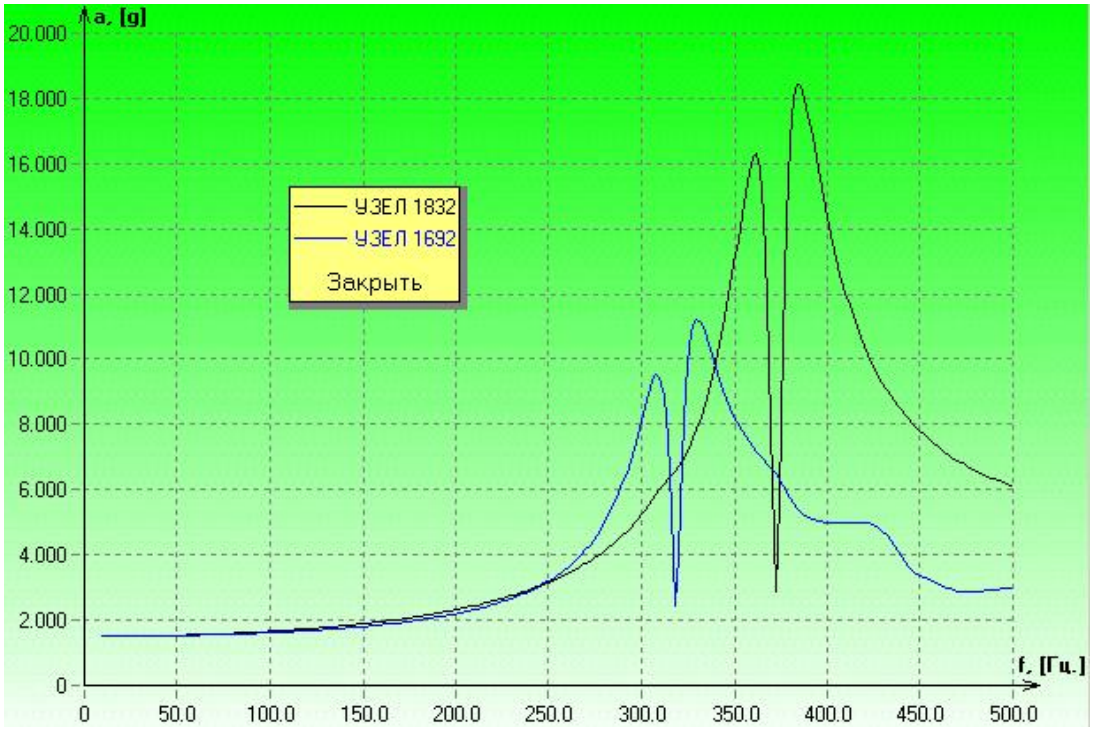


Рис. 2.11. АЧХ узлов, расположенных на верхних углах кронштейнов

2.2. Анализ и обеспечение стойкости произвольных блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-3D)

Определение динамических характеристик прибора включает несколько этапов.

1. Построение геометрической модели прибора в системе АСОНИКА-М с использованием специализированного интерфейса.
2. Задание атрибутов материалов и параметров сетки.
3. Задание граничных условий закрепления прибора.
4. Построение конечно-элементной модели прибора.
5. Задание параметров механического воздействия.
6. Проведение моделирования.
7. Анализ результатов моделирования.

Для создания конечно-элементной модели прибора или отдельной детали в подсистеме АСОНИКА-М необходимо выполнить команду основного меню монитора «Правка – Добавить элемент» и выбрать «Блок сложный (универсальный)» (рис. 2.12).

После сохранения проекта можно приступать к формированию непосредственно самой модели. Для этого нужно выделить объект в дереве объектов и перейти в режим просмотра, нажав на кнопку «Просмотр» на панели инструментов.

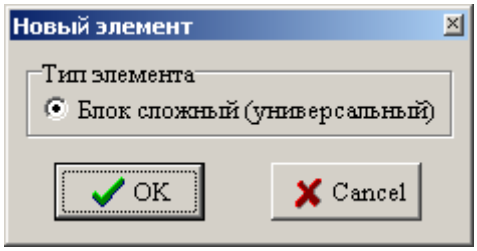


Рис. 2.12. Создание нового проекта в АСОНИКА-М-3D

На рис. 2.13 представлен графический интерфейс построения конечно-элементной модели. Графический интерфейс состоит из рабочей области, таблицы деталей и панели команд. На рис. 2.14представлены настройки цветовой палитры отображения элементов модели, цвета фона, а также параметров запуска Pro Engineer и ANSYS .

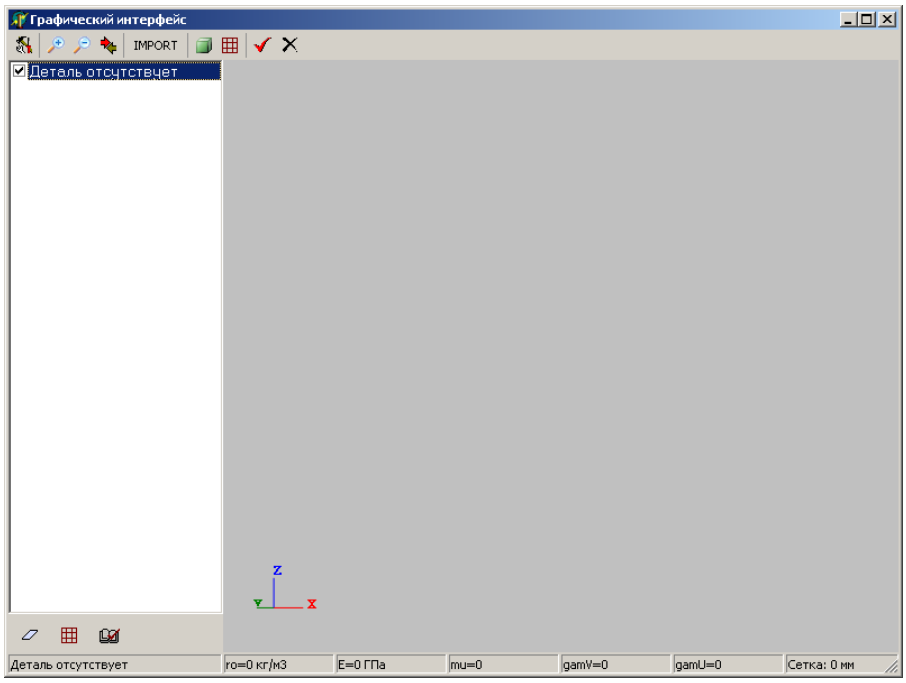


Рис. 2.13. Графический интерфейс АСОНИКА-М-3D

Для изменения масштаба отображения модели необходимо использовать кнопки (увеличить масштаб) и (уменьшить масштаб). Масштабирование можно осуществлять также с использованием колесика мыши (скроллинга).

Для изменения положения локальной системы координат (ЛСК) модели в пространстве используется мышь и клавишаCTRL. Для поворота осей координат необходимо удерживать левую кнопку мыши, для сдвига – правую. Для возвращения положения ЛСК в исходную позицию необходимо нажать на кнопку .

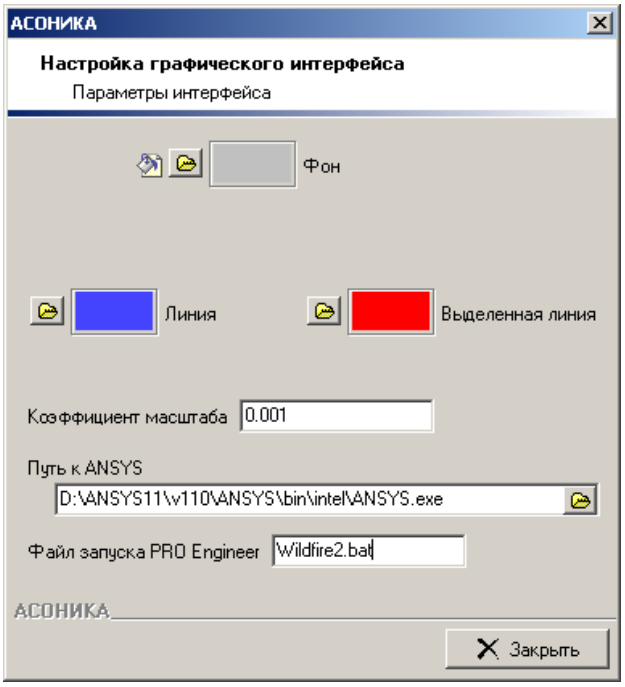


Рис. 2.14. Настройки

Для завершения работы графического интерфейса с сохранением результатов редактирования необходимо нажать на кнопку , без сохранения – .

Для импорта геометрии модели из системы PROEngineer необходимо нажать на кнопку IMPORT и в появившемся диалоговом окне выбрать необходимый файл в формате *.IGES. Затем в появившемся окне нажать на кнопку «OK» (рис. 2.15).

По завершении работы системы ANSYS в рабочей области интерфейса обрисовывается геометрия конструкции прибора или отдельной детали (рис. 2.16).

Для выбора детали модели можно использовать клавишу ALT и левую кнопку мыши или непосредственное выделение в таблице деталей.При выделении детали в статусной строке графического интерфейса отображается информация о параметрах материала и сетки выделенной детали.

Для задания материала модели необходимо нажать на кнопку (рис. 2.17). Для выбора материала из базы данных – кнопку Загрузить из БД (рис. 2.18).Для задания параметров сетки детали необходимо нажать на кнопку (рис. 2.19).

Для задания материала и параметров сетки в целом для всей конструкции необходимо использовать кнопки и панели команд соответственно.

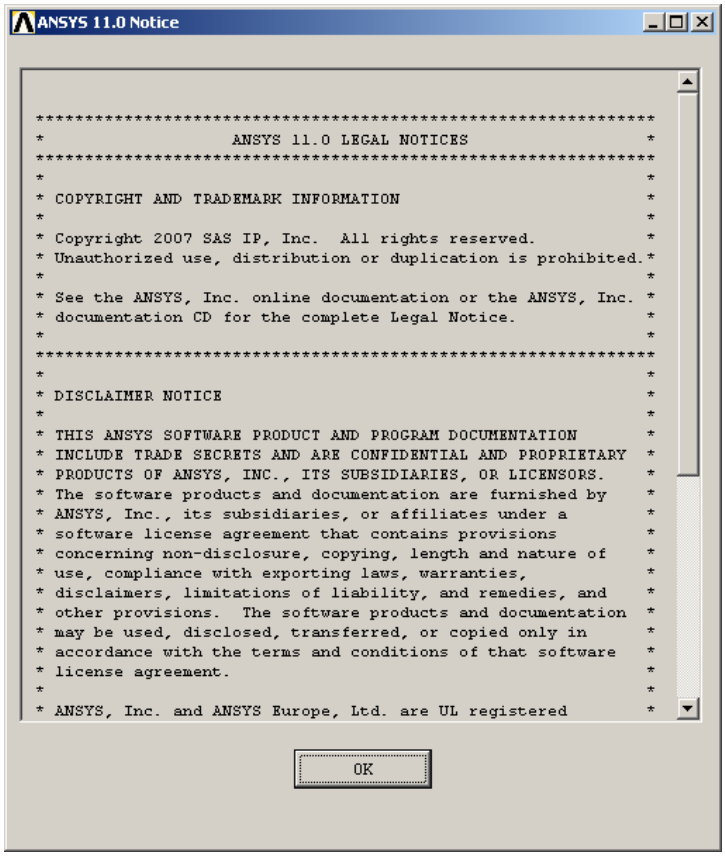


Рис. 2.15. Импорт геометрии модели из системы PRO Engineer

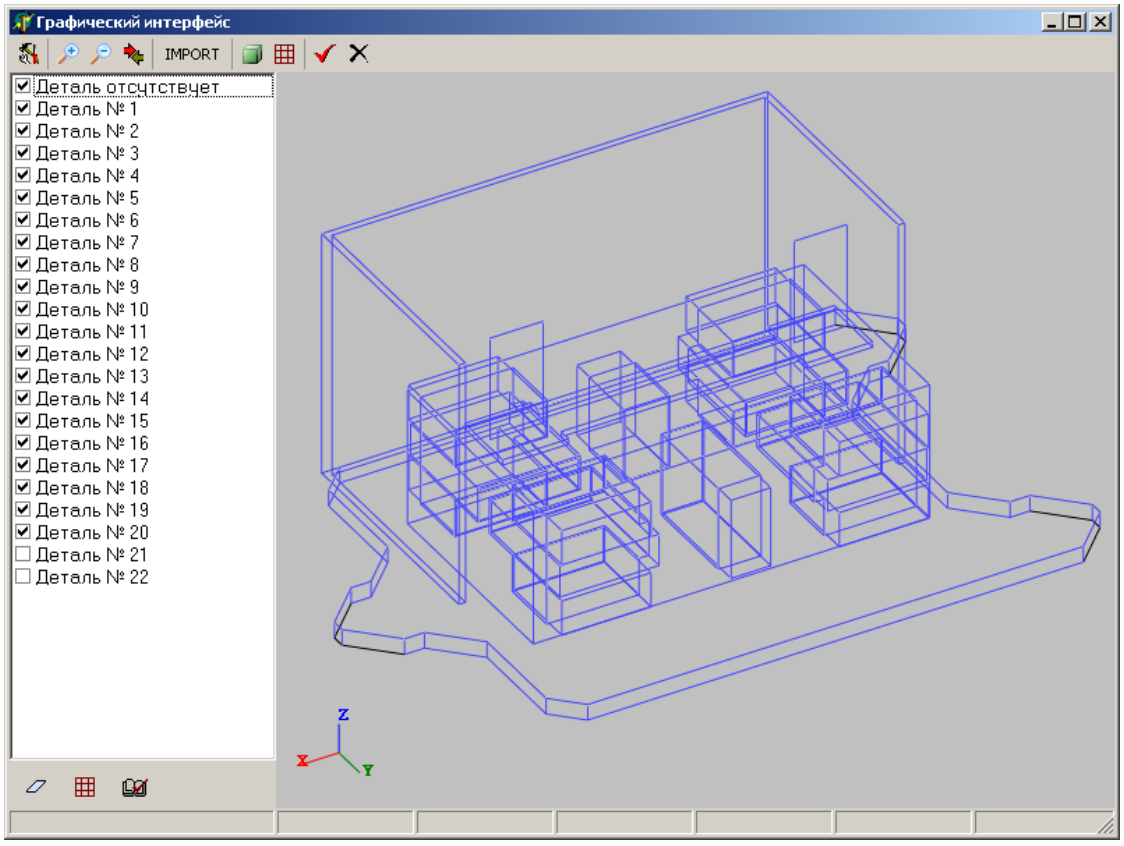


Рис. 2.16. Импортированная конструкция прибора

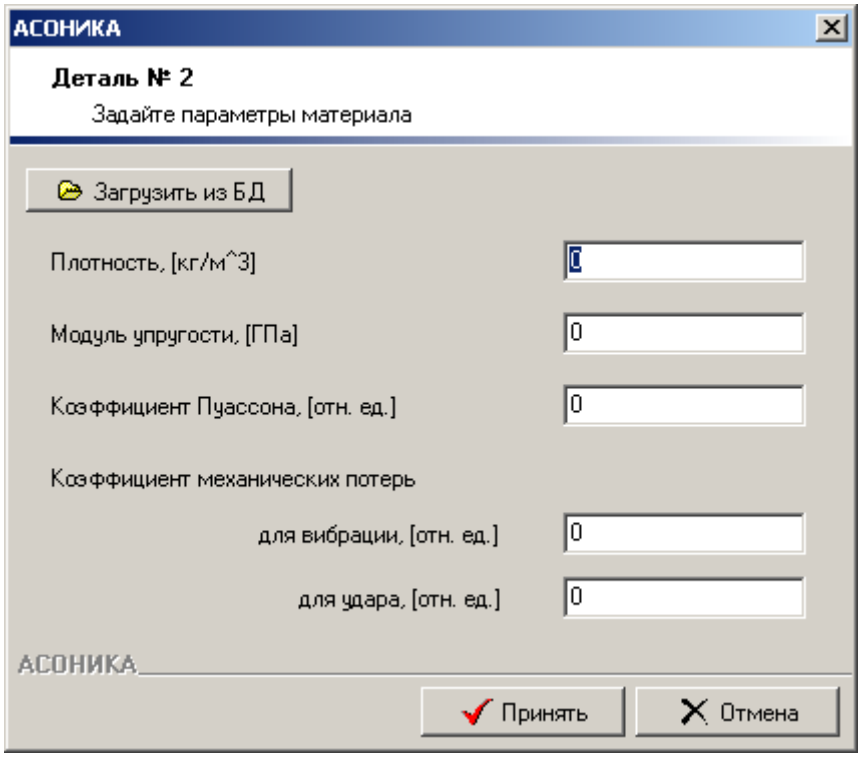


Рис. 2.17. Задание материала

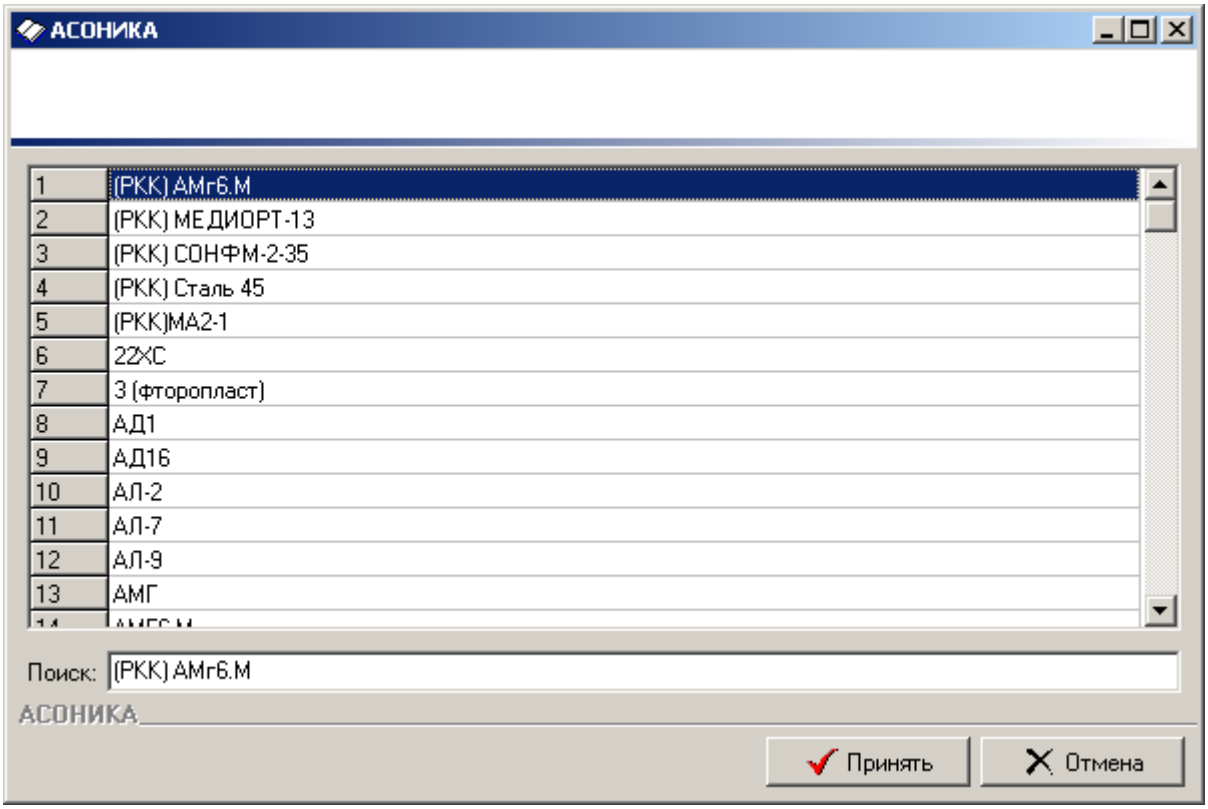


Рис. 2.18. Выбор материала из базы данных

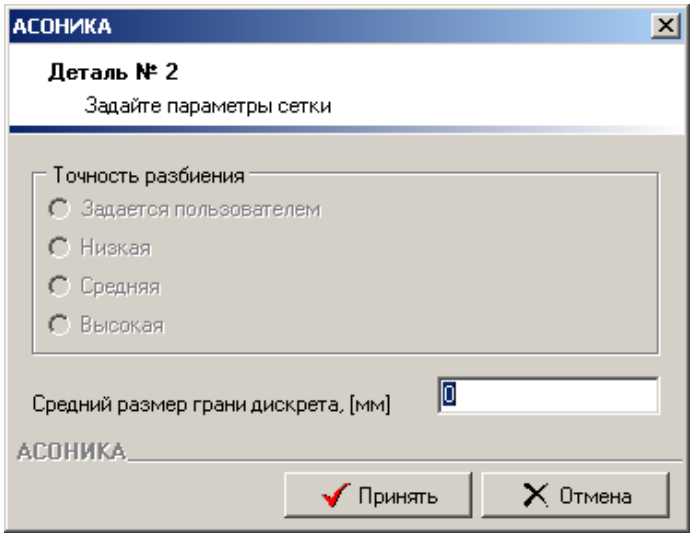


Рис. 2.19. Задание параметров сетки детали

Для переименования детали необходимо нажать на кнопку , в появившемся диалоговом окне ввести новое название детали (рис. 2.20). Если в таблице деталей рядом с названием детали отсутствует галочка, то деталь не обрисовывается, но при этом все равно будет присутствовать в конечно-элементной модели.

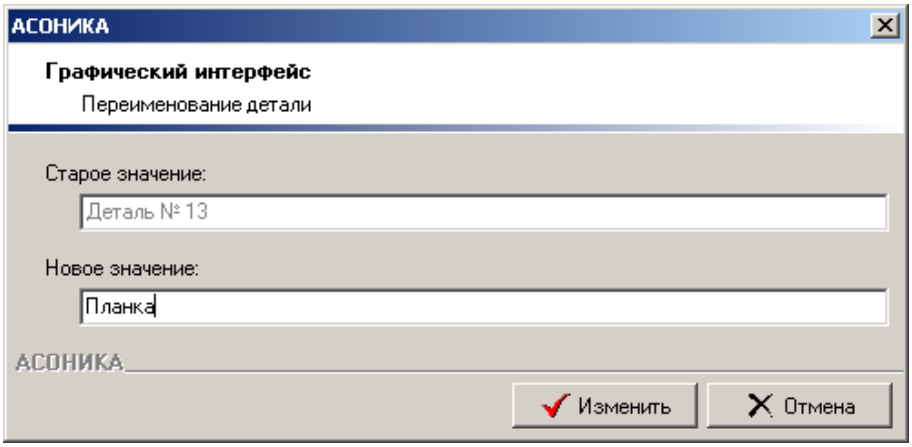


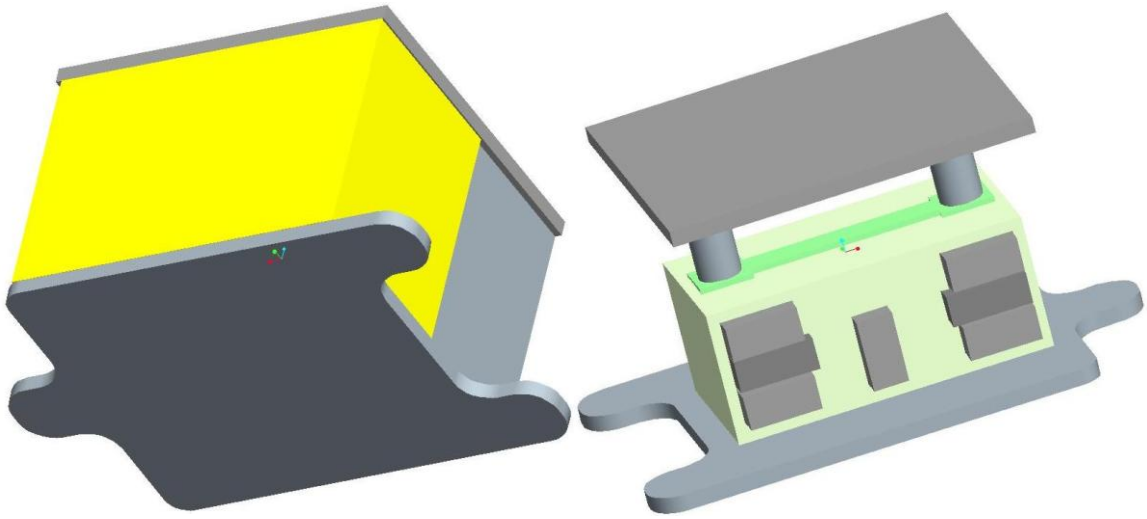
Рис. 2.20. Переименование детали

Для задания граничных условий (крепления) необходимо использовать клавишу SHIFT и левую кнопку мыши, правую – для удаления. Кнопка используется для тестирования сетки. В случае необходимости предлагается изменить сетку для конкретной детали. После того как введены все исходные данные, необходимо нажать кнопку «Применить» .

Конечно-элементная модель прибора строится автоматически, детали в сборке также склеиваются автоматически. Ранее читались только модели в формате *.IGESиз системы Pro Engineer, поэтому подсистема называлась АСОНИКА-М-IGES. В настоящее время про-

изводится импорт 3D-моделей из любой CAD-системы в формате *.SAT, и подсистема стала называться АСОНИКА-М-3D.

Рассмотрим пример создания конечно-элементной модели прибора. На рис. 2.21представлена 3D-модель прибора с крышками и без них.



а *б*

Рис. 2.21. 3D-модель прибора:
а– с крышками; *б*– без крышек

Порядок построения конечно-элементной модели прибора следующий.

Шаг 1. Запускаем подсистему АСОНИКА-М-3D. Выполняем команду главного меню «Правка – Добавить элемент» и выбираем пункт «Блок сложный (универсальный)». Затем сохраняем проект. Выделяем пункт «Блок сложный (универсальный)» в дереве объектов и нажимаем на кнопку «Просмотр» панели инструментов.

Шаг 2. Произведем импорт геометрии прибора из системы Pro Engineer. Войдем в настройки графического интерфейса и в поле «Коэффициент масштаба» зададим значение 0,001, так как размеры прибора в системе Pro Engineer заданы в миллиметрах. Затем выполним команду IMPORT панели инструментов и выберем файл сборки с расширением *.IGES. Далее нажимаем на кнопку «OK» диалогового окна проверки лицензии ANSYS и ждем завершения операции импорта геометрии прибора. Результат операции импорта показан на рис. Рис. 2.22.

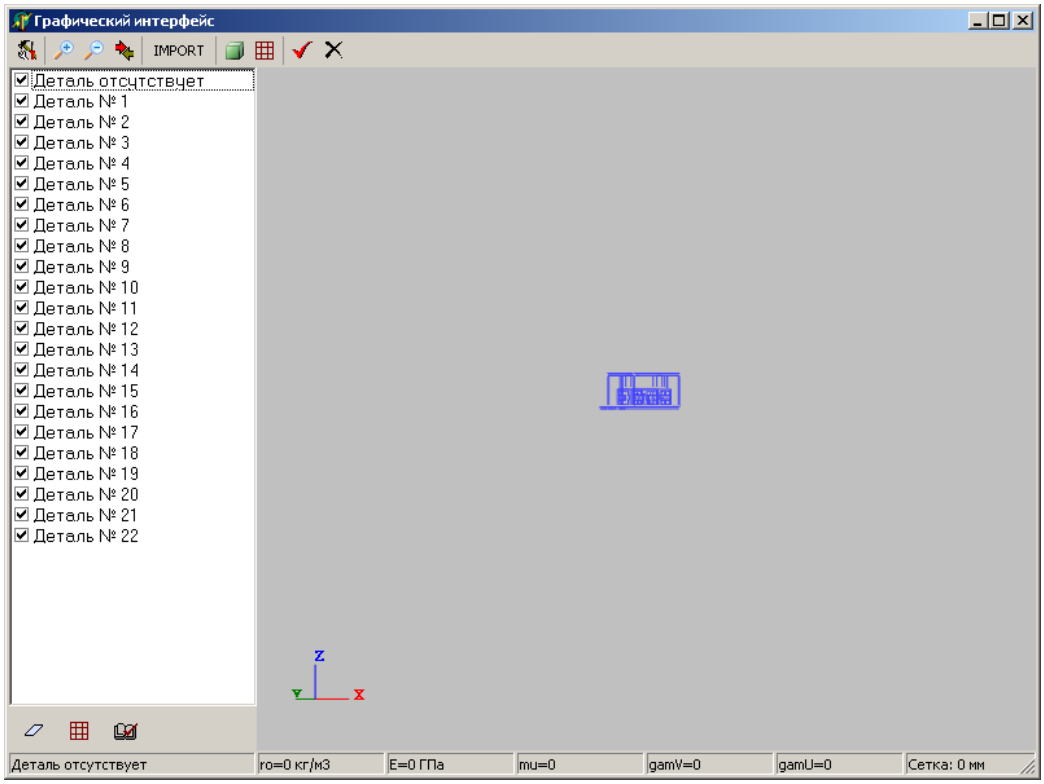


Рис. 2.22. Импорт геометрии прибора

Шаг 3. Произведем масштабирование и изменение положения локальной системы координат прибора с использованием операций перемещения, поворота и изменения масштаба (рис. 2.23).

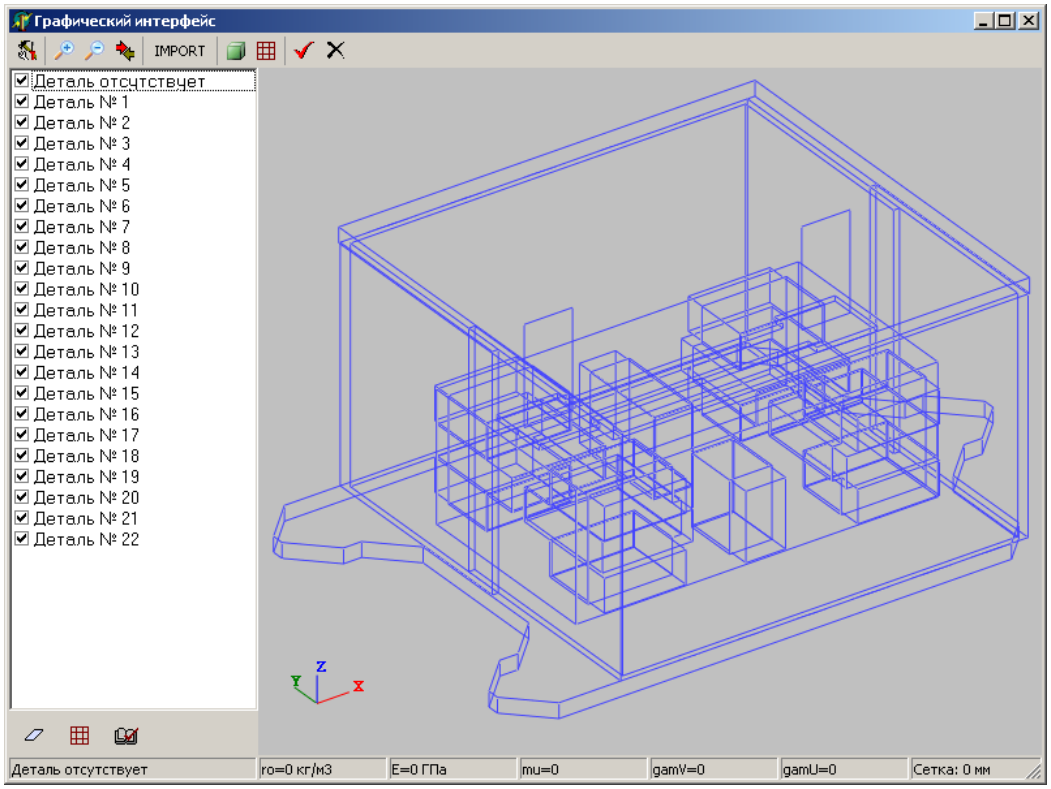


Рис. 2.23. Масштабирование

Шаг 4. Произведем переименование деталей прибора. Для этого выбираем нужную деталь в таблице, нажимаем на кнопку и вводим название детали. Результат переименования показан на рис. 2.24.

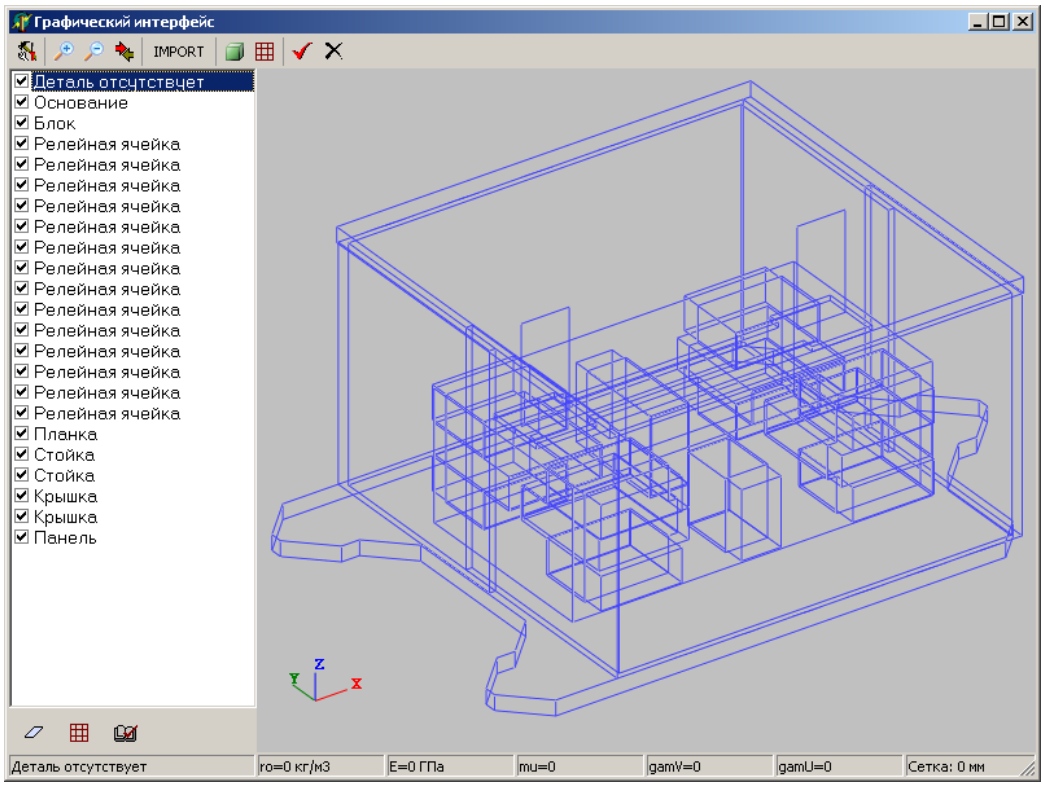


Рис. 2.24. Переименование деталей прибора

Шаг 5. Назначение материалов деталям конструкции прибора. Материал можно задавать для каждой детали.Если же для какой-либо детали материал не задан, то при моделировании используются параметры материала, заданного в целом для всей конструкции. Из 22 деталей конструкции прибора 14 (большинство) представляют собой релейные ячейки, материал которых идентичен, поэтому мы не будем задавать материал для каждой ячейки. Нажимаем на кнопку панели инструментов (рис. 2.25) и выбираем из базы данных медиорт (рис. 2.26). Далее поочередно задаем материал для остальных деталей конструкции: выбираем деталь в таблице и нажимаем на кнопку и либо задаем параметры материала, либо выбираем материал из базы. Для деталей «Основание», «Блок», «Планка», «Крышка», «Панель» задаем материал АМг6.М, для деталей «Стойка» – сталь 45.

Шаг 6. Задание параметров сетки. По аналогии с материалом параметры сетки можно задавать либо каждой детали, либо в целом для всей конструкции. Для задания параметров сетки в целом для всей конструкции необходимо нажать на кнопку панели инструментов,

для отдельной детали – на кнопку , расположенную под таблицей деталей. Для деталей «Блок», «Планка», «Крышка», «Панель» задаем средний размер грани дискрета – 10 мм.

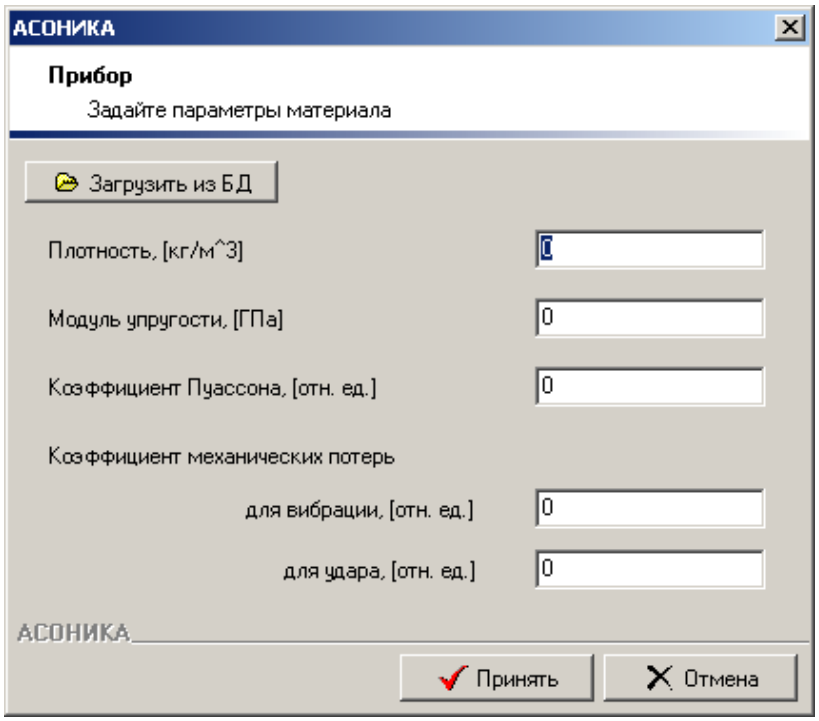


Рис. 2.25. Задание параметров материала

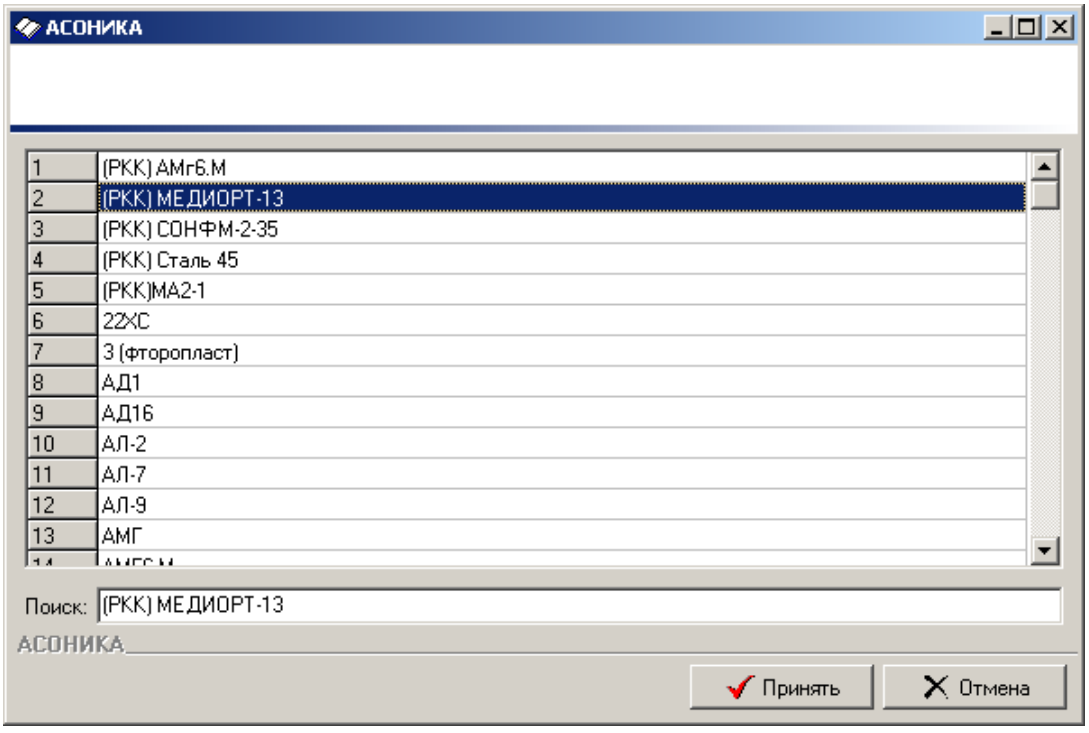


Рис. 2.26. Выбор из базы данных медиорта

Шаг 7. Задание граничных условий. Закрепим лапки прибора. Для этого, удерживая клавишу SHIFT, выбираем с помощью левой

кнопки мыши линии, в которых мы ограничиваем перемещения конструкции прибора. Выбранные линии обрисовываются черным цветом. Результат задания граничных условий показан на рис. 2.27.

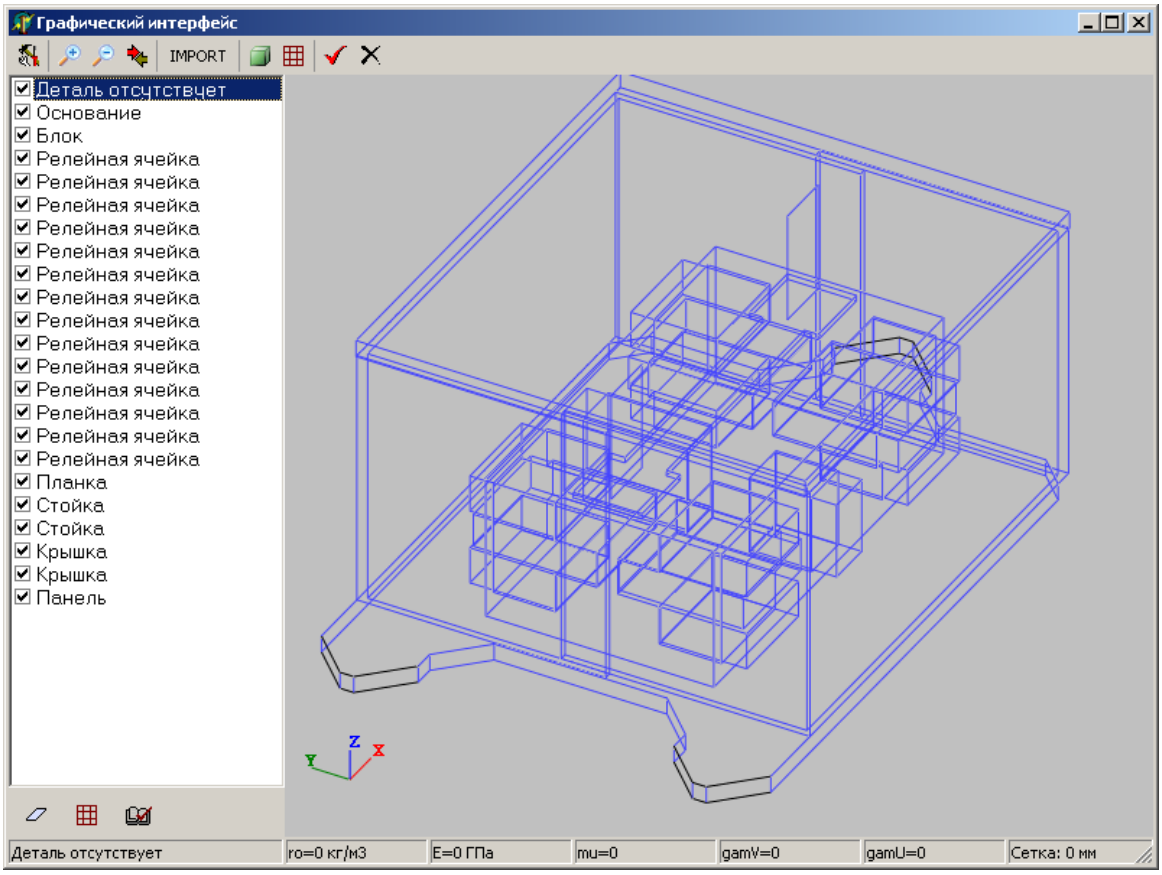


Рис. 2.27. Задание граничных условий

Шаг 8. Завершаем работу графического интерфейса с сохранением. При необходимости модель прибора можно отредактировать, непроизводя импорт геометрии прибора каждый раз.

Шаг 9. Задаем механические воздействия и запускаем на расчет. Конечно-элементная модель прибора строится в автоматическом режиме на основе модели прибора, описанной в графическом интерфейсе. Задание механического воздействия, выполнение расчета и отображение результатов моделирования производится в соответствии с руководством пользователя подсистемы АСОНИКА-М.

На рис. 2.28представлены конечно-элементная модель и поля ускорений гармонической вибрации прибора на первой резонансной частоте 583 Гц.

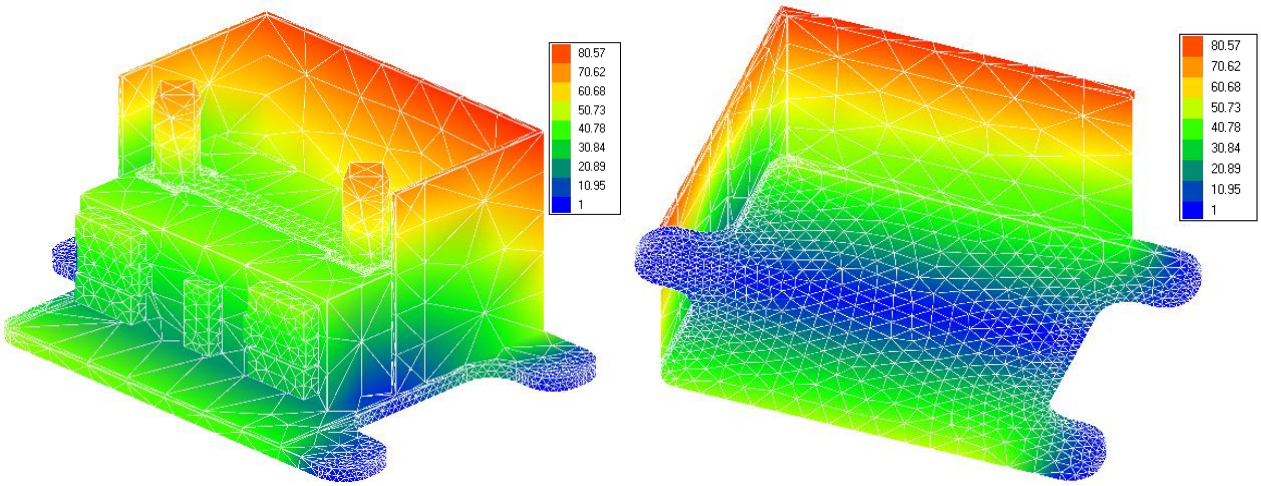


Рис. 2.28. Результаты моделирования прибора

2.3. Анализ и обеспечение стойкости типовых конструкций шкафов РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-ШКАФ)

Моделирование объекта РЭС на воздействие внешних механических факторов позволяет определить такие динамические характеристики объекта, как резонансные частоты, ускорения и механические напряжения и соответственно оценить прочность и устойчивость моделируемого объекта.

Точность полученной модели оценивается степенью совпадения значений параметров динамических характеристик реального объекта, полученных в ходе эксплуатации или натурных испытаний, и значений тех же параметров, полученных в процессе моделирования.

К внешним дестабилизирующим факторам относятся механические воздействия: вибрации, удары, линейное ускорение и акустический шум.

При вибрационных воздействиях возникают знакопеременные механические напряжения, что приводит к накоплению усталостных повреждений в материалах конструкций и при длительном воздействии вибрации может привести к потере работоспособности РЭС. Чем дольше продолжительность вибрационного воздействия, тем быстрее наступает потеря работоспособности аппаратуры.

Гармонической вибрацией называется колебательный процесс, описываемый уравнением

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi),$$

где A – амплитуда;$\omega = 2\pi f$– круговая частота;$T = 1/f$– период; f – частота;φ– начальная фаза. При моделировании прибора начальная фаза не учитывается, а гармоническая вибрация задается в виде зависимости амплитуды виброускорения от частоты вибрации в диапазоне от нижнего $f_н$ до верхнего $f_в$ значения частоты. Полигармоническая вибрация в отличие от гармонической описывается более сложным законом изменения амплитуды виброускорения во времени. Моделирование прибора на воздействие такой вибрации осуществляется по аналогии с моделированием ударно-импульсного нагружения многократного действия.

Ударные воздействия возникают при транспортировке, монтаже, эксплуатации, а также при действии ударной волны. В процессе удара нагрузки к элементам конструкции прикладываются в течение короткого промежутка времени, но зачастую имеют значительную амплитуду, вследствие чего возникающие ускорения и напряжения элементов конструкции могут достигать больших значений и вызывать различные повреждения вплоть до механического разрушения. Интенсивность ударного воздействия зависит от формы, амплитуды и длительности ударного импульса.

Одиночный ударный импульс, повторяющийся с определенной периодичностью, называется импульсным ударом многократного действия. При моделировании ударные воздействия задаются в виде графика (таблицы) зависимости ускорения ударного воздействия от времени.

Линейные ускорения характерны для всех объектов, движущихся с переменной скоростью (например, при разгоне, торможении). Влияние линейных ускорений на элементы конструкций обусловлено инерционными силами, которые могут достигать и во много раз превышать силы тяготения. При движении объекта по криволинейной траектории, например по дуге окружности, элементы конструкции аппарата будут испытывать центробежное ускорение. Трудность борьбы с влиянием линейных перегрузок заключается в том, что они практически не поддаются ослаблению.

Случайную вибрацию разделяют на стационарную и нестационарную. Стационарные случайные вибрации имеют нормальный закон распределения. Отклонение закона распределения амплитуд ускорений от нормального распределения для нестационарных вибра-

ций обусловлено наличием периодических вибраций в суммарном случайном процессе.

Мерой случайной вибрации является спектральная плотность, которая определяет распределение дисперсии, или мощности процесса, по частоте*S(f)*.

Случайная вибрация, имеющая постоянную спектральную плотность, называется «белым шумом». Это название принято в связи с аналогией с белым (естественным) светом: белый свет представляет собой сумму всех спектральных составляющих, имеющих одну и ту же интенсивность. «Белый шум» представляет собой сумму гармонических колебаний всех частот, имеющих одну и ту же дисперсию амплитуды. «Белый шум» – чисто случайный процесс, в котором реализации $x_k^{(t)}$ взаимно независимы для любого конечного множества значений времени*t*.

Моделирование нестационарной случайной вибрации требует большого количества реализаций функций зависимости ускорения от времени $x(t)$ и на практике не применяется.

Результатами моделирования являются значения прогибов, ускорений и напряжений в узлах конечно-элементной сетки при каждом значении времени или частоты.

Входными данными для подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ являются чертежи конструкций, а также данные технического задания на разработку изделия. Подсистема АСОНИКА-М включает базу данных с геометрическими и физико-механическими параметрами ЭРИ и конструкционных материалов.

Выходными данными подсистемы являются поля перемещений, ускорений, напряжений, а также графики зависимостей ускорений и перемещений от времени и частоты.

Интерфейс шкафа представляет собой приложение, позволяющее рассчитывать шкафы РЭС различной конфигурации. Для этого первоначально необходимо провести построение конструкции необходимой модели шкафа по имеющейся конструкторской документации на проектируемый прибор:

– задаем необходимое количество этажей в конструкции;

– задаем размеры шкафа.

Далее переходим к заданию размера направляющих для блоков, входящих в состав шкафа. Также в конструкцию можно при необходимости добавить вырезы в любом месте.

Если в составе шкафа присутствуют несколько этажей, то для задания параметров каждого конкретного этажа необходимо сначала задать параметры блока, находящегося на конкретном этаже, а затем параметры плат, входящих в состав выбранного блока:

– расстояние от задней стенки шкафа;

– расстояние от низа шкафа;

– размеры блока по всем трем измерениям;

– количество плат в блоке.

После того как модель построена (рис. 2.29), строим дерево конструкции из всех деталей, входящих в нее. Если необходимо, то для удобства пользователя можно переименовать стандартное название деталей в те названия, которые соответствуют наименованиям элементов шкафа по конструкторской документации. По каждой детали задаем материал и размер дискрета конечно-элементной сетки. Имеется возможность задания сетки сразу для нескольких деталей или сразу для всех деталей дерева конструкции шкафа, а также можно задавать сетку на каждую деталь в отдельности, что является очень удобным при работе с объемными моделями.

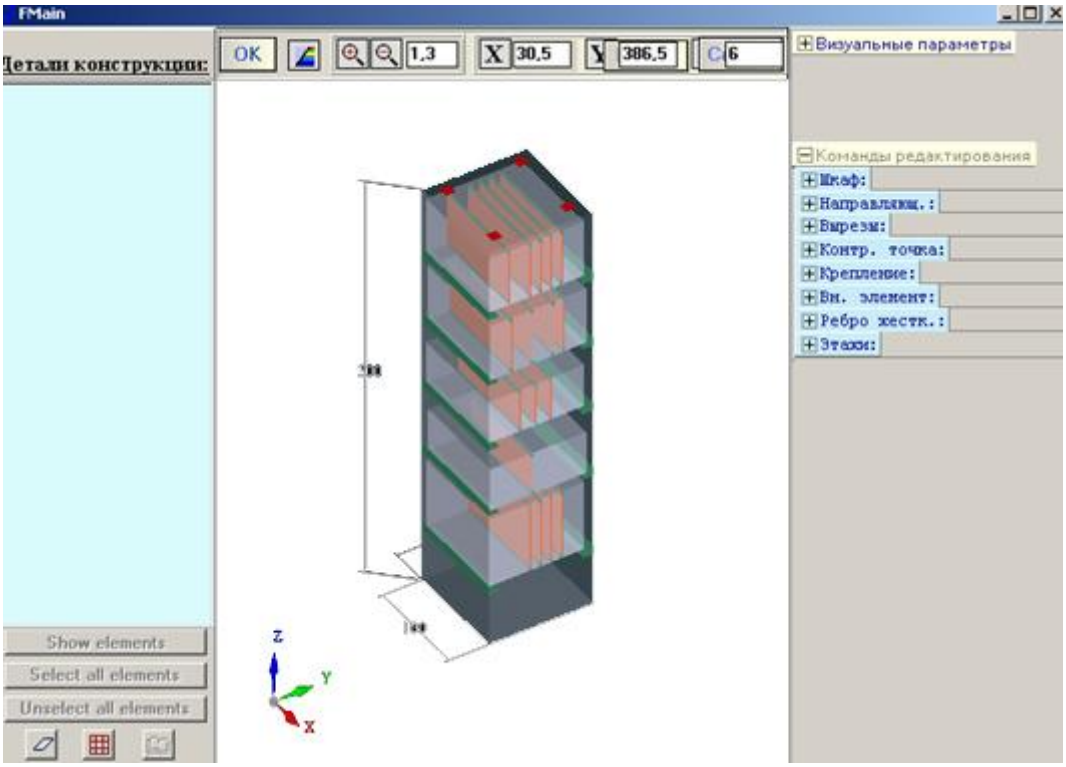


Рис. 2.29. Общий вид построенного в интерфейсе шкафа

После построения модели в интерфейсе подсистемы необходимо обязательно задать крепление конструкции по любой из шести имеющихся граней. Также есть возможность выбрать конфигурацию элементов крепления круглого или прямоугольного сечения. Для этого следует ввести параметры крепления в пункте меню «Крепление». Для прямоугольного крепления такими параметрами являются две координаты центра и длина и ширина прямоугольника; для цилиндрического крепления – две координаты центра и радиус. Далее нужно выбрать грань конструкции на которую накладывается ограничение по степеням свободы. Креплениядобавятся автоматически в те места, куда мы укажем.

Пользователь может добавить в конструкцию дополнительные внутренние элементы в виде массы. Технология добавления аналогична той, которая используется для добавления креплений конструкции. Можно также добавить ребра жесткости в конструкцию, где это является необходимым. После построения произвольной конструкции типового элемента «Шкаф твердотельный» в рамках интерфейса предоставляется механизм, который по выходным данным формирует входные макросы для проведения структурного анализа с использованием функционала подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ:

– InitShkaf.mac – макрос, в котором описаны все инициализирующие переменные, используемые для построения шкафа и всех элементов его конструкции, такие как длина, ширина, высота шкафа, количество этажей, толщины всех стенок шкафа и блоков, входящих в состав шкафа;

– BegData.mac – макрос, описывающий тип конечного элемента, использующегося для разбиения элементов конструкции;

– BuildShkaf.mac – макрос, в котором производится расчет дополнительных промежуточных параметров, используемых при построении модели шкафа, а также непосредственное построение всех элементов шкафа, включая внутренние блоки, направляющие для них и все платы, входящие в состав каждого блока;

– Kreplenia.mac – макрос, задающий все необходимые параметры крепления вновь построенного для расчета шкафа как прямоугольной, так и цилиндрической формы; параллельно с этим для каждой конкретной стенки шкафа производится предварительное преобразование рабочей системы координат;

– Material.mac – макрос, описывающий все материалы, входящие в состав конструкции по каждой конкретной детали с точки зрения их механических параметров, таких как модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность, коэффициент демпфирования;

– setka.mac – вспомогательный макрос, использующийся для дифференцирования объемов после проведения с ними определенных необходимых в приложении манипуляций.

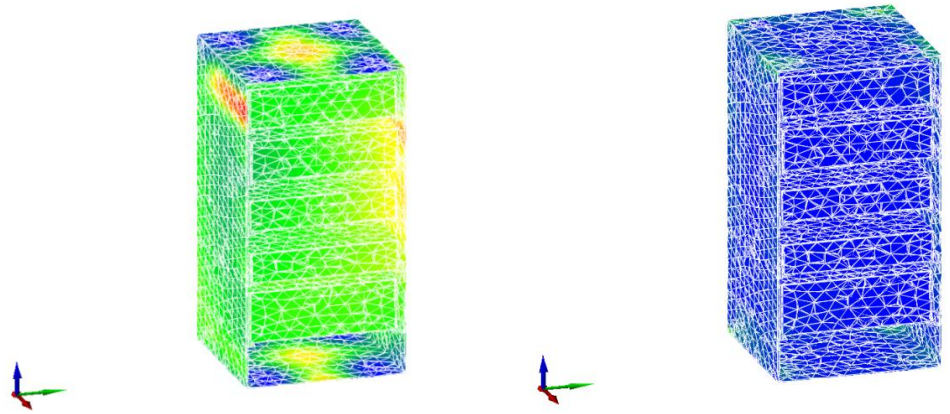
После формирования вышеперечисленных макросов мы завершаем работу с интерфейсом шкафа и переходим непосредственно к интерфейсу подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ для задания механического воздействия. После данных манипуляций системой формируется еще один очень важный макрос, участвующий в расчетах, – InitSolution.mac – макрос, задающий тот или иной тип механического воздействия, на которое следует произвести расчет, например одиночное ударное воздействие, гармоническая или случайная вибрации.

Далее проводится структурный анализ конструкции на то или иное механическое воздействие. Для расчета используется математический аппарат мощной расчетной системы ANSYS 11, взаимодействие с которой обеспечивают специальные макросы. Макрос представляет собой набор команд ANSYS, сохраненных в отдельном файле. Одним из наиболее важных этапов при разработке данной подпрограммы является разработка макросов. Последние представляют собой подпрограммы, написанные на языке параметрического конструирования APDL системы ANSYS и запускающиеся на выполнение в пакетном режиме системы, что позволяет в некоторой степени экономить возможности аппаратных ресурсов расчетной станции. При создании макросов были учтены все нюансы, полностью отражающие конструкцию в интерфейсе подсистемы.

Наиболее трудоемким этапом при создании указанного интерфейса стало непосредственное написание макросов для ANSYS, так как данная система специализирована для проведения всех видов механических расчетов и требует определенной математической подготовки и знаний в данной области. В этом случае АСОНИКА-М – наиболее удобный инструментарий для работы конструктора и удобный механизм для взаимодействия с ANSYS.

После того как расчет выполнен, пользователю подсистемы предоставляется возможность просмотреть результаты структурного анализа модели на то или иное механическое воздействие с использо-

ванием удобного интерфейса и оценить прочностные характеристики созданной модели при действующих нагрузках, а также определить места конструкции, где возникают перегрузки, и просмотреть нагрузки в каждом из имеющихся узлов конструкции, выяснить места, в которых имеется возможность провести оптимизацию конструкции. Результаты расчета приведены на рис. 2.30.



а *б*

Рис. 2.30. Результаты расчета в подсистеме АСОНИКА-М-ШКАФ:
а – ускорения в модели шкафа; *б*– напряжения в модели шкафа

Часто при проектировании параметры конструкции берутся заранее с большими запасами по механическим характеристикам. Однако эти запасы могут оказаться неоправданно большими, то есть требования по прочности могут выполнятся и при значительно меньших значениях параметров, влияющих на массу изделия, например толщины стенки шкафа. В результате получаем завышенные значения массы конструкции. Чтобы подобного не происходило, нужно определиться с предельным значением выходной характеристики и устремить разницу между расчетным значением выходной характеристики и ее предельным значением к нулю, то есть минимизировать эту разницу, что может быть сделано путем варьирования выбранных параметров.

Для каждой выходной механической характеристики практически всегда есть предельное значение: для ускорения – это максимально допустимое ускорение; для перемещения – это расстояние между частями конструкции, между которыми возможны соударения; для механического напряжения – это предел прочности; для времени до усталостного разрушения выводов РЭС – это суммарная длительность механических воздействий на аппаратуру в условиях эксплуатации.

2.4. Анализ и обеспечение стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах (АСОНИКА-В)

2.4.1. Метод автоматизированного синтеза конструкции РЭС на виброизоляторах, стойкой к механическим воздействиям

Основу метода автоматизированного синтеза конструкции РЭС-на виброизоляторахсоставляет электронная модель (ЭМ)радиоэлектронного средства, хранящаяся в PDM-системеАСОНИКА-УМ. Электронная модель представляет собой единое пространствопараметров и переменных модельного ряда, отражающего конструкторско-технологическую реализацию отдельных частей или РЭС в целом, полученную в результате проектирования и комплексных исследований характеристик РЭС средствами математического моделирования, осуществляемого, в свою очередь, в рамках информационного («электронного») взаимодействия разработчиков на любом этапе жизненного цикла РЭС с использованием CALS-идеологии. Важной составляющей метода является справочная база данных, хранящая характеристики типовых виброизоляторов и материалов элементов конструкции. Структурная схема метода представлена на рис. 2.31.

Блок 1. Построение модели конструкции РЭС в подсистеме АСОНИКА-В на основе трехмерной модели РЭС.

Блок 2. Ввод экспериментальной характеристики, полученной в результате исследования РЭС с использованием автоматизированного вибростенда.

Блок 3. Идентификация неизвестных параметров виброизоляторов на основе полученной экспериментальной характеристики конструкции.

Блок 4. Ввод параметров виброизоляторов. Автоматический импорт параметров, полученных в результате идентификации, либо выбор типовых виброизоляторов из справочной базы данных. Возможна корректировка зависимых от температуры параметров по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т.

Блок 5. Этап оптимизации конструкции. Автоматизированный синтез конструкции для выполнения требований, указанных в НТД.

Блок 6. Параметрическая оптимизация. На основе используемых методов оптимизации происходит автоматизированный выбор меха-

нических характеристик виброизоляторов, необходимых для удовлетворения требований НТД.

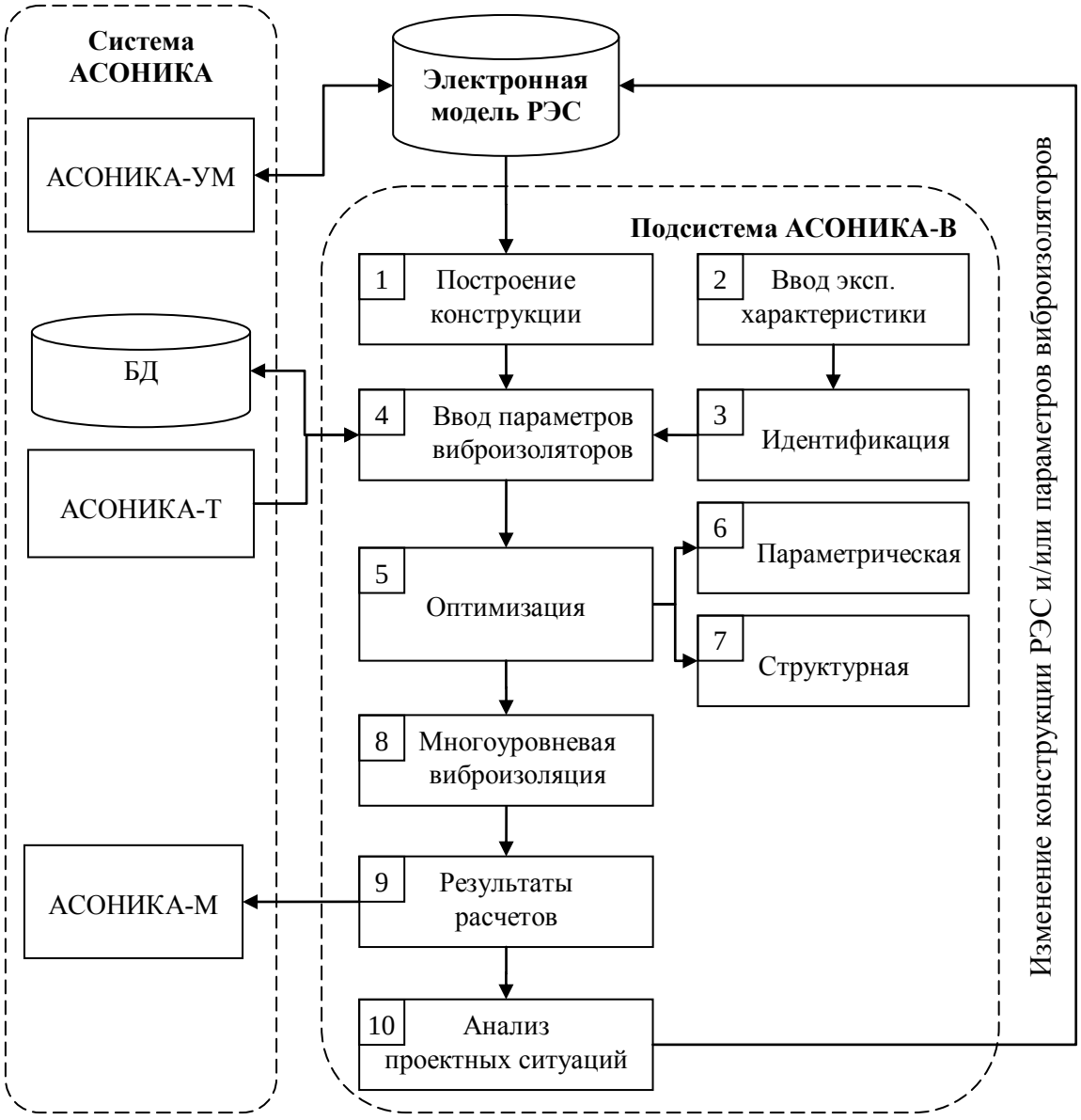


Рис. 2.31. Структура метода автоматизированного синтеза конструкций РЭСна виброизоляторах

Блок 7. Структурный синтез конструкции. Автоматизированное варьирование количества виброизоляторов и координат их расположения для обеспечения требований НТД.

Блок 8. Многоуровневая виброизоляция применяется в случае невозможности обеспечения требований НТД в результате использования вышеописанных способов поиска наилучшего варианта конструкции. Внесениеизменений в конструкцию РЭС в интерактивном режиме.

Блок 9. Проведение анализа полученной конструкции и получение результатов расчетов в виде графических зависимостей амплитуд виброускорений и перемещений от частоты или времени воздействия. Возможен экспорт результатов расчетов для передачи в подсистему АСОНИКА-М.

Блок 10. Анализ результатов и принятие решений. Если полученные характеристики конструкции РЭС не удовлетворяют требованиям НТД, то производится внесение изменений в ЭМ, после чего процесс анализа и синтеза конструкции повторяется.

Таким образом, разработанный метод позволяет осуществлять автоматизированный синтез и анализ конструкций РЭС на виброизоляторах в целях обеспечения их стойкости к механическим воздействиям.

2.4.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-В

На основе вышеописанного метода синтеза конструкций РЭС разработана автоматизированная подсистема АСОНИКА-В, предназначенная для анализа механических характеристик и синтеза конструкций шкафов, стоек и блоков радиоэлектронных средств, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударных нагрузок, линейного ускорения, акустических шумов, а также при сложных механических воздействиях и для принятия решения на основе полученных механических характеристик в целях обеспечения стойкости РЭС к механическим воздействиям.

В конструкцию может входить множество элементов в виде прямоугольных параллелепипедов с различными габаритами, а также может быть применена многоуровневая виброизоляция. По результатам расчета на ЭВМ пользователем системы может быть получена выходная информация об ускорениях и перемещениях элементов конструкции РЭС на виброизоляторах.

Программно реализованы задачи параметрического и структурного синтеза: 1) возможность оптимального выбора коэффициентов механических потерь и жесткости виброизоляторов по всем осям координат; 2) возможность оптимального выбора координат расположения виброизоляторов и их количества. Главным условием является непревышение допустимых ускорений в конструкциях (как правило, речь о допустимых ускорениях электрорадиоэлементов по техниче-

ским условиям (ТУ) при различных механических воздействиях). Реализована задача идентификации неизвестных механических характеристик виброизоляторов с применением компьютерного измерительного вибростенда.

Моделирование на ЭВМ механических процессов в конструкциях РЭС на виброизоляторах необходимо:

– для проверки выполнения требований по стойкости к конструкциям РЭС на виброизоляторах при заданных механических воздействиях;

– определения возможности снижения массы и габаритов конструкции РЭС на виброизоляторах;

– повышения стойкости конструкции РЭС к механическим воздействиям путем выбора параметров виброизоляторов, их количества и координат расположения;

– создания программы лабораторных и приемо-сдаточных испытаний РЭС на виброизоляторах и проверки того, пройдет ли РЭС эти испытания.

Автоматизированную подсистему наиболее целесообразно использовать при разработке РЭС, работающих при воздействии вибраций, ударов и акустических шумов в широких диапазонах частот.

Анализ опыта создания и эксплуатации автоматизированных систем конструкторского проектирования позволяет сформулировать некоторые общие принципы их построения:

1. Совместимость ручного, автоматизированного и автоматического режимов проектирования.

2. Оперативность взаимодействия подсистемы с внешней средой на всех уровнях проектирования.

3. Иерархичность построения программных средств.

4. Единство системы для группы родственных по характеру деятельности объектов.

5. Открытость системы.

Работоспособность подсистемы во многом зависит и от выполнения ряда других требований, предъявляемых к ее организации. С точки зрения разработчика – это разумное сочетание алгоритмической и объектно-ориентированной декомпозиции с возможностью модификации подсистемы и ее развитием; использование высокоэффективного языка программирования, обеспечивающего высокую скорость разработки и высокое быстродействие.

С точки зрения пользователя-конструктора можно отметить следующие требования:

1. Простота и доступность входного языка. Конструктор должен иметь возможность составления задания на проектирование и описание входных данных в доступных ему терминах и обозначениях.

2. Прямой доступ пользователя к системе. Здесь следует отметить простоту общения с системой (ввод новых данных, получение результатов расчета), исключение для пользователя из технологического цикла проектирования ряда рутинных операций (контроль ошибок входной информации, автоматическое формирование модели, диагностика состояния модели и т. д.).

3. Многофункциональность системы, то есть возможность решать задачи проектирования для широкого круга конструкций.

Программное и информационное обеспечение системы должно включать следующие основные компоненты:

– модули ввода и контроля входных данных: геометрической модели конструкции, параметров ее элементов, характеристик входных воздействий;

– модуль формирования моделей объектов проектирования;

– расчетное ядро для осуществления моделирования, анализа разброса параметров, оптимизации, идентификации;

– модули визуализации выходных данных, анализа результатов, преобразования моделей и т. п.;

– базу данных (справочные данные, решенные проектные задачи, библиотеки типовых моделей и т. п.).

Сценарии диалога и систем меню, реализованные в этих программных компонентах, используют терминологию той предметной области, в которой проводятся исследования с помощью подсистемы. Результаты расчетов оформляются в виде графиков и таблиц.

Структура автоматизированной подсистемы представлена на рис. 2.32. Центральным компонентом подсистемы является управляющая программа (монитор), обеспечивающая связь между остальными модулями. Монитор дает возможность пользователю осуществить выбор задач, обеспечить программу входной информацией, организовать процесс управления программным обеспечением подсистемы в соответствии с принятой методикой проектирования РЭС.

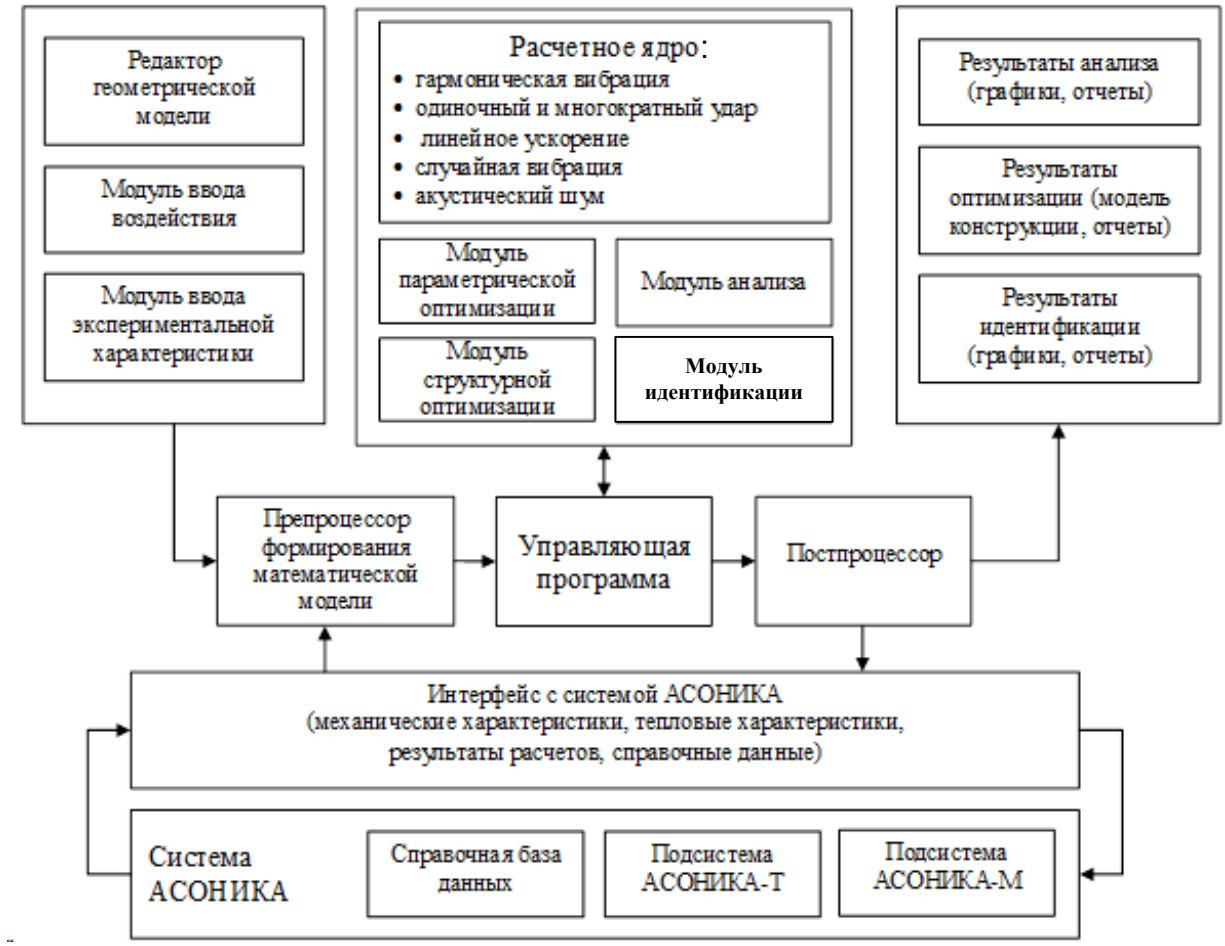


Рис. 2.32. Структура подсистемы АСОНИКА-В

Модули подсистемы позволяют осуществлять графический ввод исходных данных конструкции РЭС на виброизоляторах (рис. 2.33), графический ввод механических воздействий и экспериментальных характеристик. Препроцессор предназначен для автоматического формирования математических моделей механических процессов на основе исходных данных.

Расчетное ядро предназначено для вычисления механических характеристик конструкции на виброизоляторах, на основе моделей механических процессов, сформированных препроцессором, и характеристики входного воздействия. Расчетное ядро используется, соответственно, модулями анализа, оптимизации механических и геометрических параметров конструкции, а также идентификации физико-механических параметров виброизоляторов в конструкциях РЭС. Особенностью модуля анализа является возможность расчета характеристик конструкций с многоуровневой виброизоляцией.

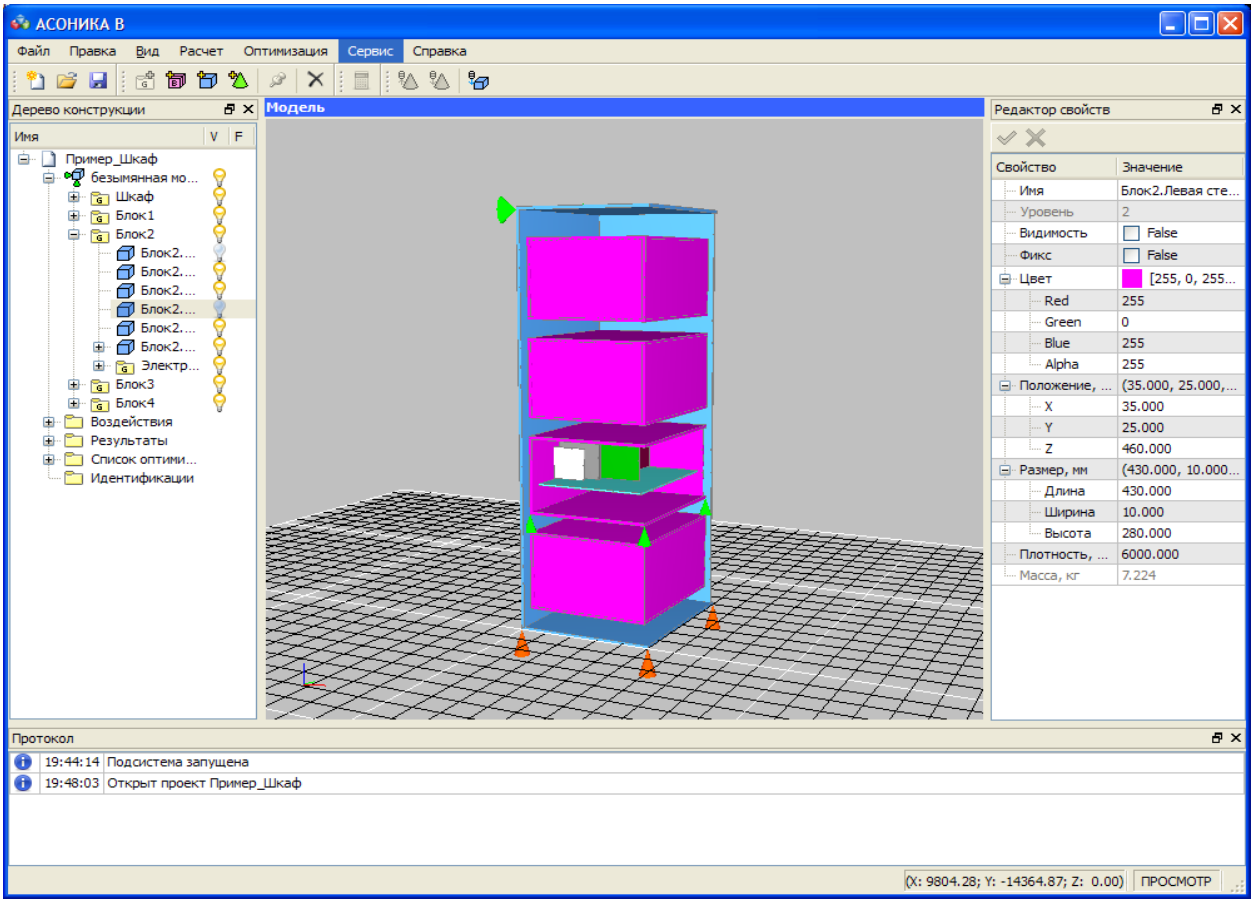


Рис. 2.33. Интерфейс трехмерного редактора модели конструкции

Постпроцессор позволяет представить результаты анализа в виде графических зависимостей и таблиц, для отображения которых предназначены модули визуализации.

Интерфейс связи подсистем АСОНИКА-В и АСОНИКА-Т позволяет решать следующие задачи:

1. Корректировать параметры виброизоляторов для модели АСОНИКА-В по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т.

2. Корректировать параметры кондуктивных ветвей модели АСОНИКА-Т на основании параметров виброизоляторов в модели АСОНИКА-В.

Интерфейс связи с подсистемой АСОНИКА-М позволяет экспортировать результаты анализа конструкции в формате, подходящем для последующего импорта в подсистему АСОНИКА-М, где эти данные используются в качестве входных для последующего анализа механических процессов.

Интерфейс доступа к БД позволяет использовать объединенную справочную базу данных системы АСОНИКА для получения харак-

теристик материалов конструкции и типовых моделей виброизоляторов. Характеристики виброизоляторов, полученные в результате идентификации, также могут быть сохранены в справочной БД.

Программа способна решать широкий круг задач:

– создавать геометрические модели конструкций РЭС посредством трехмерного графического редактора;

– осуществлять ввод механических воздействий в виде графических зависимостей;

– получать выходные характеристики модели при различных видах механического воздействия и представлять их в удобном для восприятия графическом виде;

– рассчитывать выходные характеристики моделей с многоуровневой виброизоляцией;

– осуществлять поиск оптимальных значений параметров виброизоляторов на фиксированной частоте или в диапазоне частот;

– осуществлять структурную оптимизацию конструкций, обеспечивая стойкость к вибрации путем выбора наилучшего варианта расположения и количества виброизоляторов на фиксированной частоте или в диапазоне частот (рис. 2.34);

– идентифицировать неизвестные параметры виброизоляторов по экспериментальной характеристике конструкции (рис. 2.35);

– выбирать параметры типовых виброизоляторов из БД или сохранять в БД идентифицированные параметры виброизоляторов;

– обмениваться данными с другими подсистемами системы АСОНИКА;

– распечатывать или сохранять в виде графических или текстовых файлов любую выходную информацию.

При работе с подсистемой рекомендуется пользоваться графическим редактором для создания модели, однако есть возможность создать модель не визуально, а путем ввода всех параметров вручную.

В качестве основного средства разработки использовалась интегрированная среда MicrosoftVisualStudio, язык программированияC++; графический интерфейс подсистемы реализован с помощью библиотеки Qt.

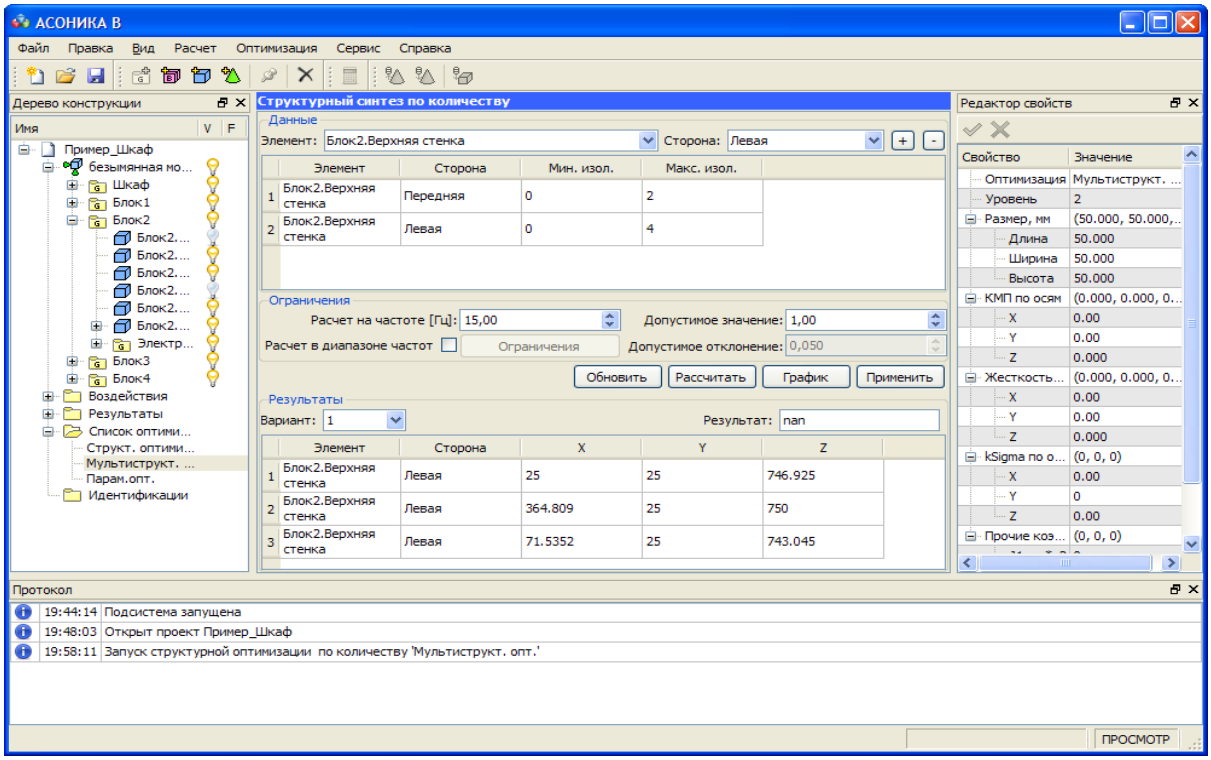


Рис. 2.34. Интерфейс ввода ограничений структурной оптимизации по количеству виброизоляторов

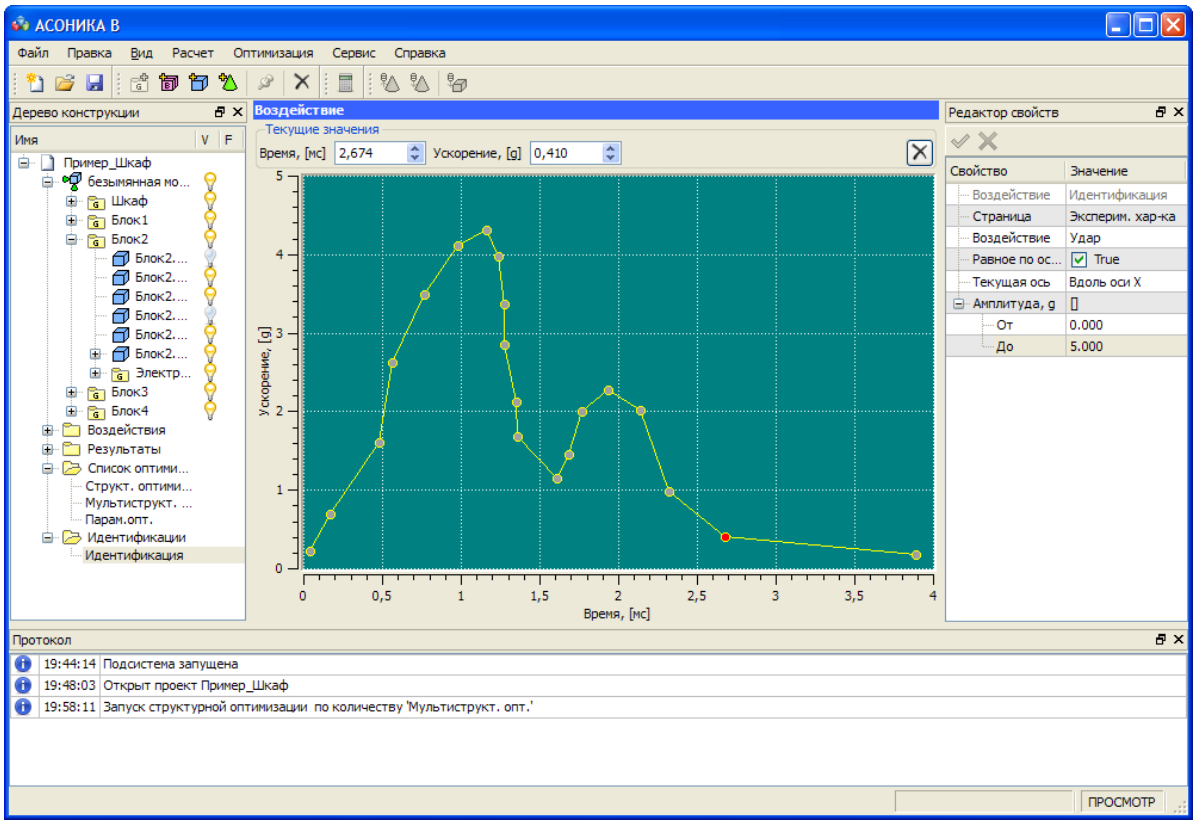


Рис. 2.35. Интерфейс ввода экспериментальной характеристики для идентификации

Таким образом, была разработана структура автоматизированной подсистемы анализа и синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах при механических воздействиях АСОНИКА-В, отличающаяся наличием специализированного интерфейса ввода-вывода информации, модулей идентификации и оптимизации, базы данных с упругими и демпфирующими характеристиками виброизоляторов, интегрированная в систему АСОНИКА.

2.5. Анализ и обеспечение стойкости конструкций РЭС к тепловым воздействиям (АСОНИКА-Т)

2.5.1. Назначение и основные возможности подсистемы АСОНИКА-Т

Подсистема АСОНИКА-Т может работать как в автономном режиме, так и в составе системы АСОНИКА в комплексе с другими подсистемами. Подсистема АСОНИКА-Т предназначена для автоматизации моделирования тепловых процессов микросборок, радиаторов, теплоотводящих оснований, гибридно-интегральных модулей, блоков этажерочной конструкции, шкафов, стоек и нетиповых (произвольных) конструкций. Существует возможность использования автоматов для анализа тепловых процессов следующих видов типовых конструкций: пластина, корпус блока, модульная конструкция, кассетная конструкция.

Подсистема позволяет при проектировании РЭС реализовать следующие проектные задачи:

– определение средних температур блоков, печатных узлов и материалов несущих конструкций, а также воздушных объемов внутри РЭС;

– внесение изменений в конструкцию РЭС в целях достижения приемлемых тепловых режимов;

– выбор лучшего варианта с точки зрения тепловых режимов работы конструкции из нескольких имеющихся концептуальных вариантов;

– обоснование необходимости и оценка эффективности дополнительной защиты РЭС от тепловых воздействий;

– создание при необходимости эффективной программы испытаний макетов и опытных образцов РЭС на тепловые воздействия (в задачах выбора наиболее информационных испытательных воздей-

ствий, выбора датчиков и точек их установки в наиболее теплонагруженных местах и пр.).

Подсистема дает возможность провести моделирование стационарных и нестационарных тепловых режимов РЭС. Существует возможность учета причин возникновения нестационарного теплового режима: изменение во времени температуры окружающей среды, мощности тепловыделения электрорадиоизделий, теплоемкости элементов конструкций.

Предусмотрена возможность учета работы РЭС в различных условиях: в вакууме, в воздушной среде, как при нормальном, так и при пониженном давлении;а также возможность учета различных условий охлаждения: естественная или вынужденная конвекция, теплоотвод, обдув, применение радиаторов и др.

Сервисное обеспечение подсистемы АСОНИКА-Т включает базу данных со справочными геометрическими и теплофизическими параметрами ЭРИ и конструкционных материалов, графический ввод исходных данных для конструкций, графический вывод результатов расчета.

2.5.2. Моделирование тепловых процессов в конструкциях РЭС с помощью подсистемы АСОНИКА-Т

Для проведения сеанса моделирования необходима следующая исходная информация:

– эскиз или чертеж несущей конструкции РЭС;

– теплофизические параметры материалов рассматриваемой конструкции РЭС;

– мощности тепловыделений в конструкциях более низкого уровня иерархии, входящих в рассматриваемую конструкцию. Мощности в конструкциях складываются из смонтированных в них радиоэлементов РЭС;

– условия охлаждения (граничные условия) конструкции РЭС.

Первый этап построения модели тепловых процессов (МТП) блока РЭС – разбиение изделия на условно изотермические объемы. В виде таких изотермических объемов можно представить, например, ЭРИ, элемент конструкции изделия, в котором необходимо определить температуру, воздушный объем внутри блока, окружающую среду, совокупность элементов изделия, весь блок РЭС, часть элемента и т. д. Разбиение зависит от конструкции рассчитываемого

объекта, требуемой точности расчета температур, принятых допущений при рассмотрении процессов теплопередачи в изделии и т. д. Основная трудность заключается в такомвыделении точек в изделии, при котором была бы сохранена точность моделирования и вместе с тем сложность МТП (количество узлов) оставалась бы в разумных пределах. Для этого предварительно идеализируют (упрощают) процессы теплопередачи в изделии:

– не учитывают второстепенные виды теплообмена в конструкции изделия (то есть отбрасывают несущественные тепловые связи между узлами МТП);

– обосновывают и принимают условно изотермичными те или иные группы тел (деталей, элементов). Условно изотермичный объем, включающий несколько тел, называют «нагретой зоной».

Далее для построения МТП блоков РЭС среди указанных условно изотермичных объемов выделяют объемы, находящиеся в тепловом взаимодействии. К ним можно отнести:

– граничащие объемы единого твердого тела (теплопроводность);

– объемы, взаимодействующие через воздушные прослойки (свободная конвекция в ограниченном пространстве);

– объемы, находящиеся в лучистом теплообмене (излучение);

– объем твердого тела и объем окружающего его воздуха (конвекция);

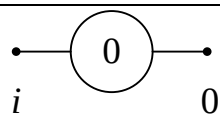
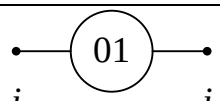
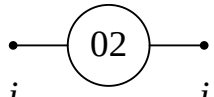
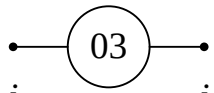
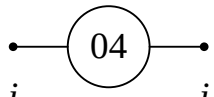
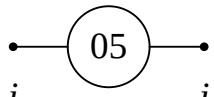
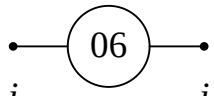
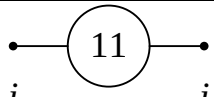
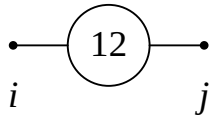
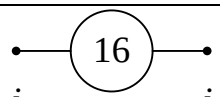
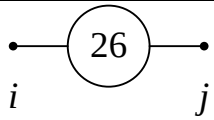
– контактирующие объемы двух твердых тел (контактная теплопроводность) и т. п.

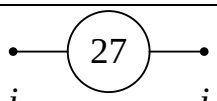
В подсистеме АСОНИКА-Т МТП отображается в виде топологической МТП, представляющейсобой ненаправленный граф. Вершины (узлы) такого графа моделируют условно изотермичные элементарные объемы конструкции (им соответствуют конструктивные элементы и узлы конструкции РЭС или их фрагменты). Ветви (ребра) графа отражают в МТП тепловые потоки между условно изотермичными объемами конструкции. В подсистеме АСОНИКА-Т предусмотрена возможность автоматического формирования МТП типовых конструкций, для нетиповых конструкций существует графический интерфейс, в котором пользователь сам строит топологическую МТП.

В подсистеме АСОНИКА-Т заложена возможность учета видов тепловых взаимодействий, а следовательно, и возможность применения типов ветвей МТП, представленных в табл. 2.1.

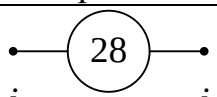
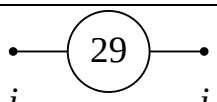
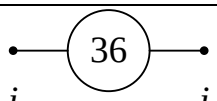
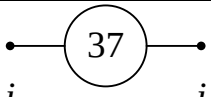
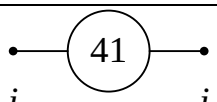
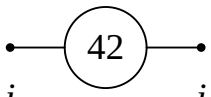
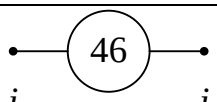
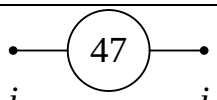
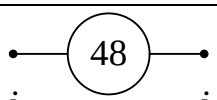
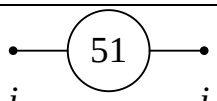
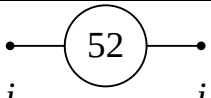
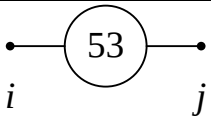
Таблица 2.1

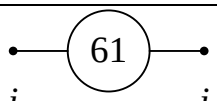
Типы ветвей, используемых в подсистеме АСОНИКА-Т

Номер ветви	Графическое изображение	Характеристика вида или разновидности ветви	
Начальные условия			
0		Начальное условие (начальное приближение решения) в узле *i*	
Кондукция			
1		Заданное тепловое сопротивление	
2		Вычисляемое тепловое сопротивление(в различных системах координат)	Прямоугольная система координат
3			Цилиндрическая система координат (радиальное направление)
4			Цилиндрическая система координат (нормальное направление)
5			Цилиндрическая система координат (рокадное направление)
6			Сферическая система координат (нормальное направление)
11		Контактный теплообмен с пятном контакта различной формы (возможно наличие смазки)	Прямоугольное пятно
12			Круглое пятно
Излучение			
16		Излучение с плоской (неразвитой) поверхности	
Естественная конвекция (ЕК)			
26		ЕК с плоской (неразвитой) поверхности в окружающую среду	

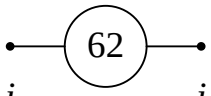
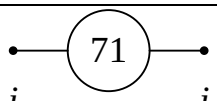
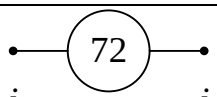
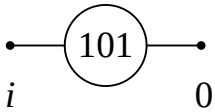
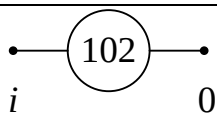
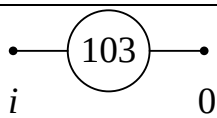
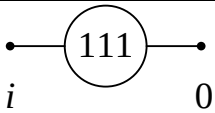
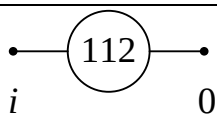
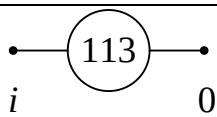
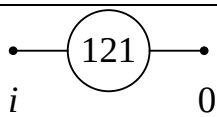
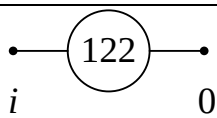
27		ЕК с неразвитой горизонтальной цилиндрической поверхности в окружающую среду

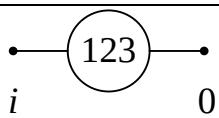
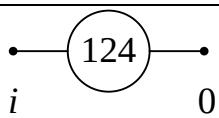
Продолжение табл. 2.1

Номер ветви	Графическое изображение	Характеристика вида или разновидности ветви		
28		ЕК с неразвитой поверхности различной формы в окружающую среду	Вертикальнойцилиндрической поверхности	
29			Сферической поверхности	
36		Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача (ККЛТ) с развитой (оребренной) поверхности	Пластинчатоеоребрение	
37			Игольчато-штыревое оребрение	
41		Кондуктивно-конвективный теплоперенос через тонкие воздушные прослойки различной формы		Плоские
42				Цилиндрические
46		ЕК между двумя плоскими (неразвитыми) поверхностями	Горизонтальными поверхностями	Верхняя горячая
47				Нижняя горячая
48			Вертикальными поверхностями (воздушный канал)	
Вынужденная конвекция (ВК)				
51		ВК с плоской (неразвитой) поверхности в окружающую среду		
52		Обдув развитой (оребренной) поверхности	Пластинчатоеоребрение	
53			Игольчато-штыревое оребрение	

61		ВК в воздушном канале (канал может разбиваться на части)

Окончание табл. 2.1

Номер ветви	Графическое изображение	Характеристика вида или разновидности ветви	
62		ВК в воздушном канале (канал может разбиваться на части)	Имеется изгиб
Массоперенос			
71		Массоперенос в продуваемом воздушном канале	
72		Массоперенос внутри перфорированного блока	
Источники воздействий и теплоемкости			
101		Источник постоянной мощности	
102		Источник мощности, зависящий от времени (зависимость задается в виде таблицы)	
103		Источник мощности, зависящий от времени (зависимость задается в виде функции)	
111		Источник постоянной температуры	
112		Источник температуры, зависящий от времени (зависимость задается в виде таблицы)	
113		Источник температуры, зависящий от времени (зависимость задается в виде функции)	
121		Постоянная теплоемкость	
122		Теплоемкость, зависящая от времени (зависимость задается в виде таблицы)	

123		Теплоемкость, зависящая от времени (зависимость задается в виде функции)
124, 125		Вычисляемая теплоемкость

На основе топологической МТП формируется система нелинейных алгебраических уравнений (СНАУ) (для стационарного теплового процесса) или система обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ) (для нестационарного теплового процесса). Для решения систем уравнений конструктором задаются граничные условия, соответствующие условиям эксплуатации РЭС. Для решения СОДУ используется метод формул дифференцирования назад (ФДН), а для СНАУ – метод простых итераций.Для решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), к которым сводятся СОДУ и СНАУ (на каждом шаге по времени и/или на каждой итерации по нелинейностям), – метод *LU*-разложения с символьной факторизацией и учетом разреженности матрицы тепловых проводимостей.

После создания МТП производится расчет. По его результатам пользователь имеет возможность получить разнообразную текстовую и графическую информацию. Данные выводятся как для стационарного расчета в виде таблицы температур в узлах модели, так и для нестационарного расчета в виде графика зависимости температуры в узлах модели от времени и таблицы температур в промежутках времени в узлах модели.

2.5.3. Пример моделирования тепловых процессов в нетиповой конструкции РЭС

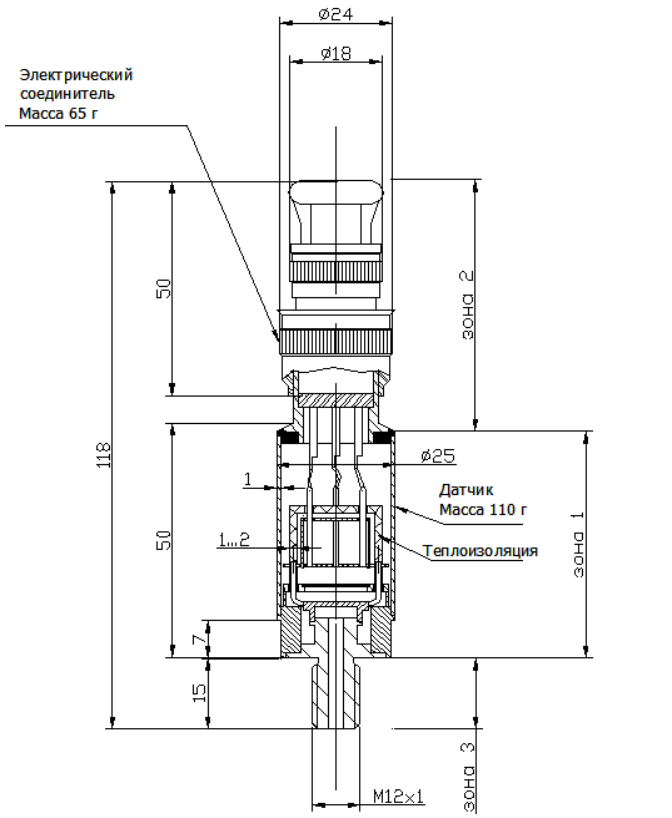
Постановка задачи. Рассчитать параметры нестационарного режима работы датчика.

Исходные данные. Допустимые значения температуры печатного узла внутри датчика – не выше 183 ºС, а температуры корпуса – не выше 150 ºС.Чертежи объекта моделирования (датчика) представлены на рис. 2.36.

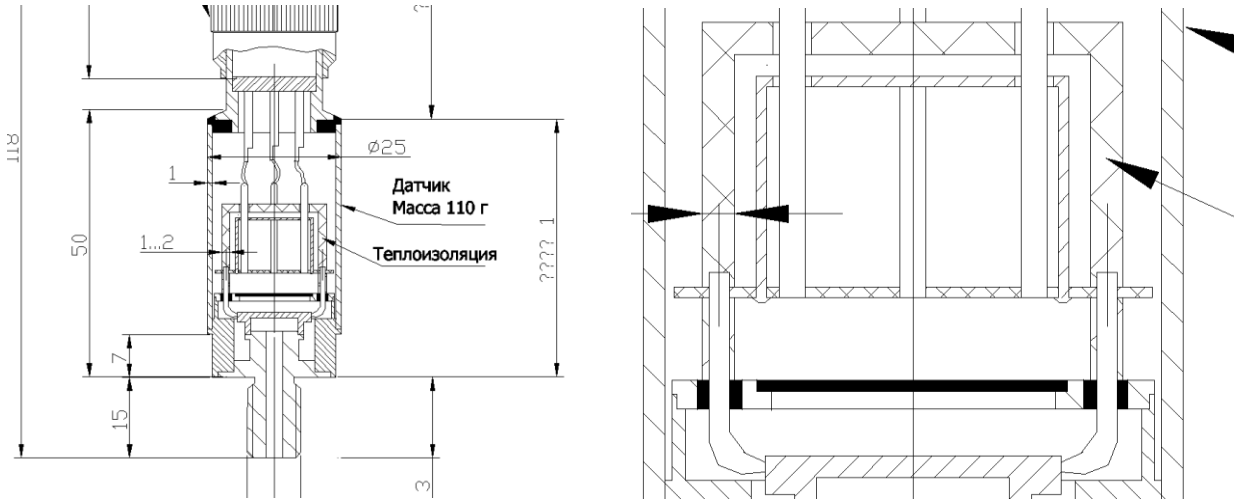
Датчик должен работать в условиях воздействия температуры окружающей среды, представленных на графике (рис. 2.37).

Моделирование теплового процесса для расчета времени нагрева датчика в зависимости от теплового удара среды.Приняты следующие допущения (идеализация) модели:

– корпус датчика делится на две части: верхняя и нижняя с датчиком, каждая из которых моделируется одним узлом МТП;



а



б

Рис. 2.36. Чертежи датчика:
а – общий вид; *б* – подробные чертежи

– печатный узел (ПУ) датчика моделируется узлом МТП, а для моделирования тепловыделения в него включен источник постоянного тепловыделения;

– теплопроводностью между ПУ датчика и элементами крепления пренебрегаем, так как материал ПУ имеет низкую теплопроводность;

– корпус теплоизоляции моделируется одним узлом МТП;

– электрический экран моделируется узлом МТП;

– объем воздуха внутри корпуса моделируется узлом МТП;

– объемы воздуха внутри экрана над ПУ моделируется узлом МТП;

– окружающая среда моделируется источником температуры с задаваемой таблицей графиком ее изменения.

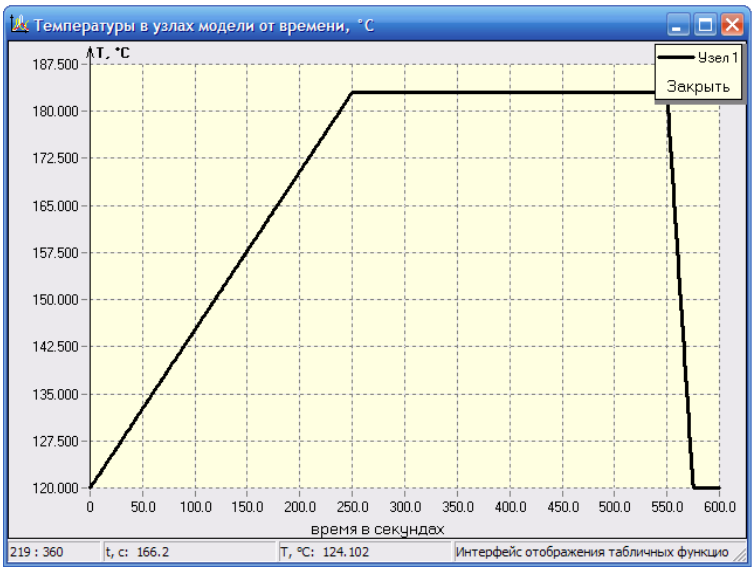


Рис. 2.37. График внешних тепловых воздействий

При моделировании учитываются следующие виды теплообмена: теплопроводность, естественная конвекция в воздушный объем, излучение.В соответствии с принятыми допущениями получены узлы МТП датчика, представленные в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Узлы МТП датчика

Номер узла	Имя узла	Номер узла	Имя узла
1	Окружающая среда	5	Теплоизоляция
2	Корпус датчика низ	6	Воздух под экраном

3	Печатный узел датчика	7	Воздух под корпусом датчика
4	Корпус датчика верх	8	Экран

На рис. 2.38представлена топологическая МТП датчика, а в табл. 2.3приведены обозначения ветвей, использованные в МТП датчика.

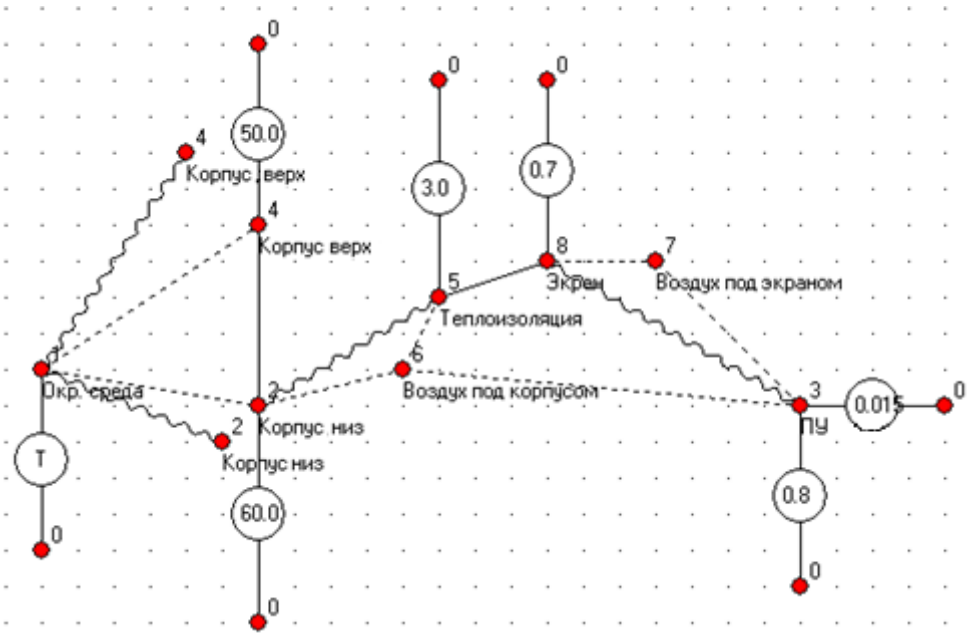
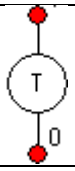


Рис. 2.38. Топологическая модель тепловых процессов датчика

Таблица 2.3

Обозначение ветвей в топологической МТП датчика

Тип ветви	Обозначение ветви в топологической модели	Пояснение
2		Кондукция (теплопроводность)
11		Контактный теплообмен
16		Излучение
51	5 6	Вынужденная конвекция, обдув
61	5 6	Конвекция в канал
71		Тепломассоперенос
101	P 0	Источник с заданной мощностью, Вт

111		Источник с заданной температурой, °С

Результаты расчета. Получены графики зависимости температуры узлов МТП от времени (рис. 2.39). Так как согласно исходным данным для расчета тепловое воздействие окружающей среды продолжается не более 600 с), тепловой режим рассчитан с запасом по времени от 0 до 2000 с.

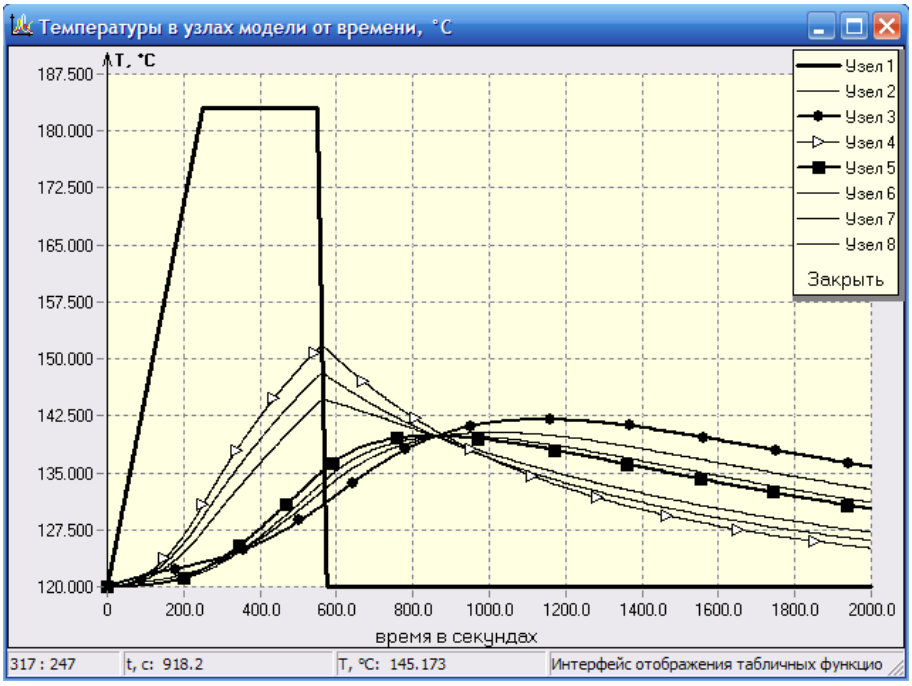


Рис. 2.39. Результат расчета теплового режима всех узлов МТП датчика при тепловом воздействии окружающей среды

Анализ результатов расчета.

1. При данных параметрах и степени детализации процесса нагрева датчик не успеет разогреться до температуры 183 ºС.

2. Максимум температуры корпуса датчика (узел 2) (менее 150 ºС) совпадает с временем теплового воздействия, а максимум температуры ПУ датчика (узел 3) (142 ºС) достигается позже в связи с инерционностью и его теплоизоляцией.

Варьирование параметров конструкции. В случае, если тепловые режимы работы конструкции не удовлетворяют требованиям технического задания, в МТП можно варьировать параметры конструкции и повторять расчет. Таким образом можно выявить те параметры, которые оказывают наиболее существенное влияние на тепловые процессы в конструкции, а следовательно, подобрать необходи-

мые параметры конструкции, обеспечивающие заданные тепловые режимы работы. В данном примере для датчика можно варьировать следующие параметры: теплоемкость тепловой изоляции, толщину теплоизоляции, теплоемкость ПУ датчика и др.

2.5.4. Пример моделирования тепловых процессов в типовой конструкции РЭС

Физические модели типовых конструкцийсоздаются программным путем разработчиком подсистемы. В настоящее время заложены четыре варианта типовых конструкций РЭС: пластина, корпус, модульная конструкция, кассетная конструкция.

После выбора варианта типовой конструкции в появившемся диалоговом окне задаются параметры конструкции. После ввода соответствующих параметров в рабочем окне появится изображение физической модели конструкции. При разворачивании физической модели появится изображение топологической модели.

В качестве примера приведена конструкция типа «Корпус», эксплуатирующаяся в среде. В диалоговом окне (рис. 2.40) задаются соответствующие параметры корпуса и условий эксплуатации.

Топологическая модель корпуса, сформированная автоматически с заданными пользователем параметрами, представлена на рис. 2.41.

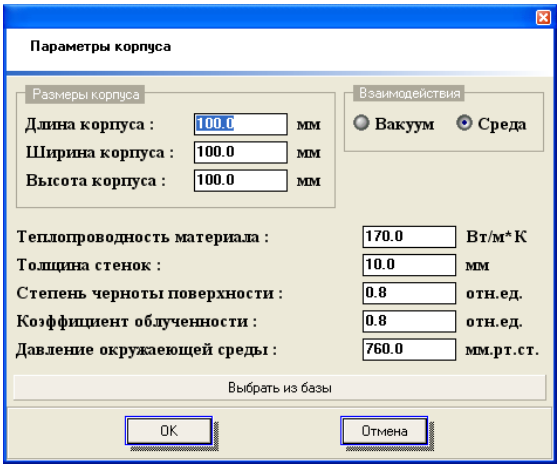


Рис. 2.40. Окно ввода параметров типовой конструкции «Корпус»

Данный типовой элемент используется при создании практически любых конструкций РЭС. Для построения МТП конструкции блока выделены шесть основных элементов: передняя панель, задняя панель, верхняя крышка, нижняя крышка, правая и левая стенки кор-

пуса. Введены узлы, обозначающие окружающую среду и воздух внутри корпуса.

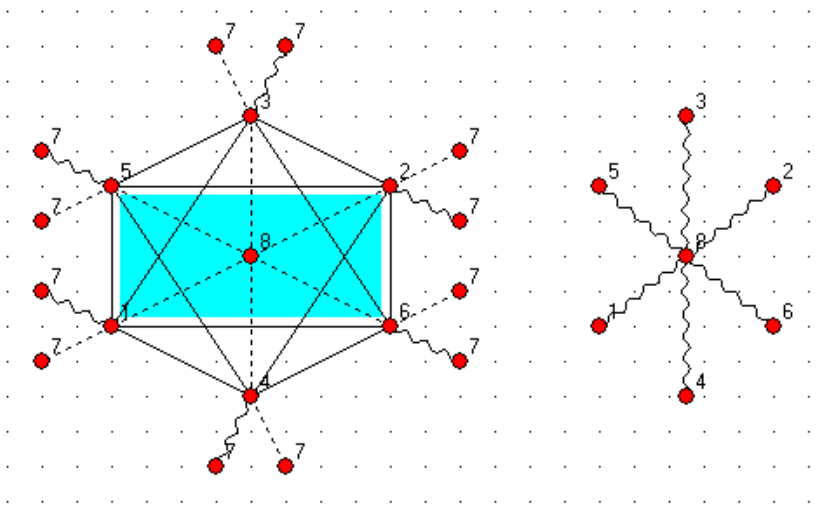


Рис. 2.41. Изображение топологической модели корпуса

Каждый узел конструкции имеет свой номер и обозначает один конструктивный элемент, а именно: *1* – передняя панель, *2* – задняя панель, *3* – верхняя крышка, *4* – нижняя крышка, *5* – левая стенка, *6* – правая стенка, *7* – окружающая среда и *8* – воздух внутри корпуса.

Данную МТП можно отредактировать, добавив или удалив узлы или ветви, а также поменяв значения параметров конструкции.

2.6. Идентификация физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС (АСОНИКА-ИД)

Для большинства материалов несущих конструкций РЭС в справочной литературе отсутствуют необходимые для моделирования физико-механические параметры: модуль упругости и коэффициент Пуассона, плотность и коэффициент механических потерь (КМП). Таким образом, требуется разработать методику идентификации параметров материалов конструкций РЭС.

В широком смысле идентификация – это установление соответствия между объектом, представленным некоторой совокупностью экспериментальных данных о его свойствах, и моделью объекта. В нашем случае требуется сопоставлением экспериментальных данных и данных математического моделирования определить неизвестные параметры материалов конструкций РЭС. Наиболее эффективными являются методы идентификации, построенные на принципе настраиваемой модели. Так как параметры материалов не зависят от ви-

да механического воздействия, предлагается проводить идентификацию при гармонической вибрации.

Задача идентификации формулируется следующим образом: необходимо найти такие значения параметров математической модели, которые удовлетворяют минимуму функции цели и лежат в области допустимых значений параметров, то есть задача идентификации сводится к задаче оптимизации. Функция цели имеет вид

$$Q(\bar{X}) = \sum_{i=1}^{m} (a_{0,i} - a_{P,i})^2,$$

где m – количество точек измерения по частоте; $a_{0,i}$ и $a_{P,i}$ – экспериментальное и расчетное значения виброускорения на i-й частоте.

Оптимизация может проводиться многими методами, однако здесь отсутствуют функциональные ограничения, что позволяет не использовать методы штрафных функций и ограничиться методами безусловной оптимизации. Прямые ограничения выбираются из следующих соображений. По заданному материалу в справочнике находятся значения параметров и берется допуск ± 20 %. Это и есть ограничения. Если параметры в справочнике не найдены, то идентификация проводится несколько раз при разных диапазонах изменения параметра идентификации, при этом каждый последующий раз необходимо сужать диапазон изменения.

Идентификация должна проводиться последовательно, в определенном порядке, так как желательно иметь как можно меньше неопределенных параметров (в лучшем случае – один). Данную последовательность можно проследить на конкретных примерах при идентификации физико-механических параметров изделия: модуля упругости материала несущей конструкции и коэффициента Пуассона, КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения. Ряд параметров идентифицируется с учетом температуры. Для учета погрешности измерений определение температуры и зависимости амплитуды виброускорения от частоты гармонической вибрации повторяется несколько раз, а температура в эксперименте измеряется в нескольких точках платы и затем усредняется. Далее для значений экспериментально полученных вибровоздействий и откликов на них определяются: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение и доверительный интервал. После чего находится погрешность выход-

ного ускорения для каждого значения частоты как погрешность результатов косвенных измерений.

Идентификация модуля упругости икоэффициента Пуассона материала несущей конструкции РЭС

1. Пластина из материала, идентичного используемому в несущей конструкции РЭС, жестко закрепляется винтами по четырем углам на столе вибростенда.

2. Экспериментально определяется первая резонансная частота пластины.

3. С помощью изменения параметров производится настройка модели механического процесса исследуемой пластины на экспериментально определенную резонансную частоту. Варьируемыми параметрами при оптимизации являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. Коэффициент жесткости опор принимается бесконечно большим (10^{10} Н/м), так как винты максимально зажаты. Отсутствие данных по КМП не влияет на результаты идентификации, так как для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона достаточно только совпадения резонансных частот и совсем не обязательно совпадение амплитуд виброускорений. Это связано с тем, что в модели платы КМП практически не влияет на резонансные частоты. Предполагается, что остальные параметры – геометрические размеры, плотность – известны.

4. По результатам идентификации строится зависимость модуля упругости от температуры. Далее по методу наименьших квадратов определяется коэффициент зависимости модуля упругости Eот температуры:

$$E = E^{20} - K_E\left(T - 20\right),$$

где E^{20} – модуль упругости при температуре 20 °С; K_E – коэффициент зависимости модуля упругости от температуры; T – температура.

Идентификация КМП

1. Пластина из материала, идентичного используемому в несущей конструкции РЭС, жестко закрепляется винтами по четырем углам на столе вибростенда.

2. С датчика в центре пластины экспериментальным путем снимается зависимость амплитуды виброускорения от частоты.

3. С помощью программы идентификации проводится настройка ММП пластины на экспериментальную зависимость.При этом идентифицируются γ_0^{20} и k_σ^{20}.

4. По результатамидентификации строятся зависимости γ_0 и k_σ от температуры. Далее определяются коэффициенты зависимостей КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения и температуры соответственно:

$$\gamma_0 = \gamma_0^{20} - K_\gamma \left(T - 20\right),$$

$$k_\sigma = K_\sigma^{20} - K_{k\sigma} \left(T - 20\right),$$

где γ_0 и k_σ – КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения;

γ_0^{20} и K_σ^{20} – КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения при температуре 20 °С;

K_γ и $K_{k\sigma}$ – коэффициенты зависимостей КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения от температуры соответственно;

T – температура.

Для практического решения задачи идентификации был разработан программный продукт (рис. 2.42), позволяющий максимально реализовать теоретические знания и математические выкладки, приведенные выше. Интерфейс программы позволяет выбрать параметры, которые необходимо идентифицировать (модуль упругости и коэффициент Пуассона либо коэффициент механических потерь). В дальнейшем планируется включить в программу идентификацию коэффициента механических потерь, проведение идентификации при ударе и проведение идентификации параметров не только в точке, но и по графику.

Также для проведения расчета необходимо задать следующие параметры пластинки:

– длина, ширина, толщина;

– размер дискрета;

– количество элементов крепления;

– диаметр элементов крепления;

– отступ от края пластинки.

После этого задаем начальные параметры материала:

– модуль упругости;

– коэффициент Пуассона;

– коэффициент механических потерь;

– плотность.

Далее при выборе идентификации модуля упругости и коэффициента Пуассона задаются:

– резонансная частота (экспериментальная) (Гц);

– количество итераций;

– ошибка (Гц);

Кроме этого задаются диапазоны изменения:

– модуля упругости (ГПа);

– коэффициента Пуассона (отн. ед.).

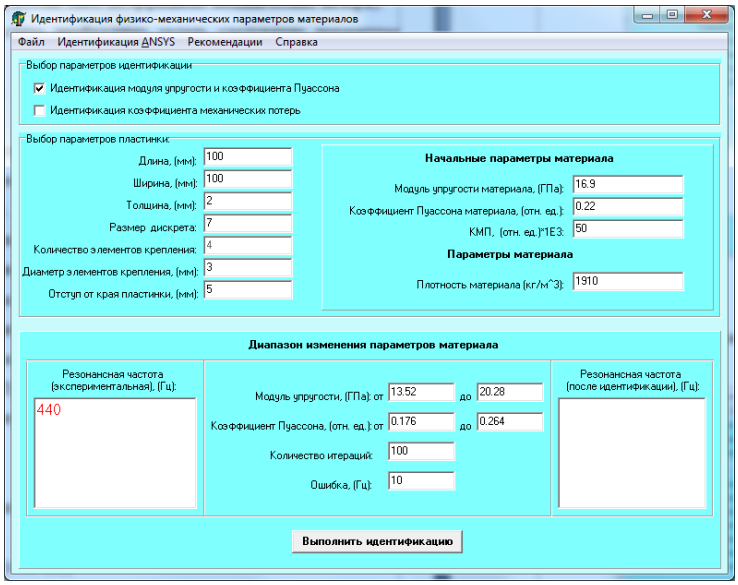


Рис. 2.42. Интерфейс программы идентификации

После того как все параметры, необходимые для расчета, введены, выполняем расчет и получаем результаты(рис. 2.43).

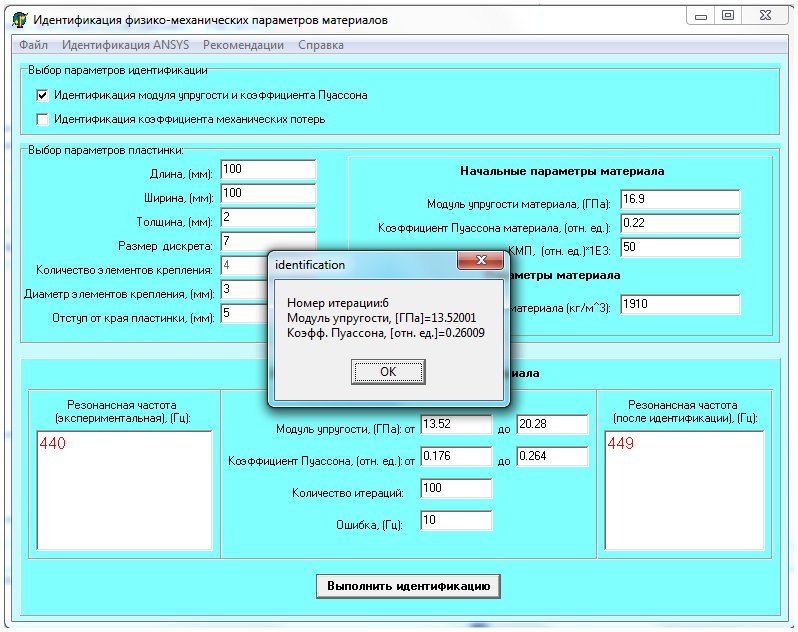


Рис. 2.43. Интерфейс программы идентификации после проведения расчета

ГЛАВА 3
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПЕЧАТНЫХ УЗЛАХ ИЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЯХ

3.1. Анализ и обеспечение стойкости конструкций печатныхузлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям в подсистеме АСОНИКА-ТМ

Подсистема АСОНИКА-ТМ позволяет анализировать печатные узлы РЭС и проводить расчет: 1) стационарного и нестационарного тепловых режимов; 2) на следующие виды механических воздействий:

– гармоническая вибрация;
– случайная вибрация;
– удар;
– линейное ускорение;
– акустический шум.

На рис. 3.1 представлена печатная плата, расположенная в блоке кассетного типа, содержащего девять модулей. Данная плата является объектом исследования.

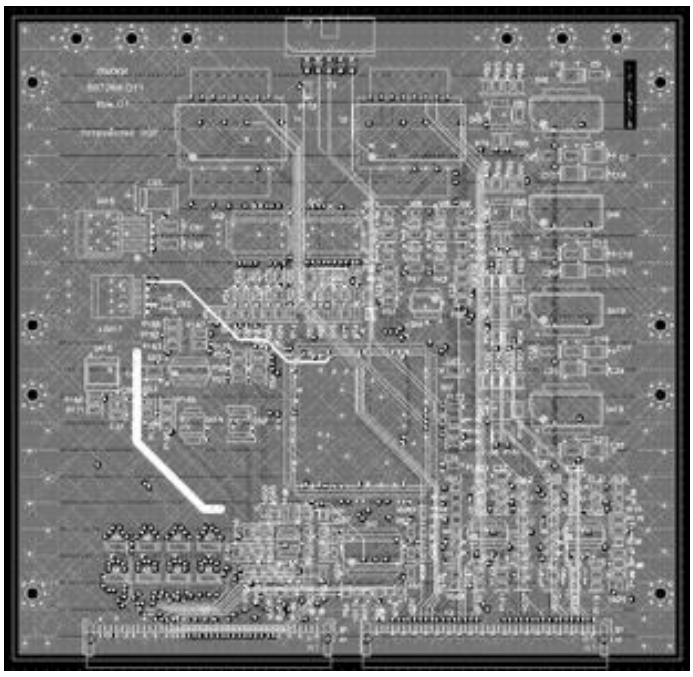


Рис. 3.1. Печатная плата

Исследуемая печатная плата ранее была выполнена в программе PCAD2006. Далее в PCAD осуществляется сохранение файла печатной платы в формате *.pdf для последующей передачи в подсистему АСОНИКА-ТМ. Задаются контрольные точки, имитирующие датчики. На рис. 3.2 представлена печатная плата с обозначенными на ней контрольными точками.

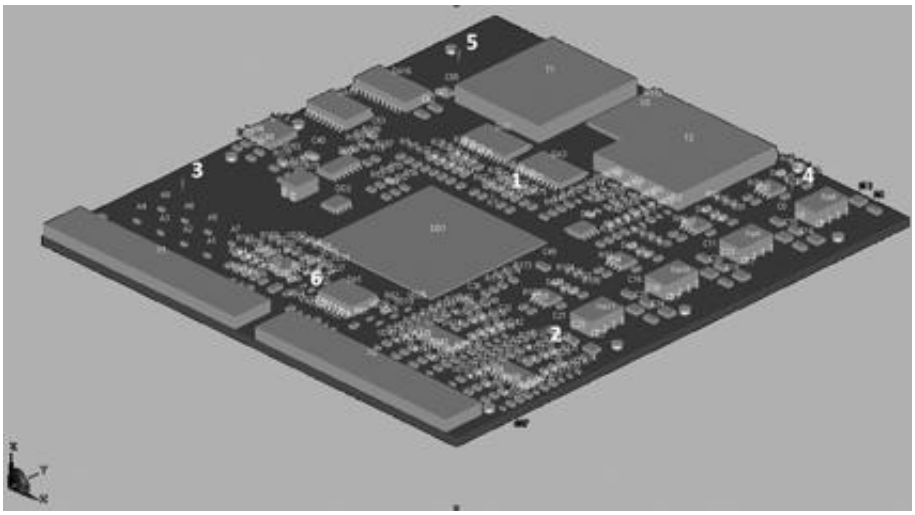


Рис. 3.2. Печатная плата с контрольными точками

Объект исследований анализировался на воздействие механических и климатических факторов.

Случайная вибрация.Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям технических условий после воздействия широкополосной случайной вибрации (ШСВ) при плавном изменении частоты от 10 до 2000 Гц по каждой из трех осей со спектральной плотностью виброускорения, представленной на рис. 3.3.

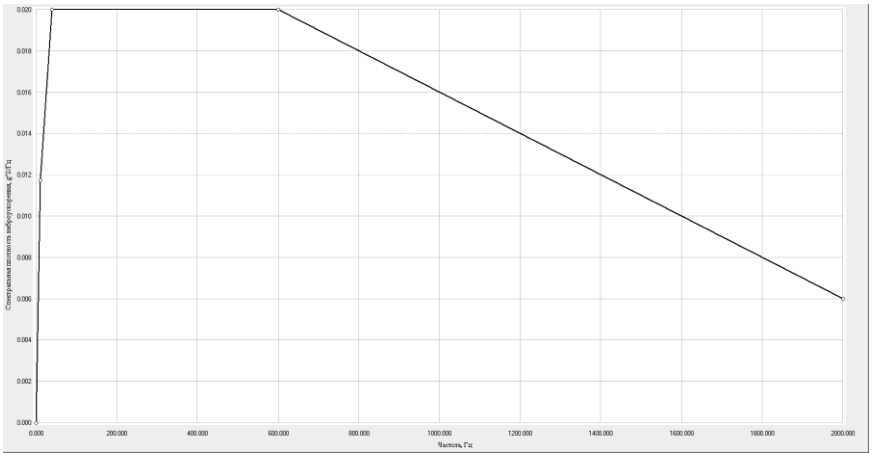


Рис. 3.3. График воздействия случайной вибрации

Одиночный удар.Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям после испытания на прочность узлов крепления при воздействии механического удара одиночного действия. Осуществляется по три удара в каждом из шести направлений ±*X*, ±*Y*, ±*Z* с пиковым ударным ускорением 12g при длительности 15 мс. График воздействия представлен на рис. 3.4.

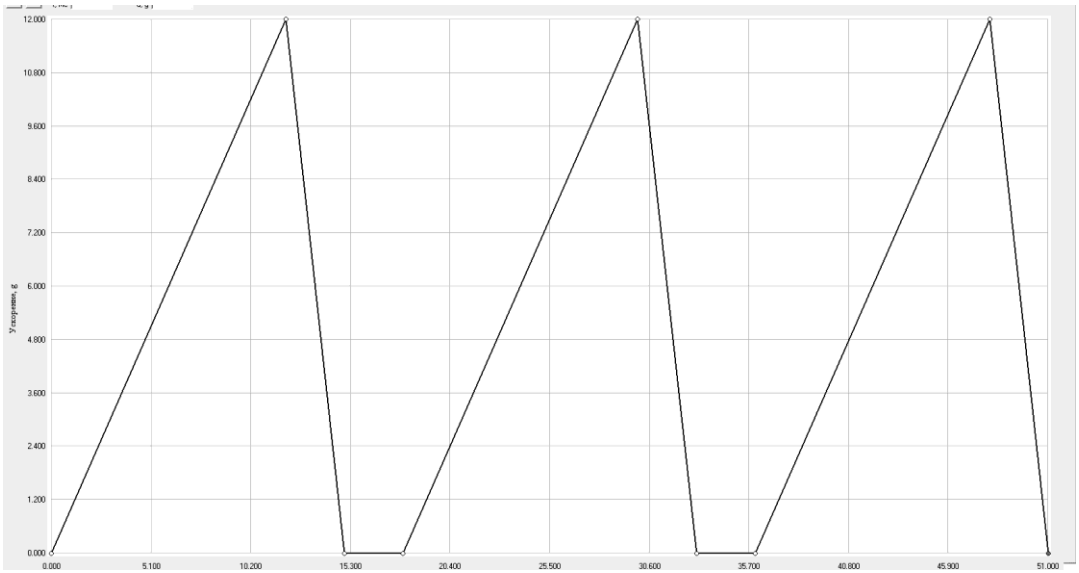


Рис. 3.4. График воздействия одиночного удара

Многократный удар.Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям после воздействия механических ударов многократного действия (по 1000 ударов на каждую из трех взаимно перпендикулярных осей) с частотой 60 ударов в минуту, пиковым ударным ускорением 12g и длительностью импульса (15 ± 8) мс. График воздействия отдельно взятого импульса представлен на рис. 3.5.

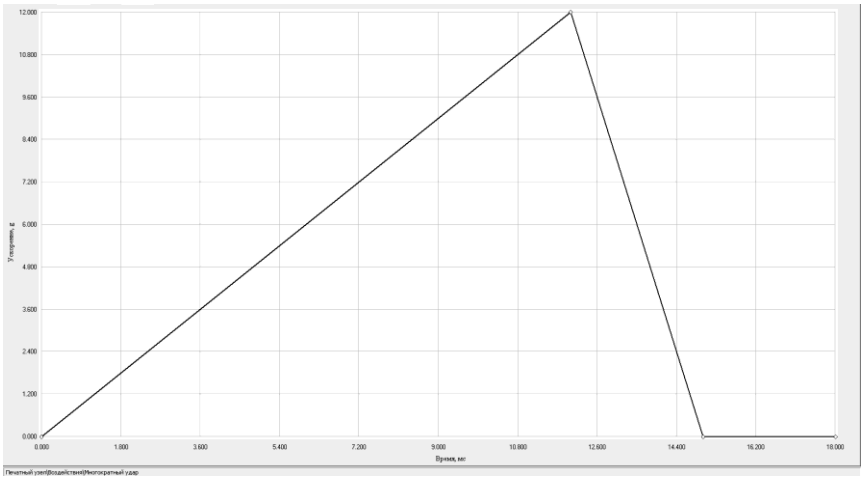


Рис. 3.5. График воздействия отдельно взятого импульса многократного удара

Климатические факторы.Изделие должно соответствовать требованиям ТУ и сохранять внешний вид в условиях воздействия повышенной температуры среды +60 ºС (+70 ºС кратковременно) и после воздействия предельной температуры +85 ºС при питающих напряжениях:119 В – сети переменного тока (400 Гц); 29,4 В – сети постоянного тока.

Изделие должно соответствовать требованиям ТУ и сохранять внешний вид в условиях воздействия пониженной температуры среды –60 ºС при питающих напряжениях: 109 В – сети переменного тока (400 Гц); 24 В – сети постоянного тока.

С помощью программного обеспечения АСОНИКА-ТМ изделие было рассчитано на указанные виды механических и тепловых воздействий, на основании чего можно сделать следующие выводы:

6. При воздействии случайной вибрации значения спектральной плотности в контрольных точках 1–6 на частотах 480, 790, 1350, 1430, 1950 Гц многократно превышают значения, заданные в ТУ. В качестве примера на рис. 3.6 представлен график зависимости спектральной плотности от частоты в контрольной точке 1.

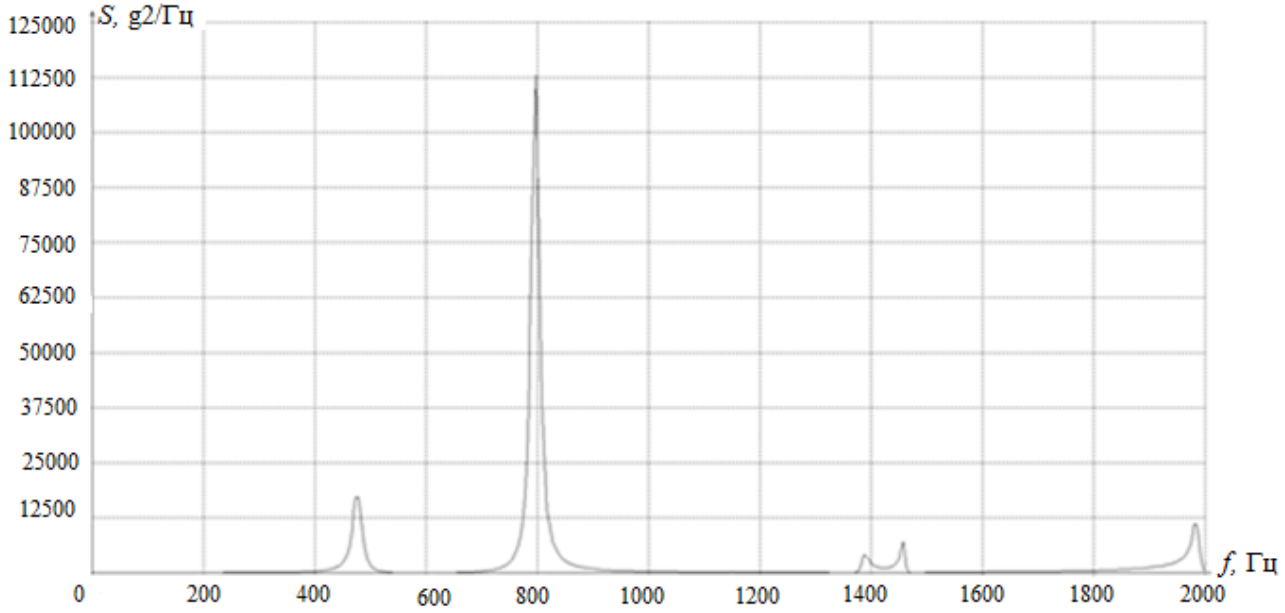


Рис. 3.6. Зависимость спектральной плотности от частоты в контрольнойточке 1

7. При одиночном ударном воздействии значение ускорения в контрольной точке 2 равно 24g, что превышает допустимое по ТУ значение 12g. Поля ускорений на печатной плате и график зависимости ускорения от времени представлены на рис. 3.7 и 3.8 соответственно.

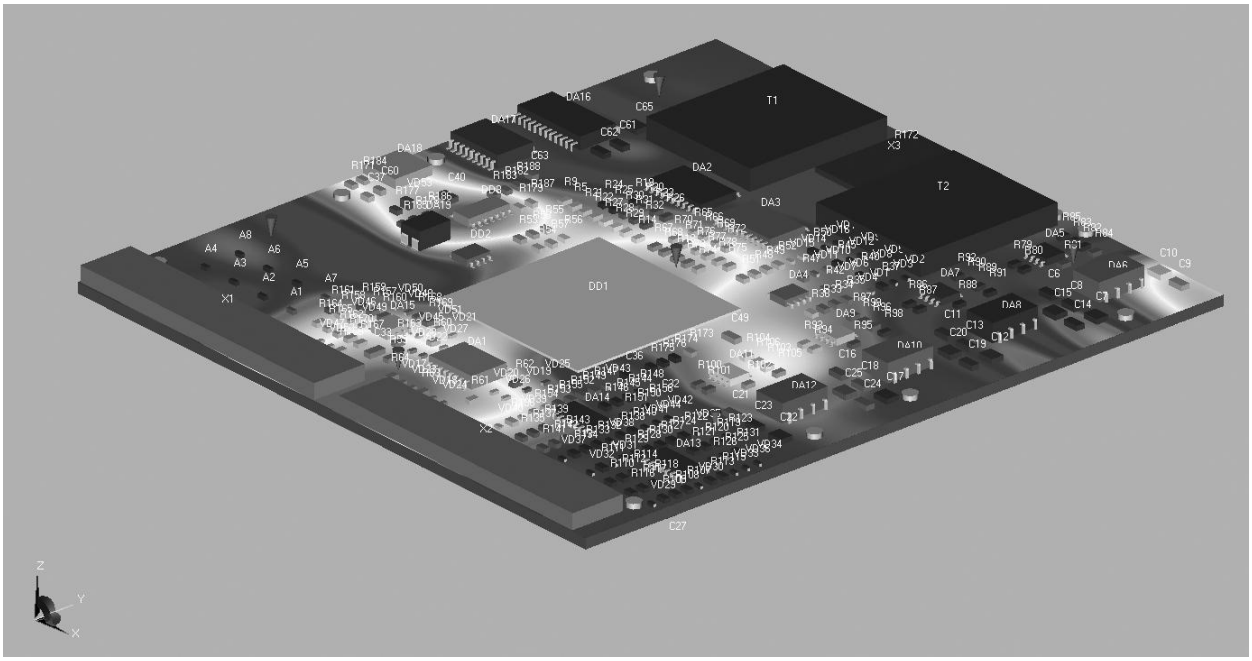


Рис. 3.7. Поля ускорений на печатной плате при воздействии одиночного удара

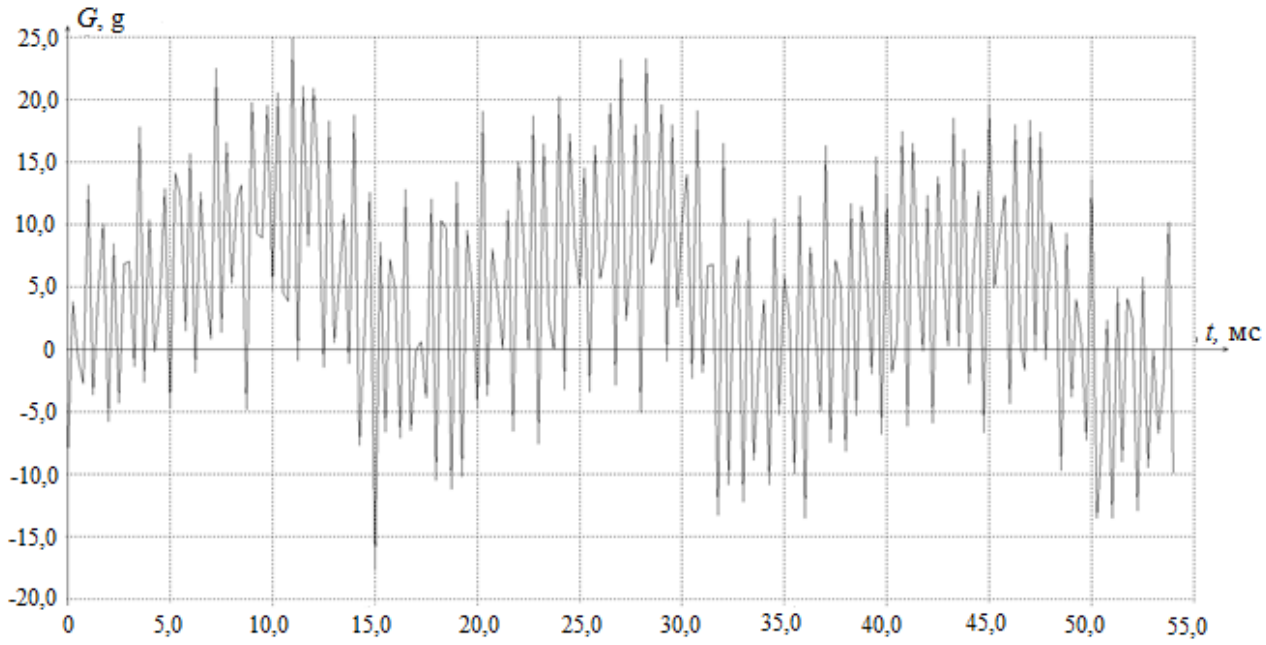


Рис. 3.8. Зависимость ускорения от времени в контрольной точке 2

8. При многократном ударном воздействии ускорения в контрольных точках 1–6 в разных интервалах времени присутствуют резонансные частоты. В качестве примера представлены поля ускорений в момент времени t = 12 мс и график зависимости ускорения от времени в контрольной точке 1 на рис. 3.9 и 3.10 соответственно.

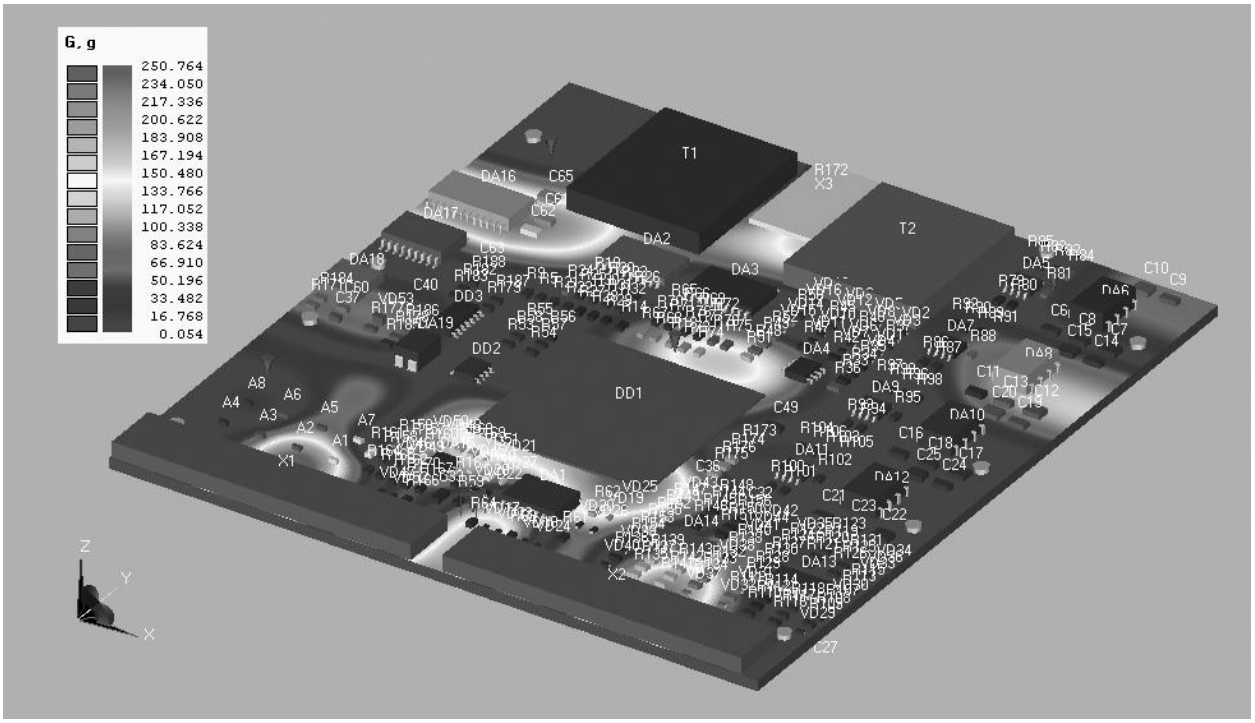


Рис. 3.9. Поля ускорений на печатной плате в момент времени t = 12 мс

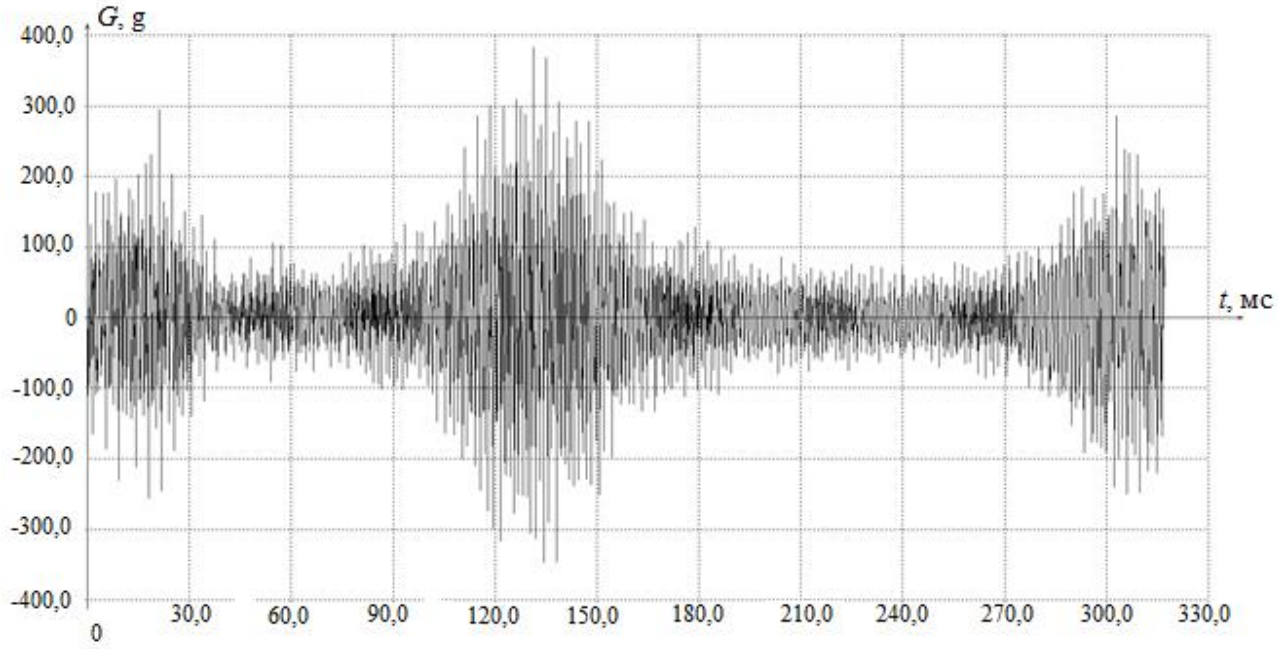


Рис. 3.10. Зависимость ускорения от времени в контрольной точке 1

9. При воздействии климатических факторов перегревов не обнаружено.

Вышеперечисленные выводы дают основание полагать, что механические воздействия могут привести к разрушению и потере работоспособности изделия.

На рис. 3.11изображен результат анализа реакции печатного узла на тепловые воздействия. В табл. 3.1 приведена карта тепловых режимов ЭРИ.

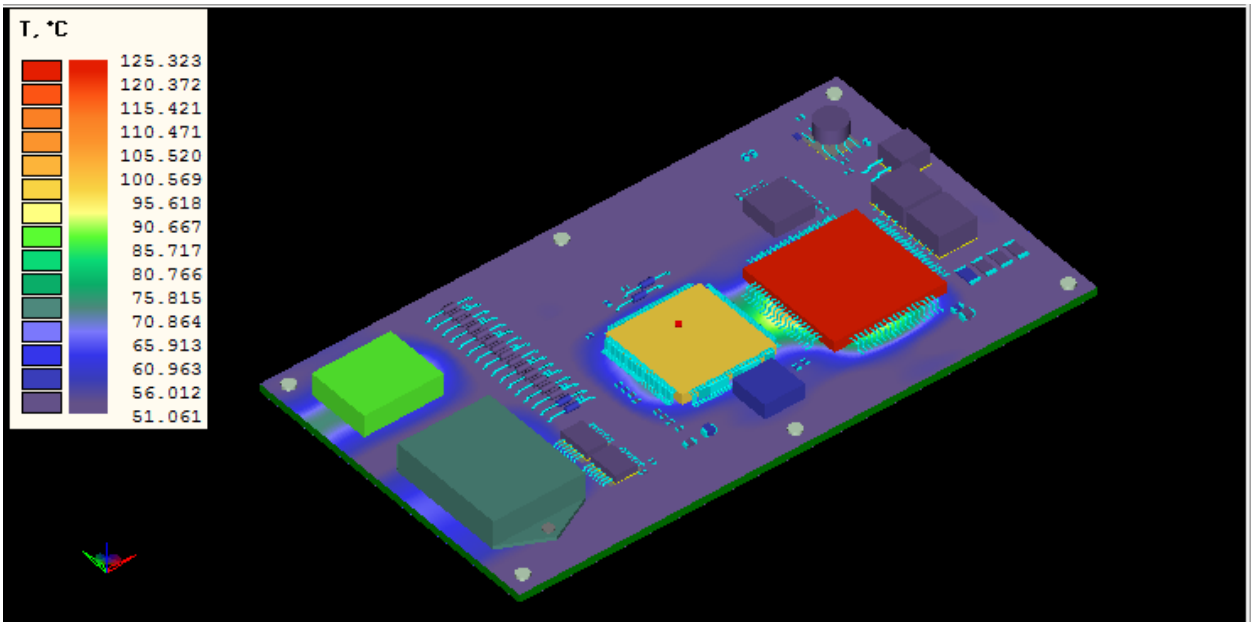


Рис. 3.11. Поле температур по печатной плате

Таблица 3.1

Карта тепловых режимов ЭРИпри стационарном тепловом воздействии

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			расчетная, °С	максимальнодопустимая по ТУ, °С		
1	D1	1	125,323	100,000	1,253	25,323
2	C72	2	95,229	85,000	1,120	10,229
3	R20	2	95,016	85,000	1,118	10,016
4	R2	2	93,902	85,000	1,105	8,902
5	R3	2	93,902	85,000	1,105	8,902
13	D4	1	96,237	100,000	0,962	–
14	C30	2	80,344	85,000	0,945	–
15	C45	2	80,272	85,000	0,944	–
…	…	…	…	…	…	…
203	VD22	2	52,951	125,000	0,424	–
204	D6	1	52,761	125,000	0,422	–
205	VD17	1	52,148	125,000	0,417	–
206	D8	1	51,374	125,000	0,411	–

3.2. Моделирование механических процессов в печатных узлах сложной формы (АСОНИКА-ТМ)

В основу программного модуля легли алгоритмы, основанные на методе конечных элементов: эффективная сборка глобальных матриц жесткости, решения больших систем алгебраических уравнений методом Холецкого, математические модели типовых элементов конструкций РЭС.

Для исследования динамического деформирования механических систем при использовании метода конечных элементов наиболее удобным является применение принципа возможных перемещений в сочетании с принципом Даламбера.

Итоговая система уравнений движения конструкции выглядит следующим образом:

$$[M]\{\ddot{r}\}+[C]\{\dot{r}\}+[K]\{r\}=\{F\},$$

где $[M],[C],[K]$ – матрицы масс, вязкого демпфирования и жесткости соответственно;

$\{r\}$ – вектор узловых перемещений;

$\{F\}$ – вектор внешних воздействий.

Проведены исследования свободных колебаний. Собственными, или свободными, колебаниями называется движение при отсутствии внешних сил и сил демпфирования. Система уравнений, которые описывают такое движение, сводится к следующей алгебраической задаче:

$$[K]\{r\}-\omega^2[M]\{r\}=0.$$

Такая задача в линейной алгебре называется обобщенной задачей на собственные значения, и ее целью является нахождение ряда значений ω_i и векторов $\{r_i\}$, удовлетворяющих уравнению. Число таких значений ω_i равно порядку системы уравнений, их последовательность в порядке возрастания называется спектром собственных значений, и соответствующие векторы $\{r_i\}$ называются собственными.

Для решения обобщенной задачи на собственные значения в общем случае существует довольно большое количество методов. Однако их прямое применение не оправдано в задачах рассматривае-

мого класса (исследование свободных колебаний конструкций РЭС). Это объясняется тем, что сложная задача определения всего спектра собственных частот является излишней, и вполне достаточно ограничиться определением лишь части спектра, которая соответствует минимальным значениям ω_i. Для решения этой частичной проблемы собственных значений в работе рассматривается модифицированный метод Ланцоша со спектральной трансформацией.

При анализе на гармоническую вибрацию наибольшие амплитуды перемещений возникают на частотах, близких к собственным частотам конструкции. Поэтому наиболее рациональным при выполнении анализа на гармоническую вибрацию является использование переменного шага при выборе частот, на которых выполняется расчет. Плотность посева частот должна быть наибольшей в окрестностях собственных частот конструкции и зависеть также от заданных параметров демпфирования, так как резонансные пики тем острее, чем меньше демпфирована система.

На рис. 3.12 представлен пример зависимости амплитуд перемещений от частоты при анализе на гармоническую вибрацию и выбор частот в соответствии с резонансами. Частоты, на которых выполняется расчет, определяются по формулам

$$\Omega^i_{-j} = \omega_i / a_{ij},\ \Omega^i_{+j} = \omega_i a_{ij},$$

где Ω^i_{-j} – частоты меньшие, чем собственная частота ω_i;

Ω^i_{+j} – частоты большие, чем собственная частота ω_i;

a_{ij} – коэффициент, определяющий плотность расположения частот Ω:

$$a_{ij} = 1 + \xi^b,$$

$$b = \frac{2(N - j)}{N - 1},$$

где ξ – заданный коэффициент демпфирования;

N – целочисленная константа, определяющая количество частот Ω;

$j = 1, 2, ..., N.$

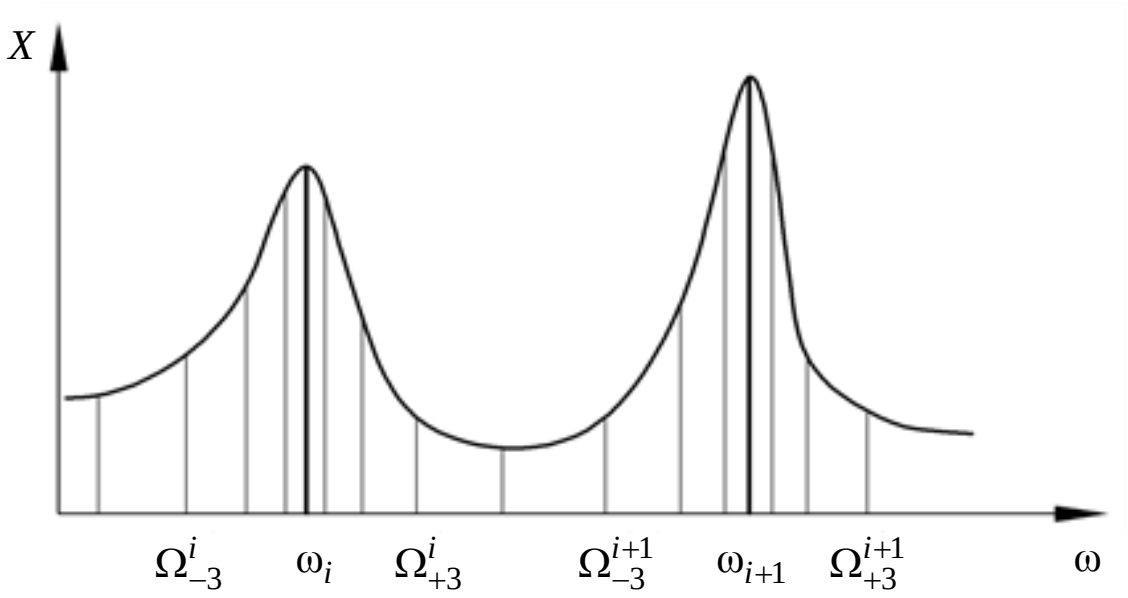


Рис. 3.12. Переменный шаг частот при гармоническом анализе

Описанный подход позволяет уменьшить время расчета при анализе на гармоническую вибрацию за счет меньшего количества частот, на которых производится расчет, без потери точности.

Для анализа конструкций РЭС при воздействии случайной вибрации используется следующее соотношение между выходной спектральной плотностью и спектральной плотностью воздействия:

$$S_d = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\varphi_j\varphi_k\left[\begin{array}{l}\sum\limits_{l=1}^{q}\sum\limits_{m=1}^{q}\dfrac{\varphi_{ij}\varphi_{mk}}{M_j M_k}H_j^*(\omega)H_k(\omega)S_{P_l P_m}(\omega)+\\ +\sum\limits_{l=1}^{r}\sum\limits_{m=1}^{r}\Gamma_{ij}\Gamma_{mk}H_j^*(\omega)H_k(\omega)S_{\ddot{u}_{l_R}P_{m_R}}(\omega)\end{array}\right],$$

где S_d – динамическая компонента выходной спектральной плотности ускорений;

n – число используемых собственных частот конструкции;

φ_j (φ_k) – форма колебаний конструкции на j-й (k-й) собственной частоте;

q – число степеней свободы, соответствующих незакрепленным узлам, где приложено воздействие;

φ_{ij} (φ_{mk}) – ij-й (mk-й) элемент матрицы форм колебаний конструкции на собственных частотах;

$H_j(\omega) = \dfrac{1}{\omega_j^2 - \omega^2 + 2i\omega_j\xi_j\omega}$ – комплексная модальная передаточная функция на *j*-й собственной частоте, связывающая входное воздействие в форме ускорений и реакцию системы в форме перемещений;

ω – круговая частота воздействия;

$S_{P_l P_m}(\omega)$, $S_{\ddot{u}_{l_R} P_{m_R}}(\omega)$ – спектральная плотность воздействия, приложенного к свободным узлам конструкции, и спектральная плотность ускорений, приложенная к закрепленным узлам;

r – число степеней свободы, соответствующих закрепленным узлам, где приложено воздействие в виде ускорения.

Среднеквадратическое ускорение незакрепленных узлов элементов конструкции определяется выражением

$$\sigma_{f_i}^2 = \int_0^\infty S_{d_i}(\omega)\, d\omega.$$

При анализе на случайную вибрацию конструкций воздействие обычно задается в виде спектральной плотности ускорений, которая является линейной (логарифмической) функцией скорости. При таком задании входного воздействия возможно представить подынтегральное выражение $S(\omega)$ в виде рациональной дроби $p(\omega)/q(\omega)$, где $p(\omega)$ – полином с действительными членами, а $q(\omega)$ – с комплексными. Полином $q(\omega)$, имеющий *N* комплексных корней Ω_R, можно разложить на сумму простых дробей:

$$\frac{1}{q(\omega)} = \sum_{R=1}^{N} \frac{a_R}{(\omega - \Omega_R)}, \text{ ãäå } a_R = \frac{1}{\prod_{j=1}^{N} (\Omega_R - \Omega_j)}.$$

Таким образом, становится возможным аналитическое вычисление интегралов при определении среднеквадратической реакции системы.

Рассмотрен вопрос учета демпфирующих свойств материала, так как данные свойства в существенной степени влияют на динамическую напряженность и виброактивность элементов конструкций РЭС, ограничивая амплитуды их колебаний. Основы исследованияне-

совершенной упругости материала при колебаниях механических систем заложены в работах Н. Н. Давиденкова, Е. С. Сорокина и Г. С. Писаренко. Однако в настоящее время не представляется возможным назвать отечественные или зарубежные методики, которые могли бы полностью решить проблему полного учета демпфирования.

Для учета демпфирующих свойств материала при динамическомнагружении предлагается использовать формулу Е. С. Сорокина, представляющую эллиптическую петлю гистерезиса (рис. 3.13):

$$\sigma = E\left(\varepsilon \pm \delta(\varepsilon_0)\pi^{-1}\varepsilon_0\sqrt{1-\varepsilon^2/\varepsilon_0^2}\right),$$

где σ – нормальное напряжение;

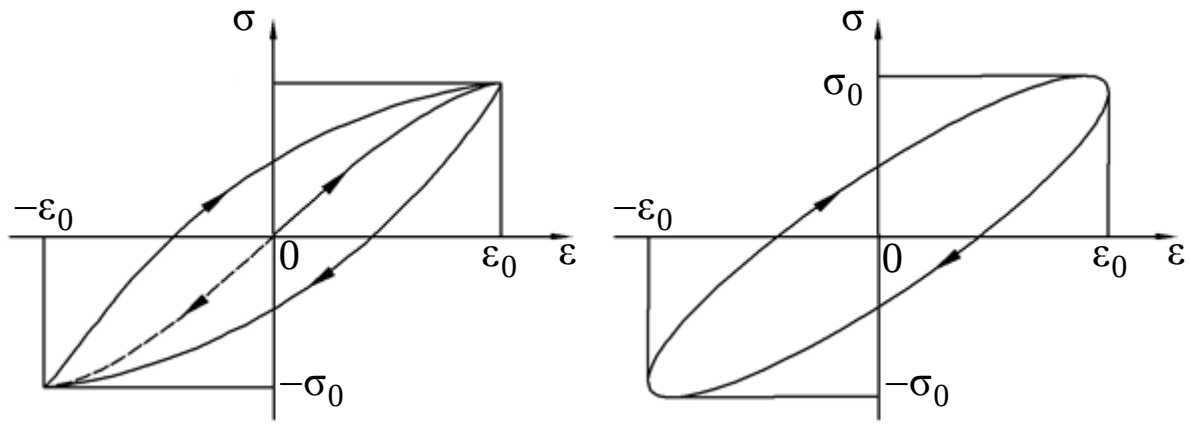
E – модуль упругости материала;

ε – относительная деформация;

δ – логарифмический декремент затухания колебаний;

ε_0– амплитудное значение относительной деформации ε.

Следует отметить, что указанная формула справедлива лишь в случае установившихся (стационарных) колебаний. При исследовании знакопеременных переходных процессов данную формулу можно рассматривать как приближенную, заменяя в ней амплитуду деформации ε_0значением $|\varepsilon_m|$ на каждом полуцикле колебаний, где ε_m – относительная деформация в точках реверса кривых деформирования материала.



а)б)

Рис. 3.13. Вид петли гистерезиса:

а– получаемой экспериментально; *б*– в соответствии с теорией Е. С. Сорокина

Реакция конечно-элементной модели конструкции с учетом амплитудно-зависимого рассеяния энергии в материале определяется дифференциальным уравнением движения

$$[M]\{\ddot{x}\}+[\bar{K}(t)]\{x\}=\{F(t)\},$$

где $[M]$ – матрица масс;

$[\bar{K}(t)]$– нелинейная матрица жесткости;

$\{x\}$– вектор перемещений;

$\{F(t)\}$– вектор внешних сил.

Нелинейная матрица жесткости конструкции получается путем объединения нелинейных матриц жесткости всех конечных элементов. Нелинейная матрица жесткости элемента определяется в общем случае по следующей формуле:

$$[\bar{K}]_e=\int_V [B]^{\mathrm{T}}[\bar{D}][B]dV,$$

где $[B]$ – матрица, связывающая внутри элемента перемещения и деформации;

$[\bar{D}]$– нелинейная матрица упругости элемента, связывающая напряжения и деформации.

Уравнение движения конструкции, записанное в этой форме, решается одним из шаговых методов численного интегрирования и может использоваться без каких-либо ограничений для исследования всевозможных динамических процессов.

При циклическом деформировании материала более выгодно применять частную формулировку, основанную на гипотезе Е. С. Сорокина о комплексном внутреннем трении:

$$[M]\{\ddot{x}\}+[K]\{x\}+i[K_g]\{x\}=e^{i\omega t}\{F_0\},$$

где $[K]$– матрица жесткости конструкции;

$[K_g]=[\bar{K}]-[K]$– матрица гистерезисного демпфирования;

ω– частота внешнего гармонического воздействия;

$\{F_0\}$ – вектор, содержащий амплитуду внешнего воздействия.

Следует отметить, что элементы матрицы $[K_g]$ в уравнении содержат логарифмический декремент материала δ, зависящий от соот-

ветствующих амплитуд деформаций конечных элементов, а последние при формировании уравнения неизвестны. Поэтому для решения данного уравнения необходимо использовать итерационные методы.

Таким образом, в результате получены уравнения динамического поведения конструкции с учетом несовершенной упругости материала, которые соответствуют гипотезе внутреннего трения, заключающейся в амплитудной зависимости демпфирования.

Разработанный программный модуль является частью проблемно-ориентированной подсистемы АСОНИКА-ТМ и также может быть интегрирован с подсистемой АСОНИКА-М.

Программный модуль для моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов разработан в интегрированной среде разработчика Microsoft Visual Studio 2008 на языке C#.

Для нормального функционирования разработанного программного модуля необходима IBM-совместимая ПЭВМ минимальной конфигурации: CPU 1 ГГц, 128 Mb RAM, 1 Gb HDD, SVGA 32 Mb, CD-R 20x, Keyboard, Mouse, 15" Monitor.

Структурная схема подсистемы АСОНИКА-ТМ с разработанным программным модулем приведена на рис. 3.14.

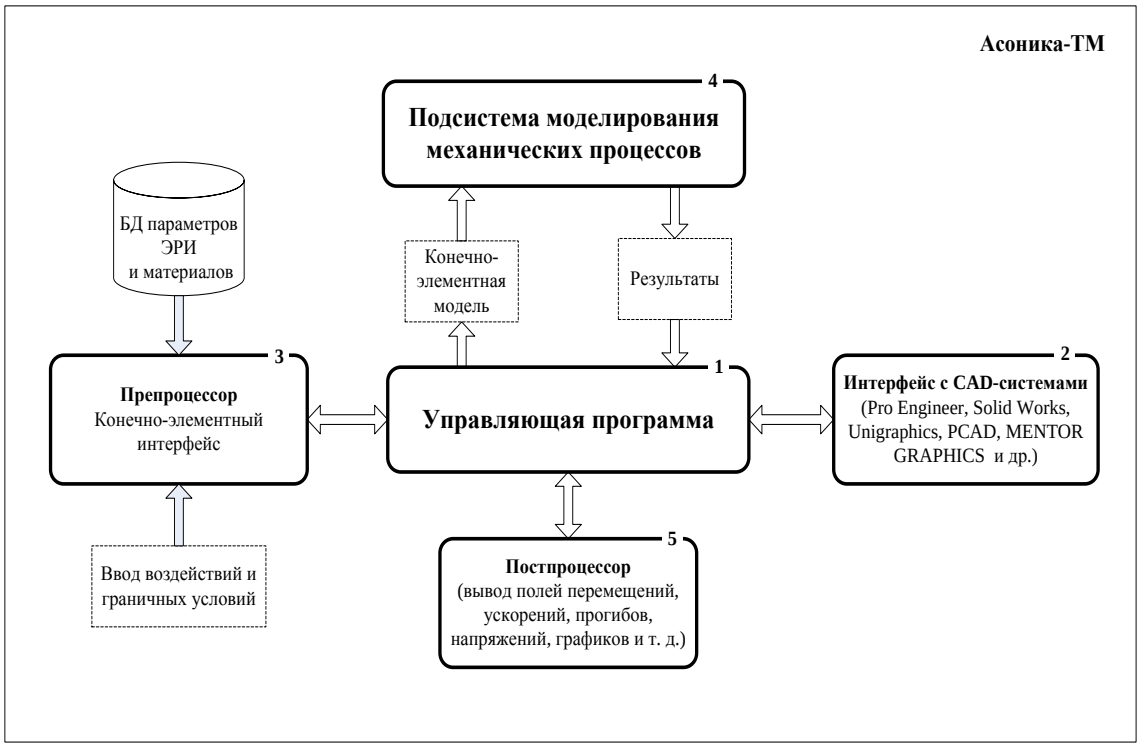


Рис. 3.14. Структура автоматизированной подсистемы АСОНИКА-ТМ с программным модулем моделирования механических процессов методом конечных элементов

Подсистема АСОНИКА-ТМ, дополненная программным модулем моделирования механических процессов методом конечных элементов, позволяет моделировать печатные узлы РЭС сложной формы на воздействие: 1) гармонической вибрации; 2) случайной вибрации; 3) удара одиночного действия; 4) удара многократного действия; 5) линейного ускорения.Подсистема позволяет получать в узлах конструкции печатного узла, контрольных точках и на отдельных ЭРИ значения: 1) абсолютных и относительных ускорений; 2) прогибов и перемещений; 3) механических напряжений.

Результаты моделирования могут быть представлены в виде:

АЧХ или АВХ, в зависимости от типа воздействия, ускорений, прогибов, перемещений, напряжений в контрольных точках и узлах конструкции, а также на отдельных ЭРИ;

полей механических характеристик при заданном значении времени или частоты;

деформации конструкции печатного узла;

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

карт режимов механических режимов работы с указанием коэффициентов нагрузки и перегрузок, если таковые имеются, на основе которых разработчиком может быть принято проектное решение.

Основу подсистемы составляют следующие модули: управляющая программа (1), интерфейс с CAD-системами (2), препроцессор (3), подсистема моделирования механических процессов (4) и постпроцессор (5).

Управляющая программа осуществляет автоматизированную передачу данных между препроцессором, подсистемой моделирования механических процессов и постпроцессором подсистемы. Управляющая программа осуществляет взаимодействие с PDM-системой хранения и управления данными о РЭС, имеет интерфейс связи с различными CAD-системами и системами топологического проектирования печатных плат PCAD, MentorGraphics, из которых может быть передан перечень ЭРИ, координаты размещения ЭРИ на плате, а также геометрия самой платы, что значительно сокращает время на ввод модели печатного узла.

В препроцессоре при помощи графических интерфейсов автоматизированного синтеза макромодели печатного узла, графического

интерфейса ввода механических воздействий и базы данных параметров ЭРИ и материалов формируется информационная модель печатного узла с точки зрения визуализации исходных данных.

Разработанный программный модуль моделирования механических процессов выполняет роль механического процессора в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

В постпроцессоре результаты моделирования отображаются в доступном пользователю виде. На основе полученных результатов разработчиком может быть принято проектное решение об обеспечении стойкости несущих конструкций РЭС к механическим воздействиям.

В случае превышения расчетных напряжений элементов конструкции или расчетных ускорений на ЭРИ над допустимыми возможна корректировка конструкции.

Структурная схема программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементовпредставлена на рис. 3.15.

Взаимодействие между программным модулем моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов и подсистемой АСОНИКА-ТМ организовано через формирование файла макрокоманд. Файл макрокоманд обрабатывается внутренним интерпретатором. По полученным входным данным вычисляются сначала локальные матрицы жесткости, масс и демпфирования для каждого элемента и сборка глобальных матриц. В зависимости от типа заданного механического воздействия проводятся либо анализ на произвольное динамическое воздействие, либо анализ на случайную вибрацию. Анализ на произвольное динамическое воздействие выполняется с учетом заданной зависимости демпфирующих свойств материала от механических напряжений, поэтому данный тип анализа выполняется итерационно.

Входные данные для программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов подготавливаются на основе следующей информации:

– техническое задание на разработку изделия;

– эскизы или сборочные чертежи конструкции;

– спецификация;

– перечень элементов;

– параметры.

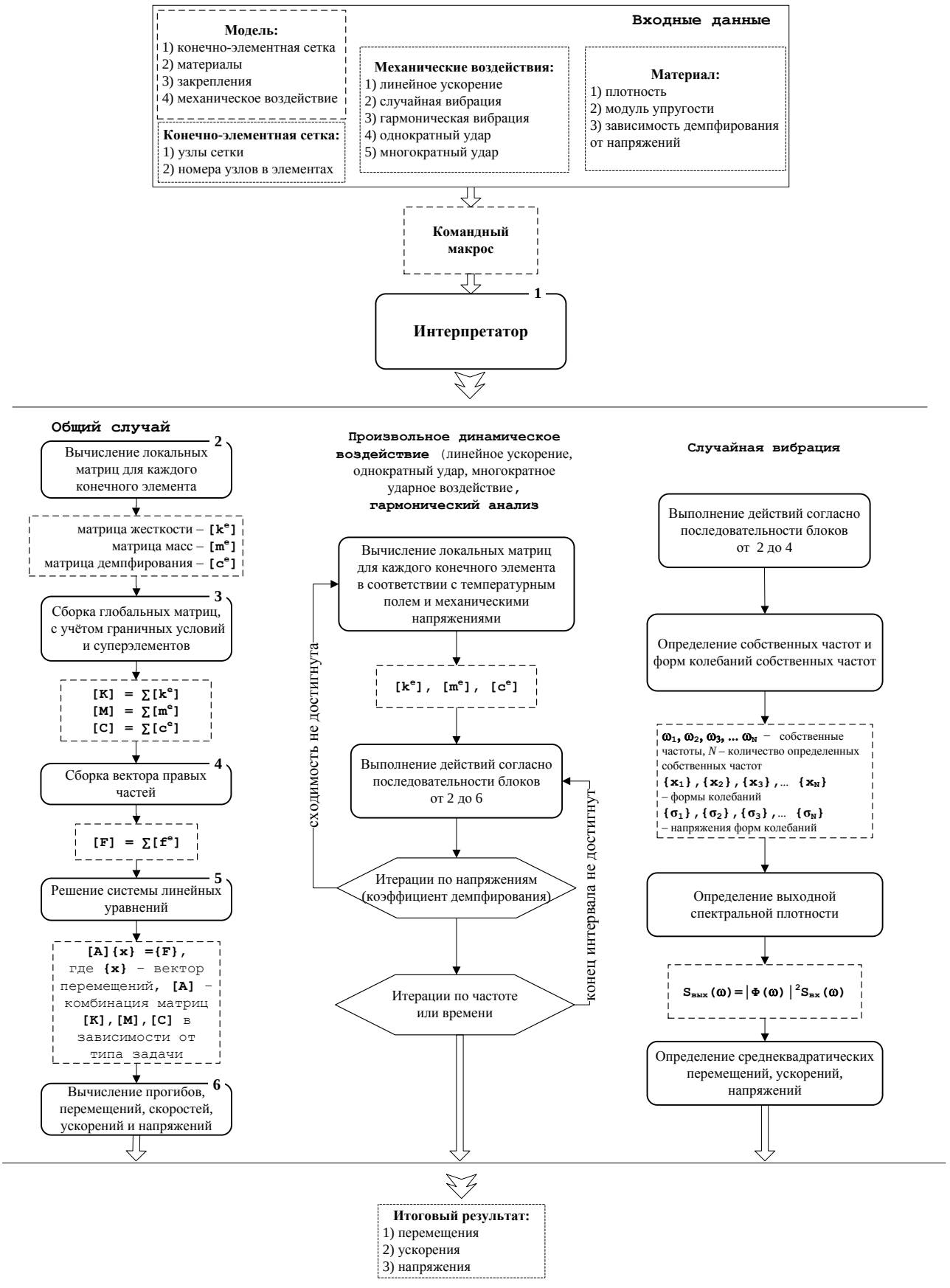


Рис. 3.15. Структурная схема программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов

Структура входных данных для моделирования печатных узлов РЭС на механические воздействия формируется на основе следующих данных:

– геометрия печатного узла;

– описание слоев материла печатного узла: D_Z – толщина слоя; ρ – плотность материла слоя;E_1, E_2, E_3 – модули упругости по осям*x*, *y*и под углом 45º соответственно; μ_1, μ_2, μ_3 – коэффициенты Пуассона по осям*x*, *y*и под углом 45º соответственно;γ_0 – коэффициент механических потерь;k_σ – коэффициент зависимости демпфирования от напряжения;

– описание ЭРИ: обозначение, номер поверхности установки, координаты установки, $M_{ЭРИ}$– масса ЭРИ;

– описание условий закрепления: координаты, жесткость опоры;

– описание ребер жесткости: координаты и поверхность установки, толщина и параметры материала (аналогично слоям).

Уровни входных механических воздействий задаются в частотном или временном диапазоне следующим образом:

– для гармонической вибрации: зависимость амплитуды виброускорения от частоты;

– для случайной вибрации: зависимость спектральной плотности ускорения от частоты;

– для удара: зависимость ударного ускорения от времени (для многократного удара дополнительно задаются количество ударных импульсов и период следования импульсов);

– для линейного ускорения: зависимость ускорения от времени;

– для акустического шума: зависимость среднеквадратического значения акустического давления от частоты.

По описанным входным данным подсистемой АСОНИКА-ТМ формируется файл с макрокомандами, в котором данные передаются в программный модуль анализа на механические воздействия.

По результатам расчета конструкций РЭС в рамках программного модуля анализа на механические воздействия выходная информация передается в подсистему АСОНИКА-ТМ и представляется в следующем виде:

– поля амплитуд ускорений, прогибов и напряжений (для несущих конструкций по осям) при каждом рассчитанном значении частоты или времени в зависимости от типа механического воздействия;

– поля среднеквадратических значений виброускорений элементов конструкции РЭС при воздействии случайной вибрации;

– зависимости спектральной плотности виброускорения от частоты случайной вибрации.

На основе параметров механических воздействий и выходной информации в постпроцессорах подсистемы АСОНИКА-ТМ автоматически рассчитываются остальные механические характеристики, необходимые для принятия проектного решения об обеспечении стойкости РЭС к механическим воздействиям и о повышении показателей надежности разрабатываемой аппаратуры.

Проектное решение принимается на основе сравнения расчетных характеристик с допустимыми по ТУ:

– максимальные допустимые напряжения на изгиб материалов конструкции;

– максимальные допустимые ускорения гармонической вибрации, одиночного и многократного ударов, линейного ускорения.

На рис. 3.16 приведен пример результатов расчета механических характеристик в ПУ сложной формы.

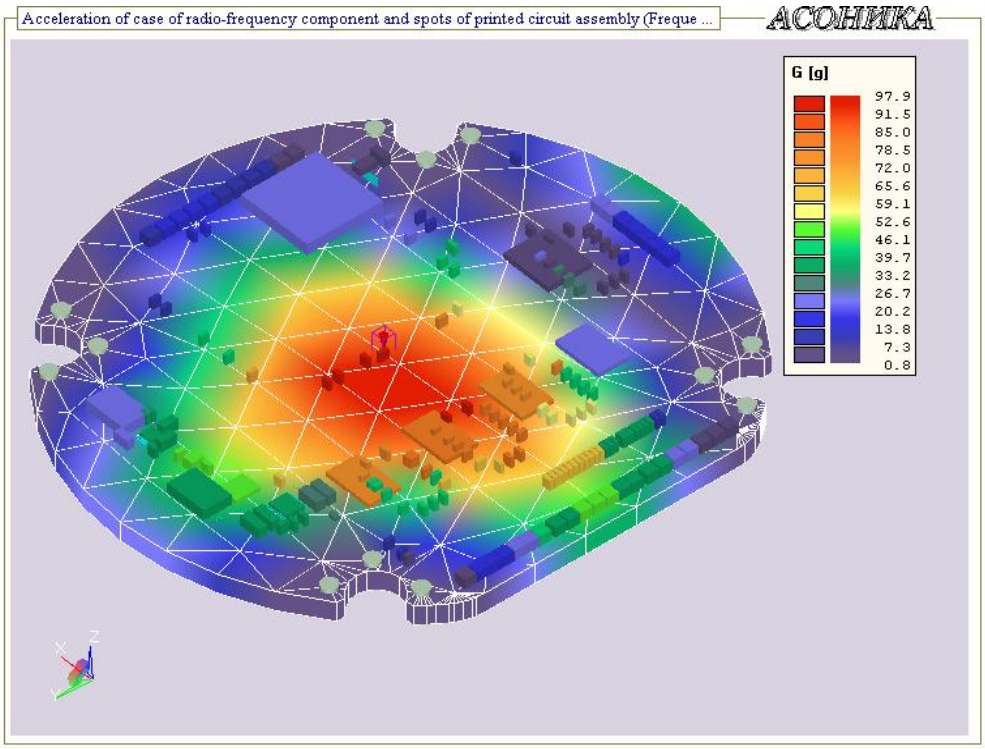


Рис. 3.16. Поле ускорений на резонансной частоте при гармонической вибрации

3.3. Анализ усталостной прочности конструкций печатных узлов при механических воздействиях (АСОНИКА-УСТ)

К нарушениям прочности РЭС приводит накопление усталостных повреждений в выводах радиоэлементов (РЭ) с последующим их разрушением, и именно усталость является основным источником отказов в работе РЭС при механических воздействиях.

В связи с этим время до усталостного разрушения выводов РЭ, которое не должно быть меньше суммарной длительности механических воздействий на аппаратуру в условиях эксплуатации, является важной механической характеристикой. С каждым днем разбивается все больше и больше самолетов. Как показывает анализ, для старых самолетов одной из главных причин является выработка ресурса, а для новых – механические и тепловые перегрузки аппаратуры, располагаемой на борту. Это происходит потому, что не проводится моделирование РЭС. Проводят, как правило, только испытания, да и то не в процессе проектирования, а уже когда создан опытный образец. При этом при испытаниях никто не контролирует механические ускорения и напряжения на каждом радиоэлементе, а тем более время до усталостного разрушения. Анализ приблизительно 400 отчетов, собранных за 8 лет по результатам механических испытаний приборов и их комплектующих, показал, что усталость является причиной 80 % отказов радиоэлементов.

Экспериментальные исследования РЭС при их проектировании являются трудоемкими и в большинстве случаев не позволяют оценить длительную работоспособность РЭ при механических воздействиях, так как время испытаний аппаратуры при номинальных нагрузках достигает десятков тысяч часов, что практически не реализуемо. Таким образом, в настоящее время весьма актуальна задача компьютерного моделирования РЭ в составе печатных узлов и блоков РЭС для анализа усталостной прочности радиоэлементов при механических воздействиях.

Практическое применение аналитических методов для решения задач динамики конструкций РЭС сопряжено с рядом трудностей. Конструкции современных РЭС представляют собой сложные механические системы с множеством упругих и жестких связей, с неклассическими для строительной механики способами крепления отдельных конструктивных элементов. Кроме того, радиоэлементы представляют собой механические конструкции, в которых могут возни-

кать резонансные колебания, усиливающие механические нагрузки в десятки раз. Для такой механической системы сложно построить расчетную модель, достаточно простую и в то же время хорошо отражающую физические и динамические свойства. При составлении и решении уравнений движения конструкции возникает ряд математических трудностей.

Эти причины обусловливают необходимость применения численных методов для расчета динамических параметров конструкций РЭС. Метод конечных элементов является одним из наиболее эффективных численных методов решения математических задач, описывающих состояние физических систем сложной структуры. В последние десятилетия он занял ведущее положение и получил широкое применение. В настоящее время существует множество программных реализаций метода конечных элементов. Это прежде всего так называемые тяжелые CAE-системы, причем практика показывает, что большинство промышленных предприятий отдает предпочтение крупным универсальным CAE-системам типа: NASTRAN,COSMOS-M, MARC, ANSYS.

Однако применение универсальных систем требует серьезных теоретических знаний и опыта использования данных программ. Кроме того, отсутствие специализированных баз данных по параметрам материалов конструкций РЭС, а также по параметрам радиоэлементов увеличивает время построения и ставит под сомнение адекватность моделей, создаваемых в универсальных программах. Другим существенным недостатком универсальных программ является ограниченность либо полное отсутствие средств проведения усталостного анализа.

Исследования процесса проектирования РЭС с применением компьютерного моделирования механических процессов и существующих специализированных программ моделирования показывают отсутствие на нынешний день необходимого программного и методического обеспечения, позволяющего разработчику РЭС в заданные сроки построить адекватную модель конструкции, провести расчет на механические воздействия, дать оценку времени до усталостного разрушения и принять решение по повышению надежности проектируемых РЭС.Это прежде всего связано с тем, что в специализированных программах, используемых для анализа механических характеристик конструкций РЭС на уровне блоков, моделирование механических

процессов в выводах РЭ не проводится, а в программах, используемых на уровне ПУ и РЭ, предусмотрен только расчет механических напряжений в конструкциях отдельных типовых РЭ, но отсутствует возможность для оценки времени до усталостного разрушения. Отсутствуют расчетные модели РЭ, позволяющие провести оценку времени до усталостного разрушения, которые зависят от варианта установки, материала, геометрических размеров и формовки выводов.

Выход из сложившейся ситуации лежит в разработке методики, позволяющей с минимальными усилиями синтезировать математические модели радиоэлементов, входящих в состав ПУ (или блоков РЭС). Данные модели должны отображать особенности геометрии типовых и нетиповых РЭ. Реализация методики предполагает создание пользовательских интерфейсов, автоматизирующих создание геометрических моделей РЭ, и разработку специальных алгоритмов, преобразующих геометрические модели в конечно-элементные аналоги, которые позволили бы использовать одну из универсальных CAE-систем для проведения моделирования. Результаты моделирования содержат собственные формы и частоты ПУ, а также перемещения, напряжения и ускорения в узлах конструкции. На основе этих данных время до усталостного разрушения может быть рассчитанопо параметрам выносливости материала РЭ.

На основе вышесказанного можно предложить схему моделирования (рис. 3.17), согласно которой взаимодействие конструктора РЭС с математическим аппаратом CAE-системы осуществляется через набор специализированных интерфейсов на языке, доступном для разработчика аппаратуры. В данной схеме отсутствует посредничество аналитика-расчетчика между конструктором и системой анализа, что увеличивает эффективность моделирования.

Средства автоматизации должны выполнять все типовые действия, характерные для моделирования механических процессов в конструкциях РЭС, снижая тем самым трудоемкость проведения анализа и участие пользователя в работе, легко поддающейся формализации. Участие в анализе расчетчика косвенное и сведено к минимуму. Расчетчик только исследует, создает и внедряет новые модели типовых элементов конструкций РЭС.



Рис. 3.17. Предлагаемая схема процесса моделирования конструкций РЭС

В качестве математического аппарата моделирования рассматривается математическое ядро универсальной CAE-системы ANSYS. Благодаря средствам макропрограммирования, встроенным систему в ANSYS, можно существенно автоматизировать процесс построения и конечно-элементного разбиения различных конструкций РЭ. В качестве специализированной программы для создания геометрических моделей печатных узлов выбрана подсистемаАСОНИКА-ТМ. Она позволяет создавать геометрические модели РЭ с произвольными вариантами установки и располагает широкими средствами геометрической параметризации конструкций.

Для обеспечения взаимодействия подсистем АСОНИКА-ТМ, CAE-системы ANSYS, интерфейсов ввода свойств конструкций РЭС, средств проведения усталостного расчета и интерфейсов вывода результатов моделирования необходимо разработать соответствующее программное обеспечение.

Модели радиоэлементов в АСОНИКА-ТМ состоят из набора геометрических примитивов различной формы. Для генерации конечноэлементных ANSYS-моделей радиоэлементов необходимо в

первую очередь преобразовать геометрические примитивы, составляющие модель АСОНИКА-ТМ, в аналогичные геометрические объекты системы ANSYS.

ANSYS-модель включает в себя две взаимосвязанные модели: твердотельную и конечноэлементную. Причем первая модель используется лишь как вспомогательное средство для генерации второй, так как для проведения анализа нужна лишь конечноэлементная модель.

Одной из основных проблем, возникающих при конечноэлементном разбиении, является обеспечение связности модели. Твердотельная модель состоит из набора геометрических объектов или объемов различной формы. Если не затратить дополнительных усилий, то эти объемы не будут никак связаны между собой, сосуществуя в пространстве как совокупность разрозненных объектов. На этапе конечноэлементного разбиения сетка элементов будет отдельно сгенерирована для каждого несвязанного объема. В результате геометрическое расположение узлов сетки в местах касания объемов окажется различным для каждого из соприкасающихся объемов. Такая модель непригодна для анализа, поскольку не обеспечивает передачу нагрузок и деформаций между частями конструкции, моделируемыми разрозненными геометрическими объектами.

Для обеспечения связности на этапе твердотельного моделирования необходимо средствами логических операций состыковать разрозненные объекты в единую твердотельную модель, что автоматически обеспечит совпадение узлов сетки в местах касания. Использование логических операций зависит от варианта касания объемов. Помимо касания, объекты также могут пересекаться, т. е. занимать общее пространство. В последнем случае нужно приложить дополнительные усилия путем усечения части одного из пересекающихся объемов перед выполнением связывания.

Другие сложности, возникающие при создании конечноэлементных моделей, зависят от особенностей объектов моделирования. Анализ моделей радиоэлементов позволяет сделать несколько заключений:

1. Большинство выводов РЭ представляют собой трубную конструкцию круглого или прямоугольного сечения, состоящую из нескольких участков, разделенных местами перегиба. Вывод может касаться корпуса или элементов крепления или пересекаться с ними. Размеры корпуса, как правило, значительно превышают размеры вы-

водов. При этом отдельные модели РЭ могут содержать не один десяток выводов. Принимая все это во внимание, а также то, что именно выводы являются наиболее уязвимыми частями конструкции РЭ с точки зрения усталостной прочности, необходимо создать оптимизированные алгоритмы КЭ разбиения геометрии выводов стандартной формы.

2. Тонкие элементы конструкции (например, клеевоесоединение, а также различные прокладки) могут быть отброшены при создании твердотельной модели без потери жесткости конструкции.

3. Примитивы, из которых состоят модели радиоэлементов и печатной платы, могут иметь самые различные варианты геометрического контакта. Наибольшую сложность для обеспечения связности представляют варианты касания по прямой линии и пространственной кривой, а также взаимное пересечение примитивов.

Для генерации конечноэлементных ANSYS-моделей печатных узлов с учетом геометрии радиоэлементов был разработан алгоритм, реализация которого позволяет осуществлять автоматический перенос геометрических моделей из АСОНИКА-ТМ в ANSYS. Структура алгоритма генерации с указанием основных этапов и действий, выполняемых на каждом этапе, представлена на рис. 3.18.

Усталостное разрушение представляет собой сложный физический процесс, с трудом поддающийся точному описанию на микроскопическом уровне, включающий стадии зарождения микротрещин и их последующего развития.

Несмотря на всю сложность данного явления, оценка степени усталостного повреждения в элементах конструкций и компонентов является в настоящее время неотъемлемой составляющей процесса проектирования.

Множество теорий, методов и гипотез было предложено, особенно в последнее время, для анализа усталости для различных типов нагружения.

Среди них можно выделить:

– механизм непрерывного накопления повреждений (ContinuumDamageMechanics), рассматривающий процесс накопления повре-ждений как непрерывный интегральный процесс, вследствие чего от-падает необходимость введения понятия «цикл нагружения»;

– методы критических плоскостей (CriticalPlaneApproaches), постулирующие, что усталостное разрушение наступает преимуще-

ственно в отдельных плоскостях, называемых критическими, и поэтому рассматривающие накопление повреждений в пределах упомянутых плоскостей.

1. Формирование твердотельной модели печатного узла без радиоэлементов

Получение геометрических характеристик ПУ.
Получение информации о слоях ПУ, в том числе ортотропных свойств материала ПУ.
Получение геометрических характеристик креплений.
Преобразование данных в макрокоманды, которые передаются препроцессору ANSYS для построения твердотельной модели ПУ.

2. Формирование твердотельных моделей радиоэлементов, состоящих из отдельных геометрических примитивов

Просмотр таблицы геометрических примитивов модели АСОНИКА-ТМ.
Каждая строка таблицы преобразуется в набор макрокоманд ANSYS, которые управляют созданием аналогичного геометрического примитива в системе ANSYS.
Тонкие элементы конструкции, соответствующие некоторому критерию оптимизации, отбрасываются.
ANSYS-модели радиоэлементов, построенные таким способом, будут состоять из набора объемов (ANSYS Volumes), никак не связанных между собой.

3. Обеспечение связности твердотельной модели

Попарная проверка всего набора объемов на предмет касания/пересечения средствами логических операций ANSYS и выявление типа геометрического контакта
В случае геометрического пересечения (т. е. перекрытия) объемов – усечение части объема, имеющего меньший приоритет.
Поиск вырожденных поверхностей в местах контакта объемов и корректировка модели.
Связывание объемов средствами логических операций, выбор которых зависит от выявленного варианта геометрического контакта.
Связывание моделей радиоэлементов с моделью ПУ.

4. Создание конечноэлементной модели

Задание свойств материалов для ПУ и РЭ, включая элементы РЭ (выводы, корпуса).
Применение для отдельных частей твердотельной модели (например, для выводов стандартной формы) оптимизированных методов КЭ разбиения.
КЭ разбиение остальных частей модели.
Проверка формы полученных конечных элементов на основании использования внутренних команд проверки ANSYS.
При обнаружении элементов слабой формы – повторное разбиение объемов с изменением опций команды разбиения (до тех пор, пока количество элементов слабой формы не станет равным нулю либо не достигнет некоторого минимума).

Рис. 3.18. Структура алгоритма генерации конечноэлементных моделей

Однако большинство современных теорий еще недостаточно проверены временем и опытом и их следует использовать с некоторой осторожностью. В частности, это касается методов анализа для сложного (многоосевого) нагружения.

Долгие годы экспериментальных исследований привели к двум основным подходам (или моделям) для оценки времени до усталостного разрушения:

1. Подход, основанный на напряжениях (stress-lifeapproach S-N).

2. Подход, основанный на деформациях (strain-lifeapproach e-N).

Первый подход предполагает наличие достаточно невысоких нагрузок (напряжений) и большого количества циклов. При этом деформации остаются по большей части упругими. Данную модель также называют многоцикловой усталостью (high-cyclefatigue).

Второй подход предполагает наличие довольно высоких нагрузок (напряжений и деформаций) и сравнительно небольшого количества циклов. При этом нельзя игнорировать пластическую составляющую полной деформации. Данную модель также называют малоцикловой усталостью (low-cyclefatigue).

При многоцикловой усталости может быть использовано так называемое уравнение Басквина

$$\frac{\Delta\sigma}{2} = \sigma_{f'}(2N_f)^b,$$

где $\frac{\Delta\sigma}{2}$ – амплитуда напряжения в цикле;

$\sigma_{f'}$ – коэффициент усталостной прочности, зависящий от материала;

N_f – число циклов до разрушения;

b – показатель усталостной прочности (показатель Басквина), зависящий от материала.

Уравнение Басквина является одним из основных уравнений, используемых при многоцикловой усталости, хотя на практике чаще используется следующая зависимость:

$$N_f = N_b\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_a}\right)^m,$$

где N_f – число циклов до разрушения;

N_b – базовое число циклов (обычно принимается $N_b = 10^7$);

σ_0 – предел выносливости (или предел усталости) для материала;

σ_a – амплитуда напряжения в цикле;

m – параметр, зависящий от материала.

Основным уравнением при малоцикловой усталости служит уравнение Мэнсона – Коффина – Басквина:

$$\frac{\Delta\varepsilon}{2} = \frac{\sigma_{f'}}{E}(2N_f)^b + \varepsilon_{f'}(2N_f)^c,$$

где $\frac{\Delta\varepsilon}{2}$ – амплитуда полной деформации в цикле;

$\sigma_{f'}$ – коэффициент усталостной прочности, зависящий от материала;

E – модуль упругости;

N_f – число циклов до разрушения;

b – показатель усталостной прочности, или показатель Басквина, зависящий от материала;

$\varepsilon_{f'}$ – коэффициент усталостной пластичности, зависящий от материала;

c – показатель усталостной пластичности, зависящий от материала.

Обе модели разрабатывались при испытании опытных образцов в условиях простогонагружения (циклическое растяжение – сжатие, кручение). В результате получались экспериментальные кривые, характеризующие зависимость циклически изменяющегося параметра (напряжения или полной деформации) от числа циклов до разрушения. При многоцикловой усталости данные кривые называют кривыми усталости, или кривыми Веллера.

Для их применения в условиях сложного (многоосевого) нагружения применяются так называемые эквивалентные величины (эквивалентные напряжения или эквивалентные деформации). Например, чтобы применить кривую Веллера (построенную для опытного образца в условиях циклического растяжения – сжатия) для случая многоосевого циклического нагружения в опасной точке конструкции, необходимо вычислить амплитуду эквивалентного напряжения по одному из известных критериев. Число циклов до разрушения при

данной амплитуде эквивалентного напряжения будет равно числу циклов до разрушения при циклическом растяжении – сжатии с той же амплитудой напряжения.

Существует множество критериев определения эквивалентных величин. Они основаны на применении статических критериев текучести для анализа усталости при сложном нагружении. Далее приведены наиболее известные критерии в терминах главных напряжений (σ_1, σ_2, σ_3):

1. Критерий максимального главного напряжения:

$$\sigma_1 = \sigma_e.$$

2. Критерий максимального касательного напряжения (критерий Треска):

$$\left|\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\right| = \tau_e.$$

3. Критерий Мизеса:

$$\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_e.$$

Если история нагружения представляет собой случайный процесс (т. е. не является циклической), то для применения моделей усталости существуют специальные методы и алгоритмы в зависимости от способа задания истории нагружения. Так называемые «дождевые» алгоритмы подсчета циклов позволяют учесть эффект от последовательности приложения циклов с различной амплитудой. Существуют также методы, позволяющие рассчитывать время до усталостного разрушения в случае, когда история нагружения характеризуется графиком зависимости спектральной плотности нагрузки от частоты. Такие методы иногда называют спектральными. Они позволяют проводить расчет усталости при вероятностном анализе, таком как анализ на случайную вибрацию.

Отмечено, что к усталостному разрушению радиоэлектронных средств приводят воздействия, которые могут быть приложены длительное время, а именно вибрации и многократные удары.Далее рассматриваются особенности расчета времени до усталостного разрушения при вибрационных и многократных ударных воздействиях, лежащие в основе разработанных алгоритмов, которые были реализо-

ваны средствами макропрограммирования ANSYS в рамках постпроцессора.

Время до усталостного разрушения в произвольной точке конструкции при гармонической вибрации определяется простым делением числа циклов до разрушения на значение частоты. Число циклов до разрушения рассчитывается согласно одному из уравнений многоцикловой усталости.

Задача расчета времени до усталостного разрушения при гармонической вибрации достаточно тривиальна в связи со следующими обстоятельствами:

– амплитуда напряжений в точках конструкции постоянна, следовательно, не требуются дополнительные алгоритмы подсчета циклов с различной амплитудой, а также исключается использование гипотез суммирования усталостных повреждений;

– нет необходимости в дополнительной корректировке среднего значения напряжения в цикле, так как оно равно нулю.

Алгоритм расчета времени до усталостного разрушения при случайной вибрации гораздо более сложен. Одной из основных проблем является выбор эквивалентной величины. Рассчитываемые системой ANSYS эквивалентные напряжения затруднительно применять для анализа времени до усталостного разрушения, поскольку распределение эквивалентной величины по гипотезе Мизеса отличается от распределения компонент тензора напряжений (распределенных нормально). Это связано с нелинейностью гипотезы Мизеса. Тем более затруднительно для данной гипотезы получить распределение амплитуд или локальных экстремумов эквивалентной величины, необходимых для расчета усталости.

При случайной вибрации воздействия в местах креплений – случайные величины, имеющие одинаковые статистические параметры, однако в каждый момент времени их мгновенные значения могут различаться. Это вызовет в произвольной точке конструкции сложное многоосевое, в общем случае непропорциональное нагружение. Другими словами, направление и пропорциональное соотношение главных напряжений (или деформаций) могут изменяться во времени. Для анализа усталости в условиях такого напряженного состояния обычно используют методы критических плоскостей. Они рассматривают накопление усталостных повреждений в отдельных плоскостях,

в которых предполагается, что разрушение наступит с наибольшей вероятностью.

Поскольку результатом анализа на случайную вибрацию являются спектральные плотностинапряжения в узлах конструкции, то для расчета времени до усталостного разрушения нужно использовать спектральные методы.Для произвольной, в том числе широкополосной, случайной вибрации используются различные гипотезы, позволяющие рассчитать время до разрушения непосредственно из спектральной плотности эквивалентной величины.

Усталостное разрушение при ударном воздействии может наступить за очень короткое время вследствие высоких напряжений и значительных пластических деформаций. Поэтому модель многоцикловой усталости здесь неприменима.

При использовании модели малоцикловой усталости возникают определённые затруднения. Это связано, во-первых, с нециклическим характером нагрузки в узлах КЭ модели конструкции, так как форма ударного импульса может быть произвольной; а во-вторых – со сложностью моделирования пластического деформирования в системе ANSYS.

Для расчета полных деформаций при ударе с учетом пластичности нужно выполнить в ANSYS нелинейный анализ переходных процессов. Нелинейный анализ сложных конструкций в ANSYS требует больших временных затрат при этом могут возникнуть проблемы со сходимостью результатов,что приведёт к необходимости уменьшения шага интегрирования, изменения условий сходимости и т. п. Кроме того, для каждого материала нужно будет задавать кривую зависимости напряжения от деформации по точкам, а также модель упрочнения.

Существуют приближенные методы, позволяющие на основе линейного анализа, результатами которого являются упругие деформации, получить соответствующие значения полных деформаций с учетом пластической составляющей. Наиболее широко применяемый метод – использование правила Нойбера для коррекции пластичности.

Нециклическое нагружение при ударе подразумевает использование алгоритмов подсчета циклов. Каждый цикл, выделенный из истории нагружения, вносит свой вклад в накопление усталостных повреждений. Для расчета суммарного повреждения от всех найденных

циклов нужно применить одно из правил суммирования усталостных повреждений. При этом правило Пальмгрена – Майнера является наиболее распространенным.

Согласно предложенной схеме моделирования разработана автоматизированная подсистема усталостного анализа конструкций печатных узлов при механических воздействиях. Подсистема дает возможность пользователю, не имеющему специальных знаний в области механики усталостного разрушения и конечноэлементного моделирования, успешно проводить усталостные расчеты в кратчайшие сроки. Данная подсистема реализована в составе комплексной автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА, благодаря чему обеспечивается интегрированность процесса анализа усталостной прочности конструкций ПУ в общий процесс автоматизированного проектирования конструкций РЭС.

Структура автоматизированной подсистемы усталостного анализа (рис. 3.19) продиктована уровнем пользователя, ограниченным знаниями разработчика РЭС и необходимостью взаимодействия данной подсистемы со смежными программами.

Процесс взаимодействия пользователя с автоматизированной подсистемой следует рассматривать как совокупность этапов преобразования исходной информации о моделируемом объекте. При этом участие разработчика РЭС сводится к минимуму как при обращении к конечноэлементной CAE-системе, так и при чтении и формировании входных и выходных данных для обращения к специализированным программам, участвующим в процессе работы подсистемы.

Автоматизированная подсистема имеет в своем составе основную программу, которая обеспечивает связь между сервисной оболочкой подсистемы и программными модулями, входящими в систему. Основная программа дает возможность пользователю осуществить выбор задач, обеспечить программу входной информацией, организовать процесс управления программным обеспечением подсистемы.

Интерфейс создания КЭ-модели, входящий в основную программу, автоматизирует процесс построения и разбиения на конечные элементы конструкций ПУ любой сложности и опционально позволяет активировать автоматический режим, в котором КЭ-модель формируется без участия пользователя.

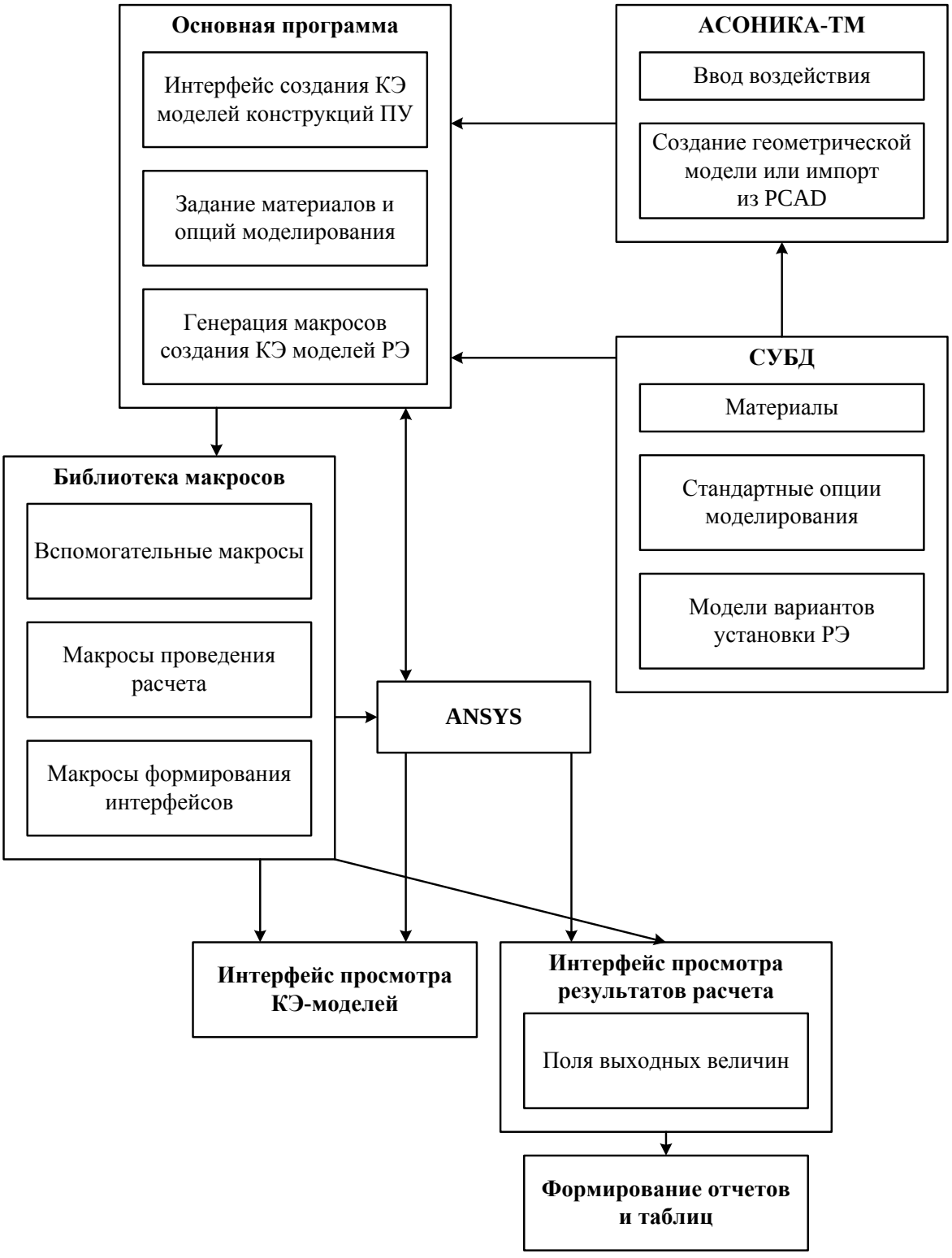


Рис. 3.19. Структура автоматизированной подсистемы усталостного анализа конструкций печатных узлов

Обычно пользователя интересует время до усталостного разрушения отдельных РЭ, наиболее уязвимых к усталостному разрушению. Поэтому в подсистеме реализована возможность выбора радиоэлементов, геометрия которых будет включена в результирующую

КЭ-модель ПУ. Генератор макросов создания КЭ-моделей РЭ анализирует модель печатного узла, созданную в АСОНИКА-ТМ. На основе анализа создается набор управляющих макросов, которые передаются системе ANSYS в командном режиме. Эти макросы управляют созданием твердотельных ANSYS-моделей РЭ и их разбиением на конечные элементы. Настройки программы позволяют для сложных моделей РЭ применить средства оптимизации конструкции (например, упрощение сложных объемов, удаление мелких деталей), а также задать особые параметры генерации сетки КЭ.

Структура автоматизированной подсистемы включает в себя, помимо основной программы, следующие основные блоки: библиотеку макросов, систему управления базами данных (СУБД) и интерфейсы отображения результатов. Основу БД составляют модели вариантов установки РЭ, на основе которых, используя минимум параметров (размеры посадочного места и корпуса РЭ, сечения корпуса и выводов, параметры материалов выводов, клея или лака), автоматически рассчитываются остальные параметры (координаты установки выводов, длины участков выводов, площадь поверхности, тепловое сопротивление крепления, теплоемкость элемента и т. д.).

В базе данных содержатся стандартные опции генерации КЭ моделей для всех вариантов установки РЭ, что в большинстве случаев избавляет пользователя от необходимости их изменения вручную. Модели материалов, содержащихся в базе, уже содержат усталостные и механические свойства, и от пользователя требуется указать лишь названия материалов перед проведением расчета.

Библиотека макросов, помимо различных вспомогательных макросов и макросов проведения расчета на механические воздействия, содержит также пользовательские интерфейсы на языке tcl/tk, использующие для отображения результатов все графические возможности ANSYS. Основная программа контролирует данные интерфейсы лишь косвенно, через посредство библиотеки макросов.

Автоматизированная подсистема позволяет проводить анализ усталостной прочности конструкций ПУ при следующих механических воздействиях:

– гармонической вибрации;

– случайной вибрации;

– многократном ударном воздействии.

Результатом расчета являются поля следующих величин:

– перемещений;

– напряжений;

– времени до усталостного разрушения.

Экранные формы автоматизированной подсистемы по заданию исходных данных и выводу результатов представлены на рис. 3.20 и 3.21.

Рассмотрим методику обеспечения защиты конструкций ПУ от усталостного разрушения с применением разработанной автоматизированной подсистемы. Данная методика может рассматриваться как часть более общей методики обеспечения надежности конструкций РЭС при механических воздействиях с применением системы АСОНИКА.

Методика включает следующие этапы:

1. После создания модели ПУ в подсистеме АСОНИКА-ТМ осуществляется экспорт полученной модели в систему конечноэлементного моделирования ANSYS с помощью специального графического интерфейса пользователя.

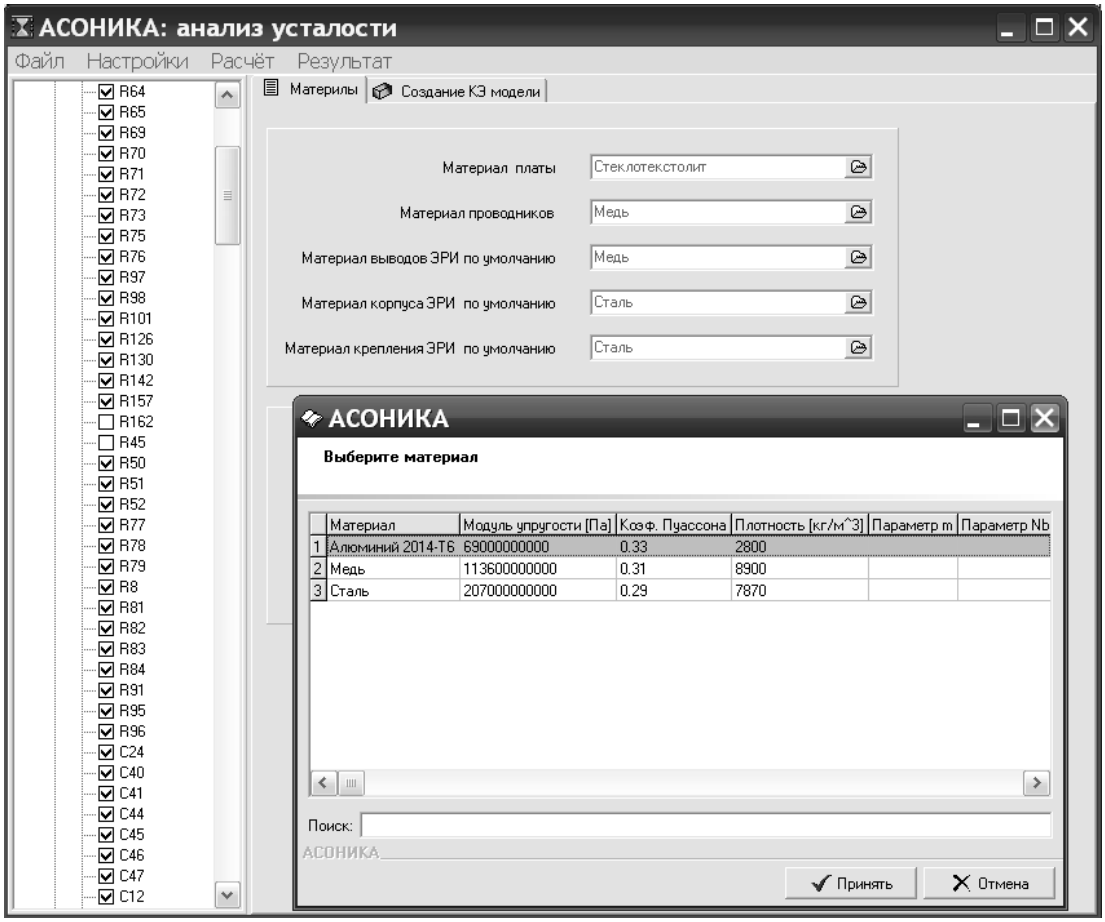
1.1. Производится ввод механических и усталостных свойств материалов и опций моделирования. Ввод материалов и опций моделирования автоматизирован с помощью соответствующих баз данных.

1.2. Для экспорта в систему ANSYS выбираются РЭ в составе ПУ, представляющие наибольший интерес с точки зрения времени до усталостного разрушения.

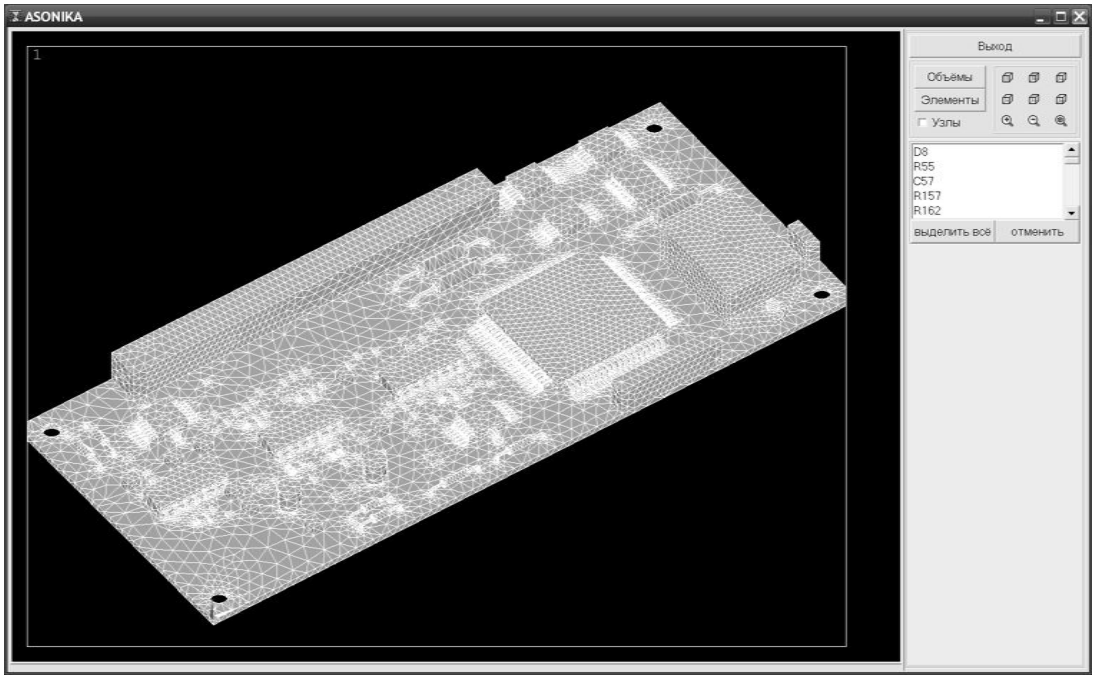
1.3а. Пошагово в автоматизированном режиме осуществляется экспорт печатной платы и выбранных РЭ в систему ANSYS и их разбиение на конечные элементы. На каждом шаге (т. е. после экспорта отдельного РЭ) возможен просмотр результата экспорта с помощью специального интерфейса просмотра ANSYS-моделей, а также изменение опций и материалов для отдельных РЭ.

1.3б. Вместо пошагового режима экспорта модели в ANSYS может быть использован автоматический режим. В данном случае просмотр доступен только после полного построения КЭ-модели ANSYS.

2. Созданная КЭ-модель рассчитывается на нужный вид механического воздействия. Воздействия автоматически импортируются из подсистемы АСОНИКА-ТМ, поэтому для их задания не требуется специальных действий пользователя.



а



б

Рис. 3.20. Экранные формы автоматизированной подсистемы:
а – задание исходных данных; *б* – просмотр результатов конечноэлементного разбиения

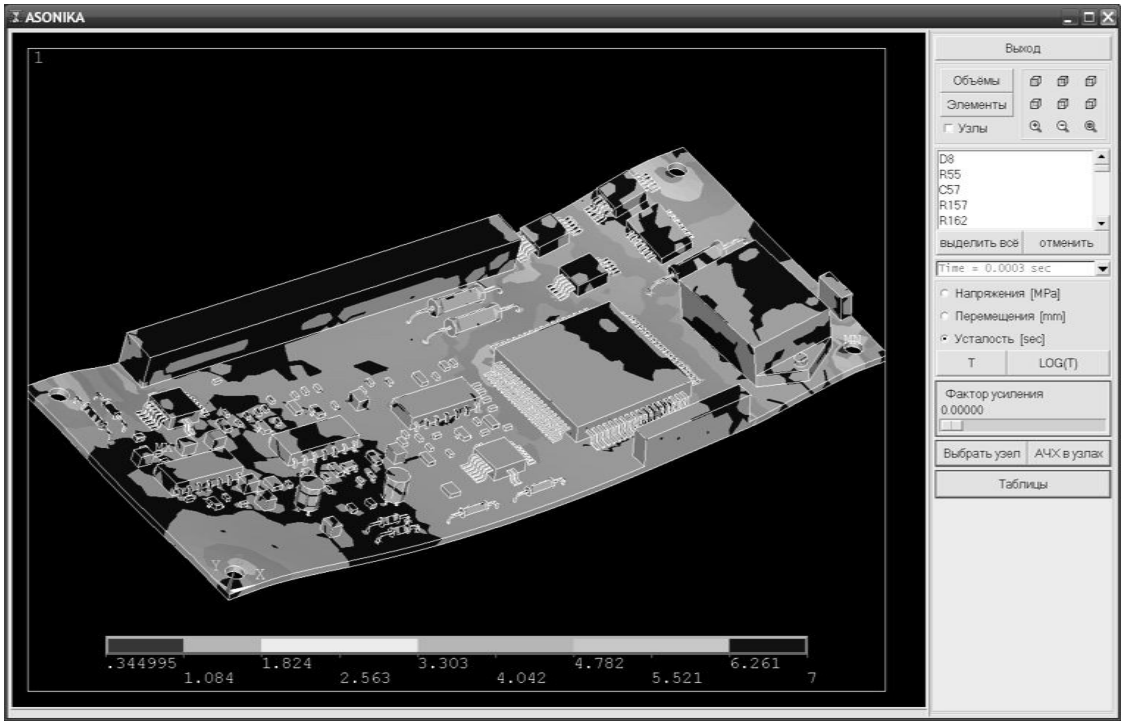


Рис. 3.21. Просмотр результатов расчета
(поле логарифма времени до усталостного разрушения)

3. Визуализация и анализ результатов. Пользователь просматривает поля и графики выходных механических характеристик (напряжений, перемещений, времени до усталостного разрушения).

4. Если расчетные величины превышают допустимые значения, то конструкция редактируется и повторный расчет проводится до тех пор, пока не будут обеспечены требования к выходным параметрам (например, пока время до усталостного разрушения не станет больше допустимого значения). Можно выделить следующие варианты изменения конструкции:

– изменение толщины печатной платы;

– изменение вариантов установки отдельных РЭ;

– переразмещение отдельных РЭ в пределах печатной платы;

– добавление ребер жесткости в конструкцию ПУ;

– изменение материалов платы и отдельных РЭ.

5. Сохранение результатов в табличной или графической форме.

Использование автоматизированной подсистемы и данной методики уменьшает влияние человеческого фактора на адекватность результатов моделирования, что приводит к увеличению надежности разрабатываемой аппаратуры. Другими достоинствами разработанной автоматизированной подсистемы являются малые временные затраты и относительная легкость процесса моделирования.

ГЛАВА 4
СОЗДАНИЕ КАРТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ИАНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

4.1. Автоматизированное заполнение карт рабочих режимов ЭРИ с учетом реальных режимов эксплуатации (АСОНИКА-Р)

4.1.1. Функциональное назначение подсистемы АСОНИКА-Р

Подсистема АСОНИКА-Р разработана и рекомендуется для применения в соответствии с документом «Руководство по оценке правильности применения электрорадиоизделий в аппаратуре специального назначения.Часть 1: Общие положения. Карты рабочих режимов и условий применения электрорадиоизделий».

После проверки правильности применения электрорадиоизделий в аппаратуре получают данные о результатах оценки номенклатуры, условий эксплуатации, электрических и температурных режимов работы ЭРИ. Эти данные в виде численных значений параметров, характеризующих фактические и требуемые по нормативно-технической документации на ЭРИ условия их эксплуатации и режимы работы, оформляют в виде карт рабочих режимов (КРР).

Комплект КРР на сборочную единицу высшей ступени, в которую входят сборочные единицы низших ступеней, включает в себя:

– титульный лист (формы 1 и 1а);

– содержание (формы 2 и 2а);

– перечень комплектов карт сборочных единиц низшей ступени (форма 3);

– карта оценки номенклатуры примененных ЭРИ и сведений о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД (форма 4);

– карты ЭРИ, примененных при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД на них (форма 5);

– карты режимов работы ЭРИ, входящих непосредственно в состав комплекта КРР (формы 6–87), например, соединители, тумблеры и т. п.

В комплект КРР на сборочную единицу низшей ступени, не имеющей в своем составе другой сборочной единицы (например, ячейка, типовой элемент замены и т. п.), входят:

– титульный лист (форма 1а);

– содержание (форма 2а);

– карта оценки номенклатуры примененных ЭРИ и сведения о соответствии условий их эксплуатации и показателей надежности требованиям НТД (форма 4);

– карты ЭРИ, примененные при механических воздействиях, не соответствующих требованиям НТД на них (форма 5);

– карты режимов работы ЭРИ, входящих в состав сборочной единицы (формы 6–87).

По согласованию с представителем заказчика допускается формы 4 и 5 не включать в комплект карт сборочных единиц низших ступеней. В этом случае при заполнении указанных форм для сборочной единицы высшей ступени в них необходимо включить все ЭРИ, входящие в сборочные единицы низших ступеней.

Комплект КРР в окончательном виде представляется разработчиком аппаратуры на стадии подготовки рабочей документации (по результатам испытаний опытного образца). Возможно составление КРР на более ранних стадиях разработки аппаратуры путем проведения расчетов по схемам или по результатам инструментальных измерений на макетах с последующей их корректировкой (по результатам измерений в опытном образце). Этап, на котором составляется КРР, согласовывается с военным представительством на предприятии, разрабатывающем аппаратуру.

Подсистема предназначена для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭРИ. В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции (2000 года).

Подсистема имеет необходимую базу данных, где находится информация о предельных значениях параметров ЭРИ, взятая из НТД. После задания пользователем перечня ЭРИ программа автоматически заносит информацию для каждого ЭРИ из базы данных в карты режимов в колонки «По НТД». При этом при верстке карты автоматически осуществляется сравнение значений параметров «В схеме» со значениями «По НТД» (кроме формы 4 «Карта оценки номенклатуры ЭРИ и сведений о соответствии условий их эксплуатации

и показателей надежности требованиям НТД»). Значения «В схеме» выделяются красным цветом, если они превышают соответствующие значения «По НТД». В базу данных могут вводиться как числовые значения параметров в виде констант, так и в виде табличных, графических и функциональных зависимостей параметров по НТД от параметров «В схеме» (например, от температуры окружающей среды).

Результаты работы подсистемы – заполненные карты режимов ЭРИ – автоматически конвертируются программой в текстовый процессор Word, где они могут быть отредактированы и распечатаны в форматах А3 и А4.

Перечень ЭРИ, для которых нужно получить карты рабочих режимов, может быть введен как вручную пользователем, так и путем конвертирования файла с перечнем ЭРИ.

Конвертация перечней ЭРИ из любой системы может осуществляться в рамках интегрированной информационной среды предприятия (PDM-системы) через промежуточный текстовый файл. Возможен экспорт параметров ЭРИ в автоматизированную подсистему анализа показателей безотказности РЭСс учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б.

Подсистема может использоваться как на одном рабочем месте, так и в сетевом варианте, когда база данных установлена на сервере, а на рабочих местах установлена управляющая программа. При этом редактировать базу данных может только администратор базы.

4.1.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-Р

Алгоритм программы представлен на рис. 4.1.

Используются методы, изложенные в документе «Руководство по оценке правильности применения электрорадиоизделийв аппаратуре специального назначения.Часть 1: Общие положения. Карты рабочих режимов и условий применения электрорадиоизделий».

На рис. 4.2 представлена структура подсистемы АСОНИКА-Р.

В рамках автоматизированной системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой РЭС, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, механические и другие физические процессы), а также позво-

ляют интегрироваться с известными системами топологического проектирования печатных плат и известными CAD-системами.

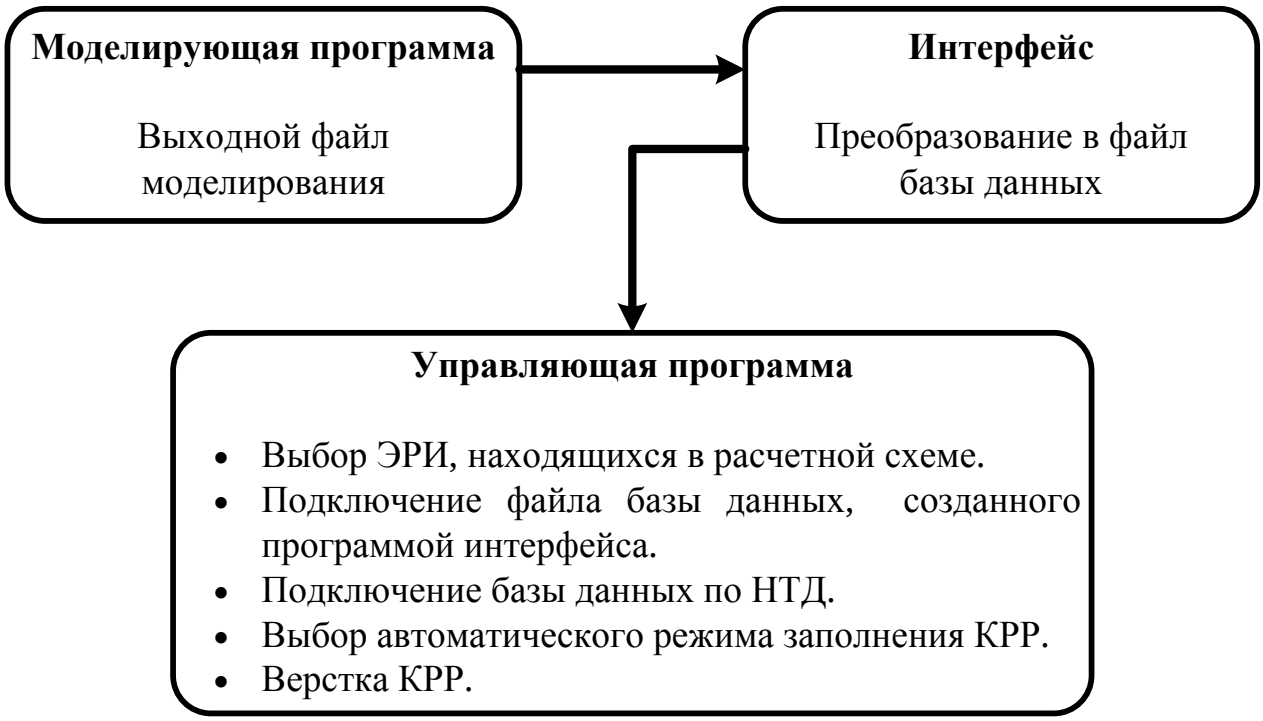


Рис. 4.1. Схема алгоритма функционирования программы

Программный комплекс управляет процессом отображения результатов модельных экспериментов на геометрической модели, входящей в состав электронного макета, а также преобразует электронный макет после его обработки в формат стандарта ISO 10303 STEP. Данные, входящие в электронный макет, используются на последующих стадиях жизненного цикла РЭС. Структура автоматизированной системы предусматривает, что в процессе проектирования, в соответствии с требованиями CALS-технологий, на базе подсистемы управления данными при моделировании(PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия.

Чертежи печатных узлов и спецификации к ним, электрические схемы и перечни к ним, а также выходной pdf-файл системы PCAD передаются в подсистему АСОНИКА-Р**.** Кроме того, передаются рассчитанные в системе PSpice электрические характеристики, температуры и ускорения ЭРИ, полученные в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

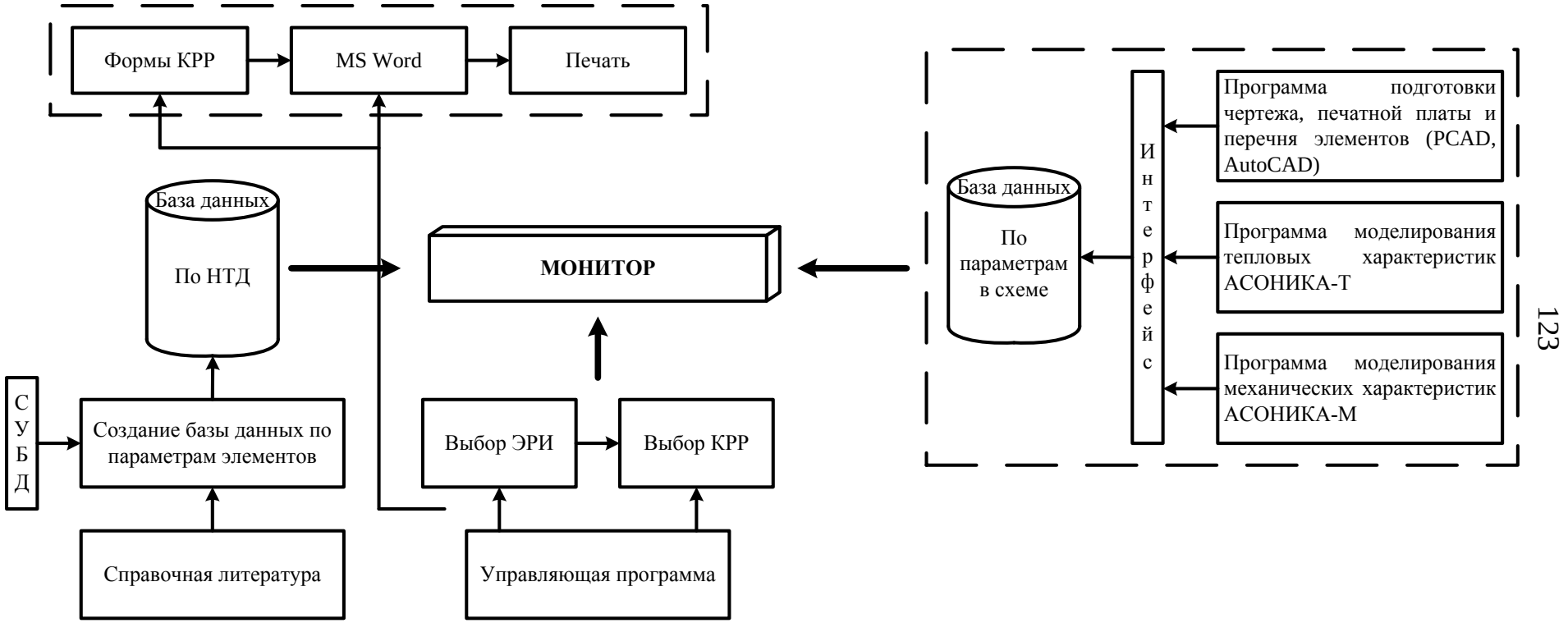


Рис. 4.2. Структура подсистемы АСОНИКА-Р

Для проведения сеанса моделирования при помощи данной подсистемы необходима следующая исходная информация:

– техническое задание на разработку РЭС;

– эскизы или сборочные чертежи конструкции;

– спецификация;

– перечень элементов;

– выходной pdf-файл системы PCAD.

Подготовка входных данных осуществляется с помощью специализированного графического интерфейса ввода. Затем происходит преобразование введенной информации в текстовый файл, который поступает на вход расчетного модуля.

Формат входных данных зависит от номера выводимой формы (всего около 90 форм). Для каждой формы свой формат. В состав данных входят токи, напряжения, мощности, температуры и других характеристики ЭРИ.

Допустимые значения всех характеристик ЭРИ поступают автоматически из базы данных. Для получения информации из базы данных необходимо задать типы ЭРИ.

Просмотр выходных данных осуществляется с помощью специализированного графического интерфейса вывода. На вход интерфейса вывода поступает текстовый файл, который получен по результатам работы расчетного модуля. Выходные данные представлены в виде графиков и таблиц.

Результаты моделирования могут быть представлены в виде 90 форм, в состав которых входят рассчитанные характеристики ЭРИ (токи, напряжения, мощности, температуры и другие характеристики ЭРИ) и допустимые значения из базы данных.

Для обращения к подсистеме необходимо вызвать файл ERIModes.exe. После этого начинается диалог между пользователем подсистемы и ЭВМ, в процессе которого решается поставленная задача. Основное окно программы показано на рис. 4.3.

Меню **«Проект»**:

1. ***«Новый».*** Создание нового проекта. Если текущий проект не был сохранен, то возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.4).

2. **«*Открыть*».** Открытие ранее созданного проекта. Если текущий проект не был сохранен, то возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.4).

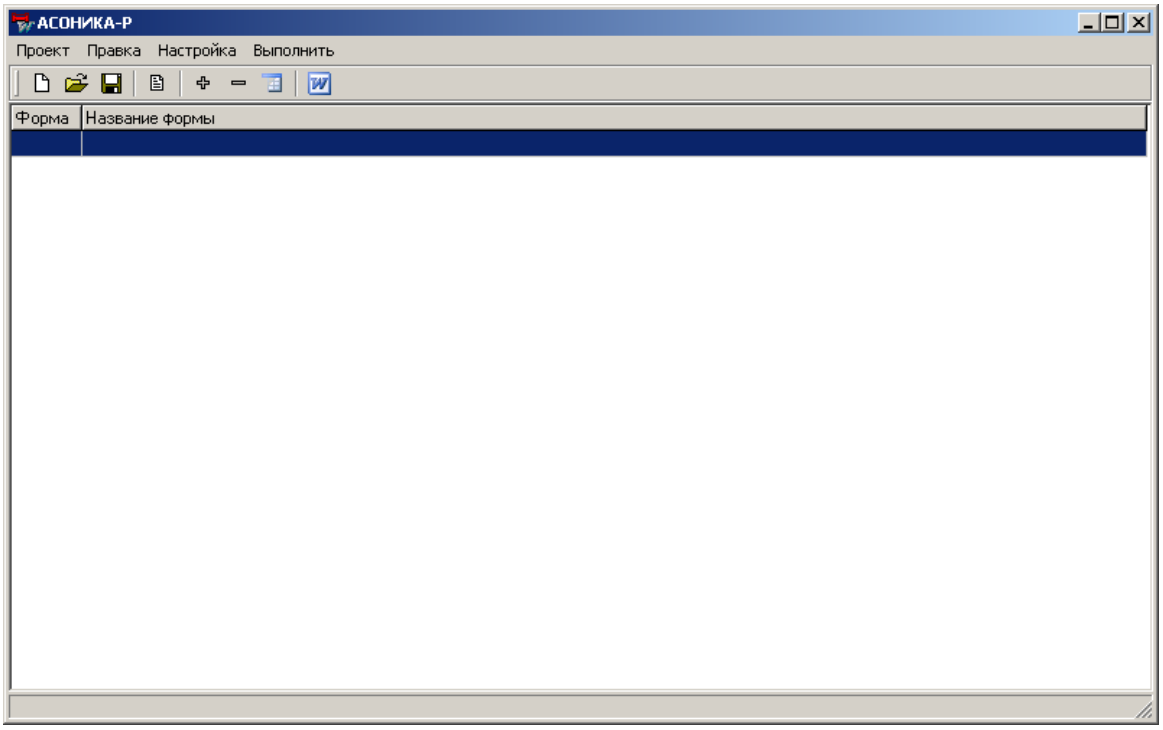


Рис. 4.3. Основное окно программы

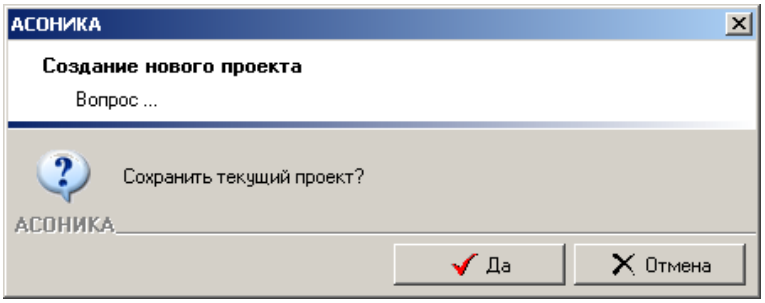


Рис. 4.4. Создание нового проекта

3. «***Сохранить***». Сохранение текущего проекта. Если проект ранее не был сохранен, то выполнение команды аналогично выполнению пункта меню «*Сохранить как*».

4. «***Сохранить как***». Сохранение текущего проекта под другим именем.

5. «***Свойства***». Задание индекса изделия, для которого формируются карты режимов (рис. 4.5). Если текущий проект не сохранен, то выполнение данного пункта меню недоступно.

После вывода формы нужно нажать кнопку «Предварительный просмотр». В этом случае в основной надписи на всех страницах будет выведен индекс изделия.

Кроме того, в основной надписи в поле «Лист» автоматически выводится номер страницы, начиная с первой. Если нужно, чтобы нумерация начиналась с другой цифры, необходимо войти в колонти-

тулы на первой странице, установить курсор в поле «Лист» и в окне «Колонтитулы» нажать на кнопку «Формат номера страницы» и ввести номер первой страницы.

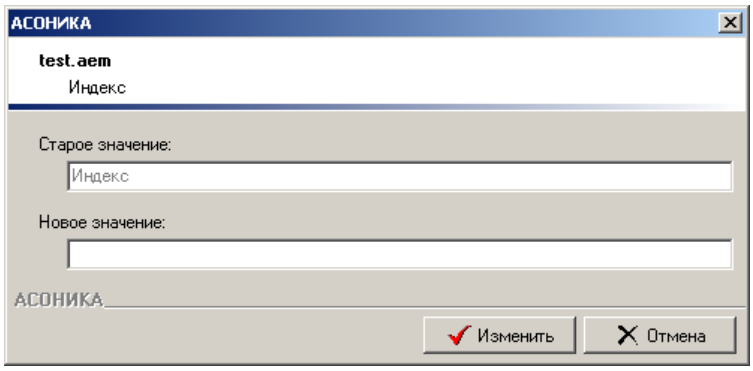


Рис. 4.5. Задание индекса изделия

6. «Импорт».

6.1. *«Файл АСОНИКА-Р»*. Чтение файла, созданного подсистемой. При этом к текущему проекту будут добавлены ЭРИ из импортируемого проекта, отсутствующие в текущем проекте.

6.2. *«Файл АСОНИКА-ТМ»*. Чтение файла подсистемы моделирования печатных узлов на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ.

6.3. *«Файл списка»*. Чтение файла с расширением *.ilp. Структура файла представлена ниже. Здесь ERI_i – позиционное обозначение i-го ЭРИ, $RECORD_i$ – полная условная запись:

$$ERI_1: RECORD_1$$

$$ERI_2: RECORD_2$$

...

$$ERI_K: RECORD_K$$

6.4. «*Файл P-CADPCB*». Чтение файла компоновки печатного узла в формате *.PDIF.

6.5. «*Файл P-CAD SCH*». Чтение файла электрической схемы печатного узла в формате *.PDIF.

6.6. «*Файл списка*». Чтение файла в формате *.bom (BildofMaterial). В качестве разделителя атрибутов файла используется символ «;».

6.7. «*Файл температур*». Чтение текстового файла, содержащего температуры ЭРИ (создается в подсистеме АСОНИКА-ТМ).

6.8. «*Файл ускорений*». Чтение текстового файла, содержащего ускорения ЭРИ (создается в подсистеме АСОНИКА-ТМ). Имя файла гармонической вибрации должно быть – «ГВ.txt», ударного воздействия – «УВ.txt», многократного ударного воздействия – «МУВ.txt».

6.9. «*Файл мощностей*». Чтение текстового файла, содержащего напряжения, токи и мощности электрорадиоизделий, получаемого при помощи специализированного конвертора с системой PSpice.

7. ***«Экспорт».*** «Файл АСОНИКА-Б». Создание текстового файла, содержащего параметры, необходимые для расчета показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б.

8. «***Завершение работы программы»***. Если текущий проект не был сохранен, то возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.6).

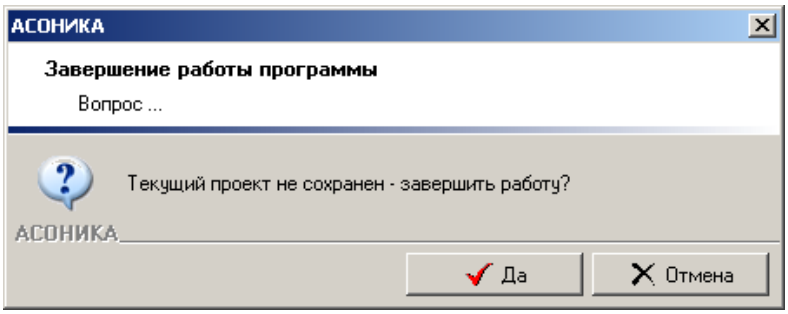


Рис. 4.6. Завершение работы программы

Меню **«Правка»:**

1. «***Добавить форму***». Добавление формы в проект (рис. 4.7).

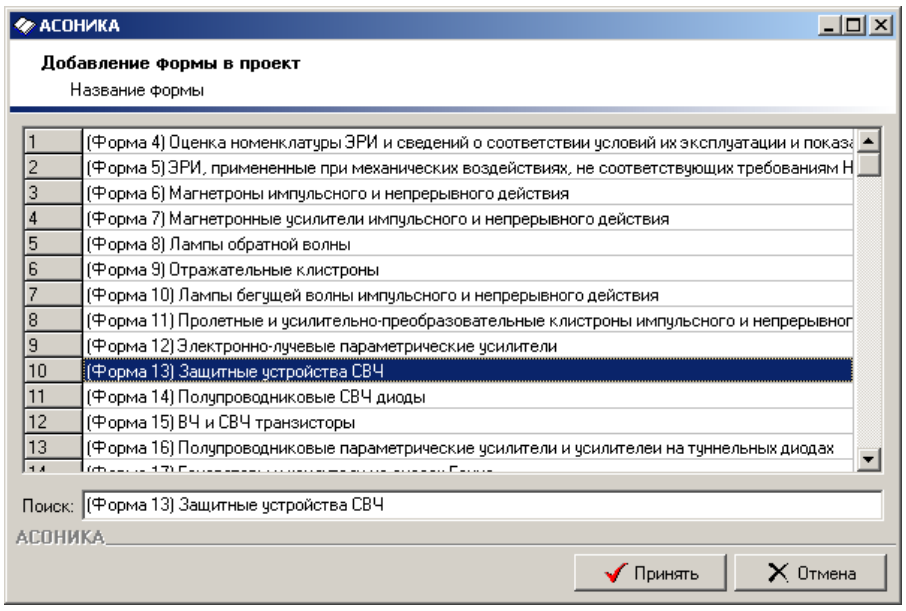


Рис. 4.7. Добавление формы в проект

2. ***«Удалить форму»***. Удаление формы из проекта. При этом возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.8).

3. ***«Редактировать список ЭРИ»***. Редактирование списка ЭРИ выбранной формы (рис. 4.9). Выполнение пункта меню аналогично двойному нажатию левой кнопки мыши на названии формы в таблице основного окна.

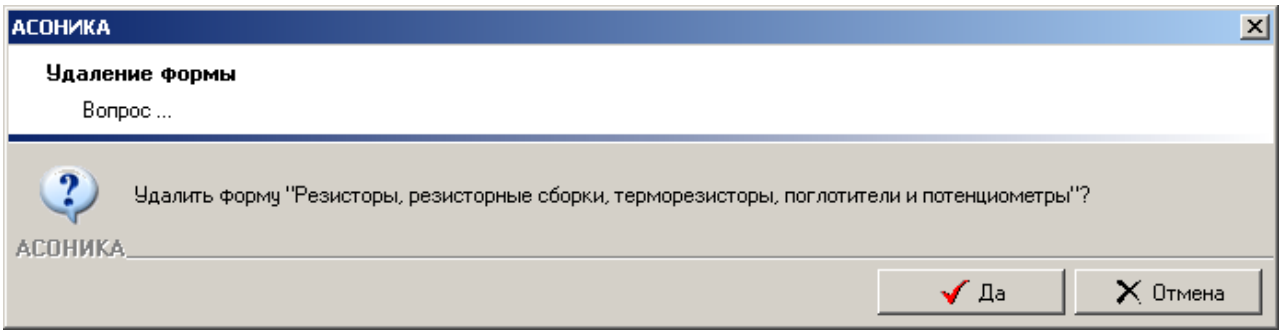


Рис. 4.8. Удаление формы

Для добавления в список ЭРИ, содержащегося в справочной базе данных, необходимо нажать на кнопку (рис. 4.10). Для выбора полной условной записи добавляемого ЭРИ необходимо нажать на кнопку (рис. 4.11). Если при добавлении ЭРИ в списке уже есть элемент с введенным позиционным обозначением, то возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.12).

Для добавления в список ЭРИ, отсутствующего в справочной базе данных, необходимо нажать на кнопку и ввести позиционное обозначение (в схеме) и полную условную запись ЭРИ (рис. 4.13).

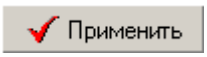
Для удаления ЭРИ из списка необходимо нажать на кнопку , затем подтвердить или отменить удаление (рис. 4.14).

Для изменения позиционного обозначения или полной условной записи выбранного ЭРИ необходимо нажать на кнопку (рис. 4.16).

Для копирования выбранного ЭРИ со всеми параметрами в новый ЭРИ необходимо нажать на кнопку (рис. 4.17) и задать новое условное обозначение.

Для изменения порядка расположения ЭРИ в списке необходимо использовать кнопки и соответственно.

Для редактирования параметров выбранного ЭРИ необходимо нажать на кнопку (рис. 4.19). Нажатие на кнопку аналогично двойному нажатию левой кнопки мыши на описании ЭРИ в списке. После задания параметров электрорадиоизделия необходимо нажать

на кнопку 

. При закрытии окна редактирования параметров ЭРИ без предварительного сохранения параметров возникает соответствующее предупреждение (рис. 4.18).

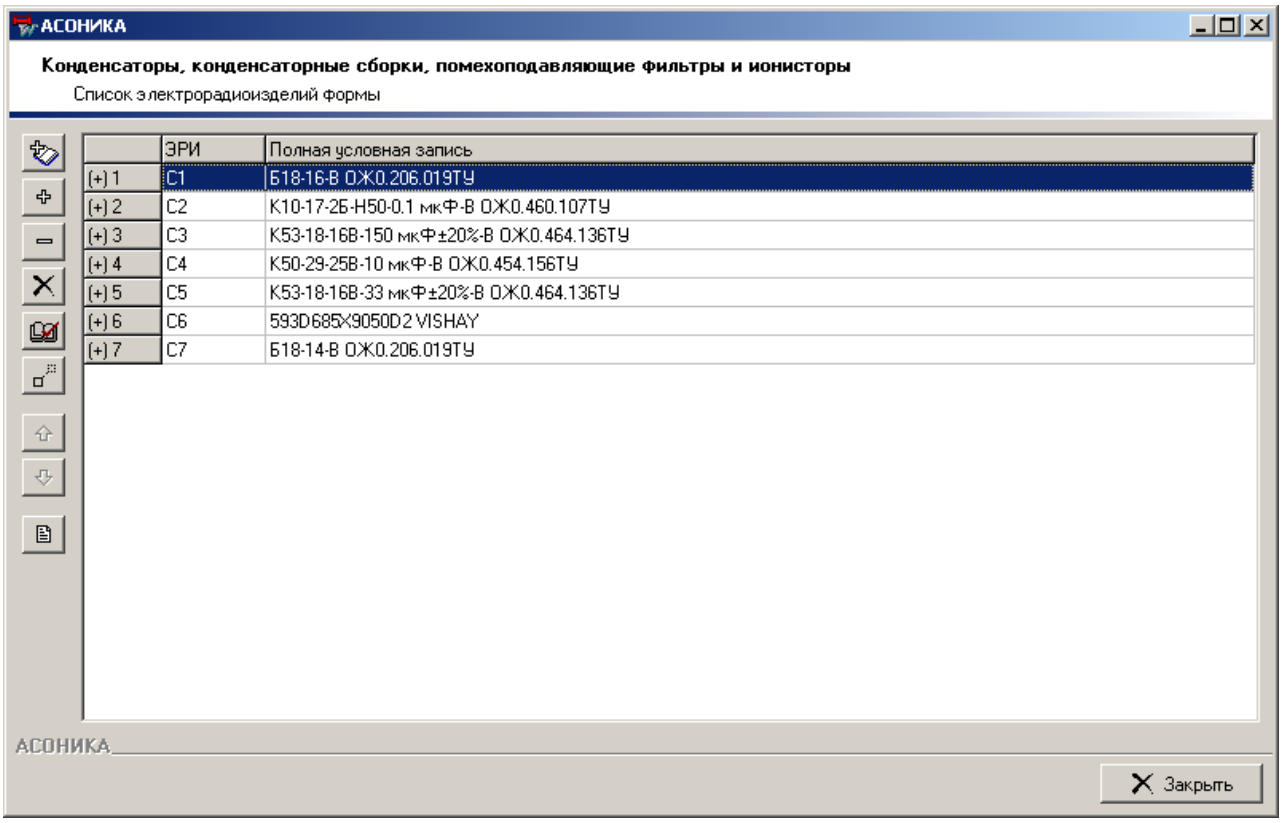


Рис. 4.9. Редактирование списка ЭРИ

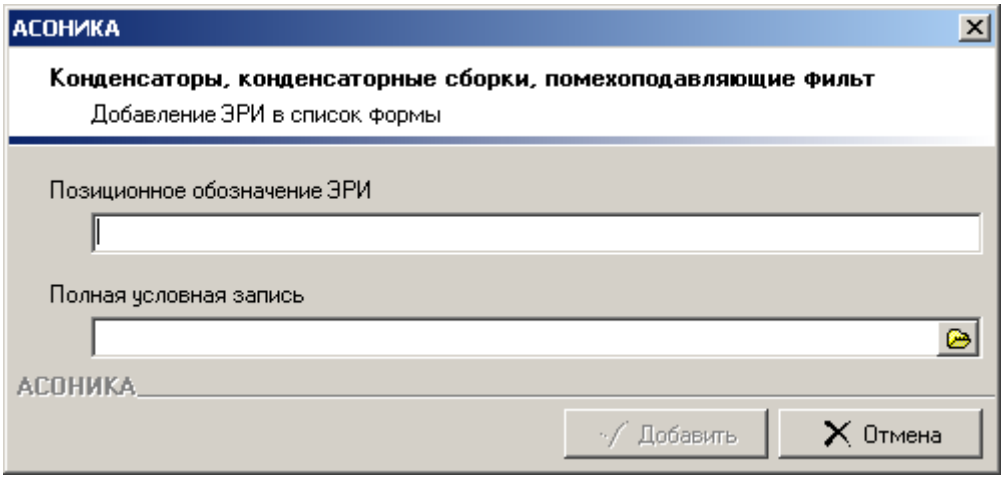


Рис. 4.10. Добавление в список ЭРИ

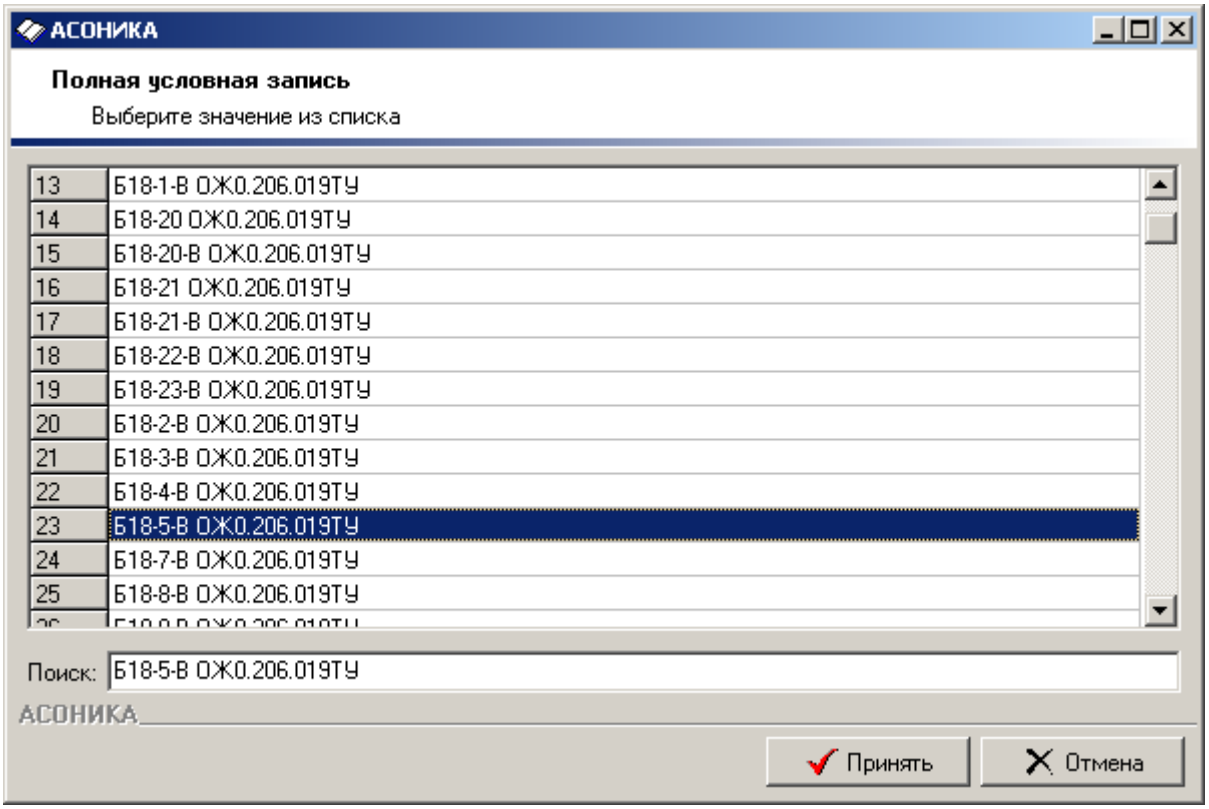


Рис. 4.11.Выбор полной условной записи добавляемого ЭРИ

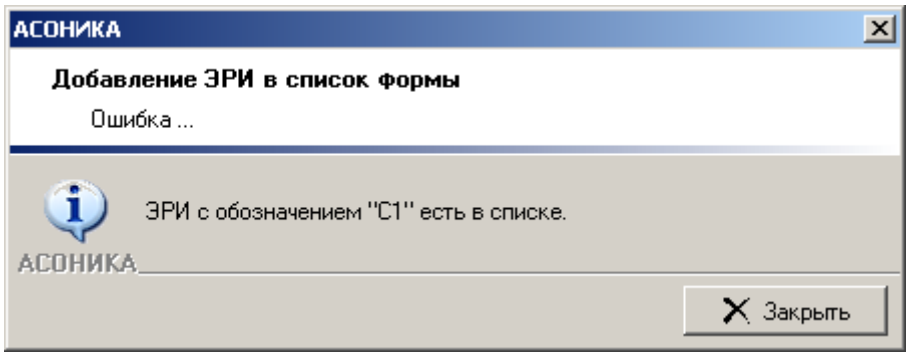


Рис. 4.12.Предупреждение

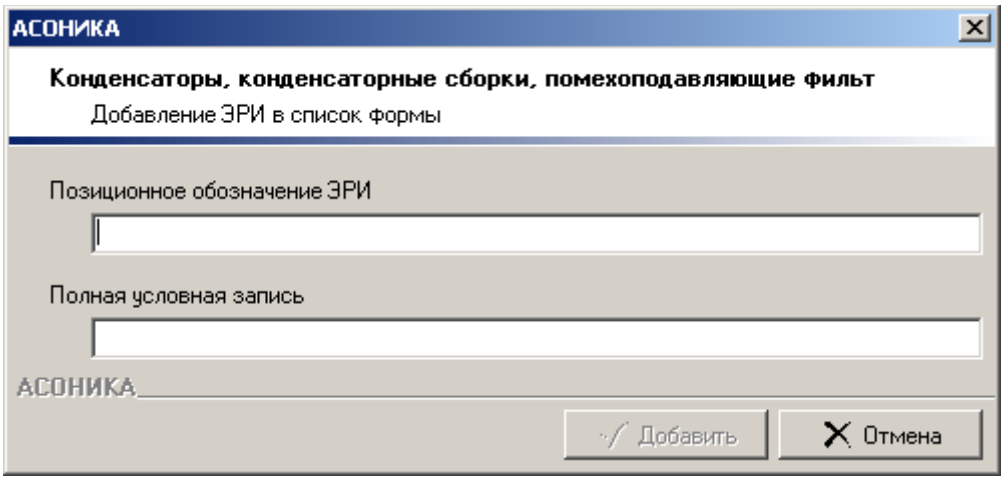


Рис. 4.13. Добавление в список ЭРИ,
отсутствующего в справочной базе данных

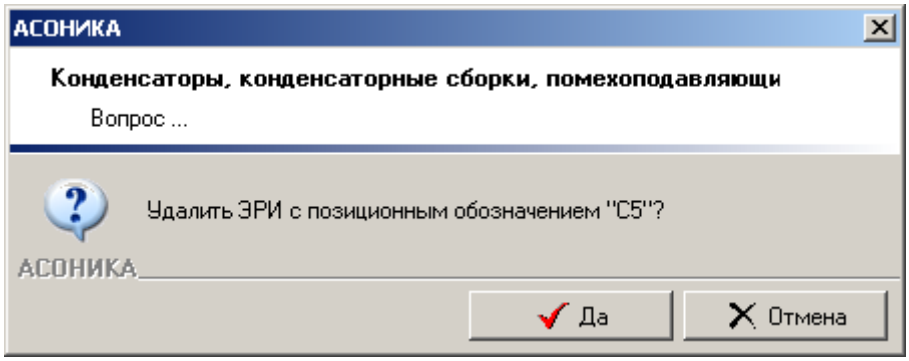


Рис. 4.14. Удаление ЭРИ

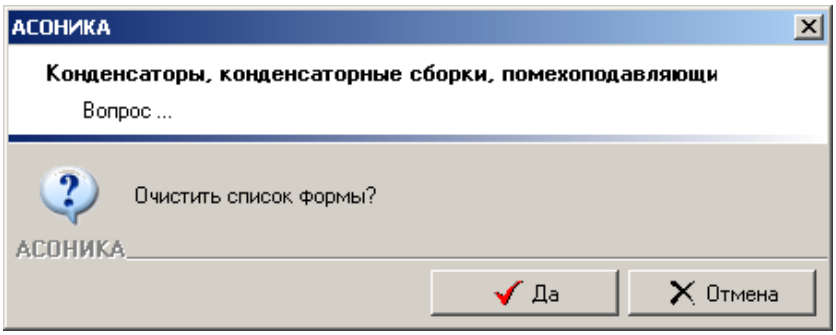


Рис. 4.15. Подтверждение или отмена удаления

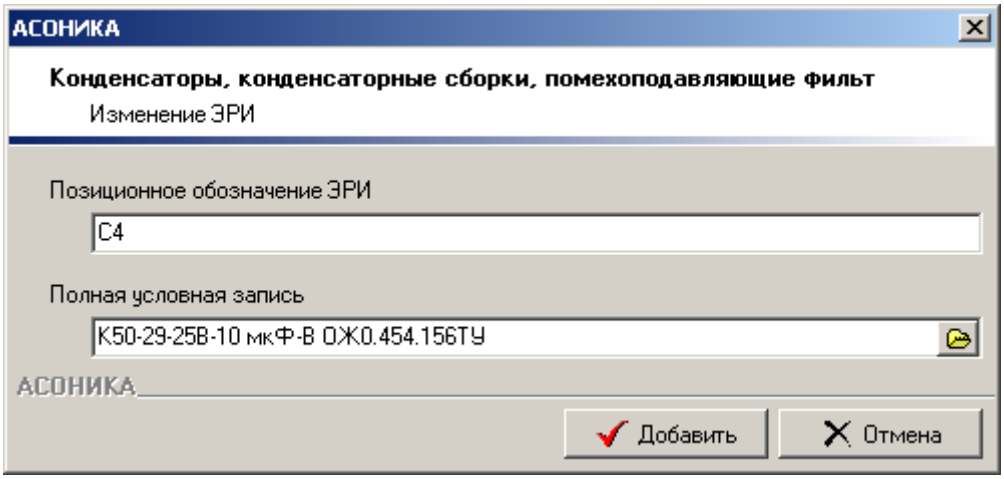


Рис. 4.16. Изменение позиционного обозначения или полной условной записи

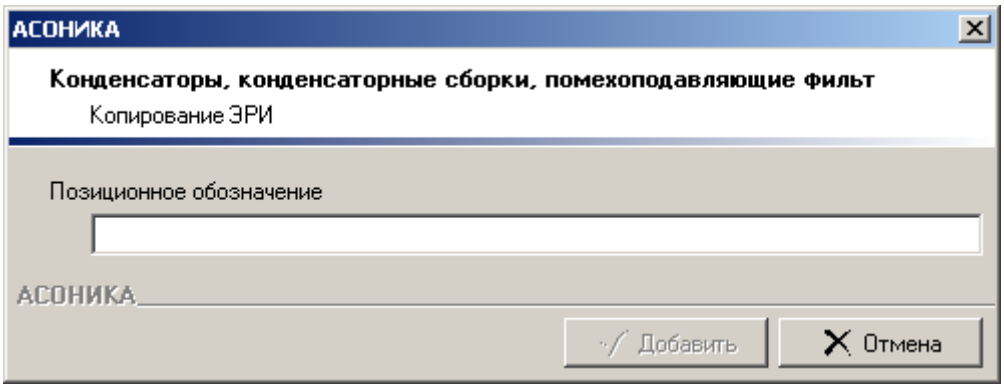


Рис. 4.17. Копирование ЭРИ

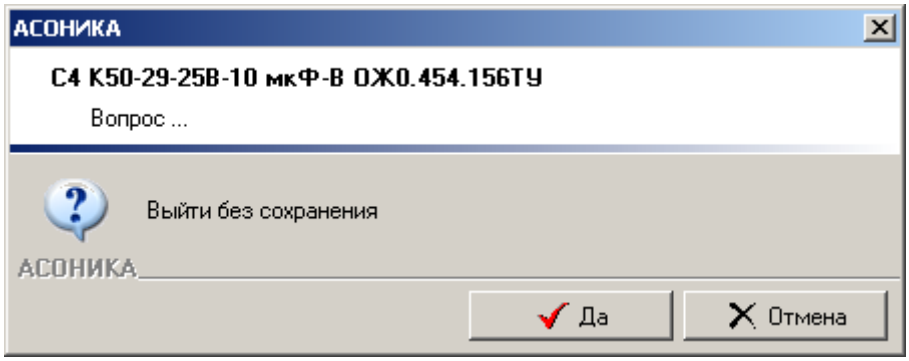


Рис. 4.18. Предупреждение

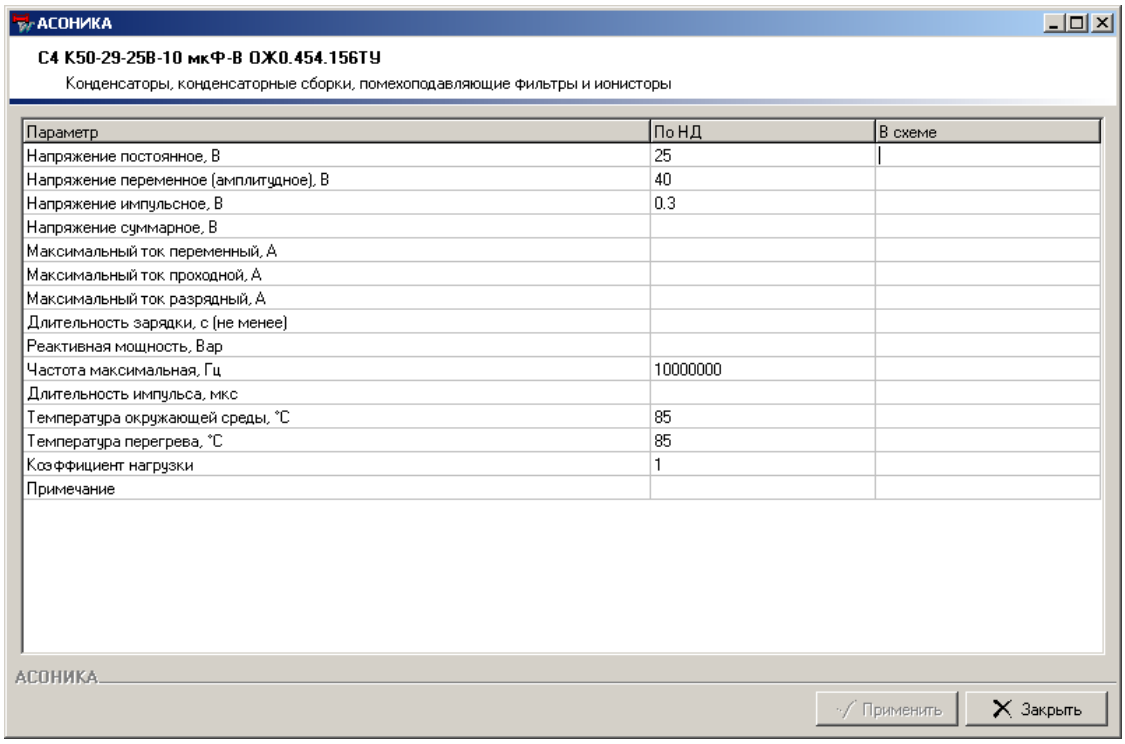


Рис. 4.19. Редактирование параметров ЭРИ

4. ***«Сформировать ФОРМУ 4»***. Автоматическое формирование Формы № 4 (рис. 4.20).

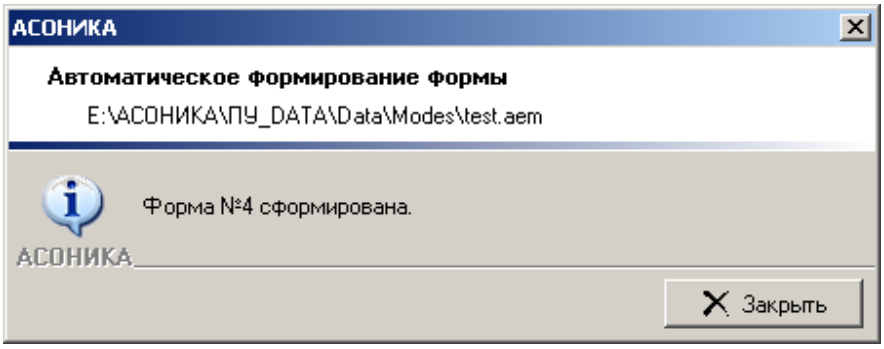


Рис. 4.20. Формирование формы № 4

5. «***Сформировать ФОРМУ 5***». Автоматическое формирование Формы № 5 (рис. 4.21).

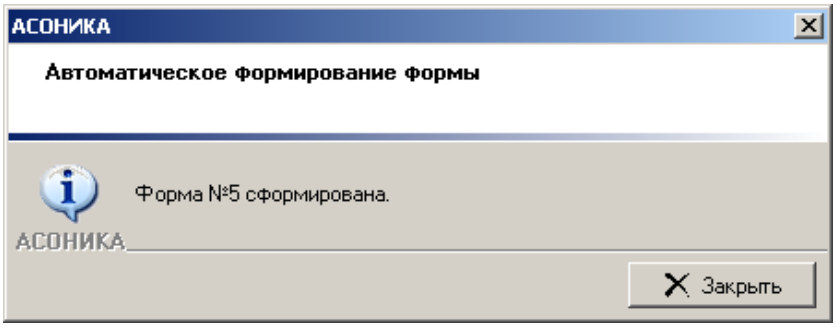


Рис. 4.21. Формирование формы № 5

6. «***Открыть форму***». Открытие формы для ручного редактирования в среде MicrosoftWord (рис. 4.22).

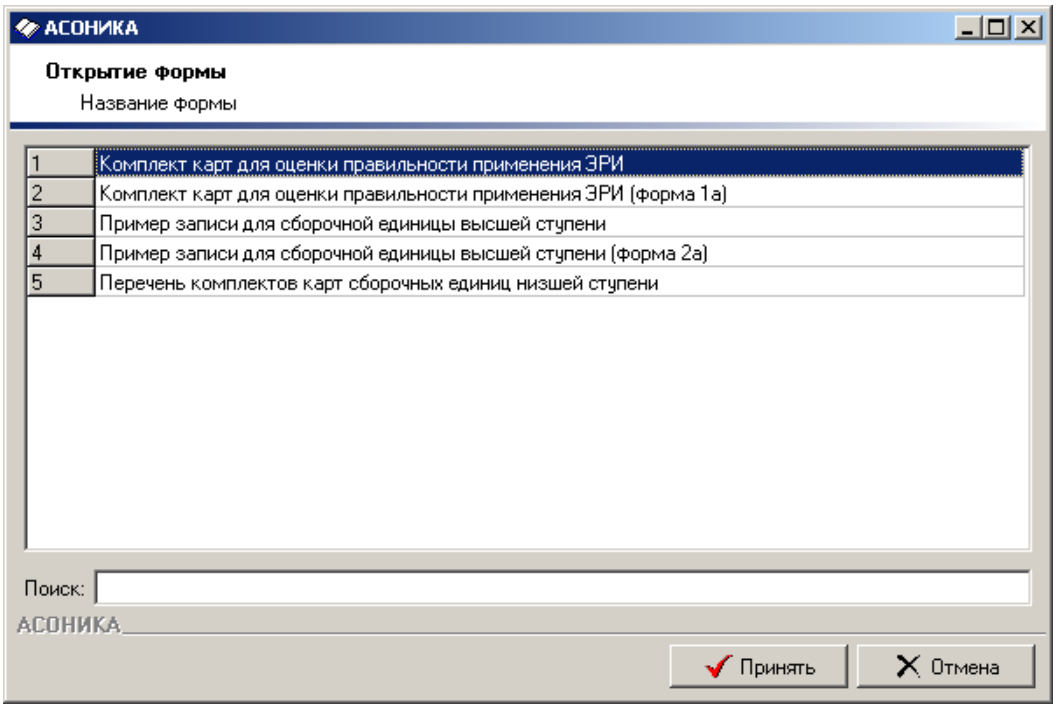


Рис. 4.22. Открытие формы для ручного редактирования

Меню**«Выполнить»:**

1. «***Верстать форму***». Формирование карты режимов для выбранной формы.

2. «***Верстать несколько форм***»**.** Формирование карт режимов для выбранных форм.

3. «***Верстать все формы***». Формирование карт режимов для всех форм проекта.

4. «***Соответствие НД***». Формирование формы error.

4.2. Анализ и обеспечение показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ (АСОНИКА-Б)

4.2.1. Функциональное назначение подсистемы АСОНИКА-Б

Подсистема АСОНИКА-Б предназначена для автоматизации процесса проектирования РЭС и позволяет реализовать следующие проектные задачи:

– определение показателей безотказности (вероятность безотказной работы, интенсивность отказов и средняя наработка до отказа) и долговечности (ресурс РЭС и время до усталостного разрушения выводов) всех ЭРИ и внесение изменений в конструкцию в целях достижения необходимой надежности;

– выбор лучшего варианта резервирования из нескольких имеющихся вариантов в целях обеспечения требуемой надежности;

– обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС.

Подсистема АСОНИКА-Б позволяет анализировать следующие типы конструкций РЭС: шкафы, блоки, узлы, ЭРИ. Подсистема поддерживает следующие виды резервирования:

1. Пассивное резервирование с неизменной нагрузкой.
2. Активное нагруженное резервирование.
3. Активное ненагруженное резервирование.
4. Активное облегченное резервирование.

Сервисное обеспечение подсистемы АСОНИКА-Б включает в себя:

1. Базу данных, которая содержит сведения, предназначенные для использования при расчетах показателей безотказности аппаратуры.

Информация, хранящаяся в базе данных, включает в себя:

– номенклатуру ЭРИ, расположенных по функциональным классам (группам), объединенных по общности их назначения, основным параметрам и конструктивно-технологическому исполнению;

– условное обозначение изделия;

– обозначение документа на поставку (ТУ, ОТУ);

– математические модели для расчета (прогнозирования) значений эксплуатационной интенсивности отказов групп (типов) изделий, в том числе при хранении в различных условиях;

– информацию о показателях надежности ЭРИ и коэффициентах моделей.

Информация о показателях надежности ЭРИ и коэффициентах моделей включает в себя:

– значения интенсивности отказов групп (типов) ЭРИ при нормальной (максимально допустимой) температуре окружающей среды и номинальной электрической нагрузке или в типовых (усредненных) режимах эксплуатации;

– распределение отказов групп изделий по видам (по результатам проведения различных категорий испытаний);

– значения коэффициентов, входящих в модели прогнозирования эксплуатационной надежности ЭРИ, и аналитические выражения, показывающие зависимость этих коэффициентов от учитываемых факторов.

2. Редактор базы данных, позволяющий пополнять номенклатуру ЭРИ, а также изменять все вышеперечисленные показатели надежности и математические модели для расчета.

Математическое ядро подсистемы:

– использует анализатор выражений для вычисления параметров безотказности по математическим моделям, хранящимся в базе данных;

– позволяет рассчитать все коэффициенты математических моделей и эксплуатационную интенсивность отказов ЭРИ;

– позволяет рассчитать характеристики безотказности ЭРИ и РЭС, имеющей резервирование различных видов;

– использует в качестве модели надежности экспоненциальное распределение.

Подсистема может использоваться как на одном рабочем месте, так и в сетевом варианте, когда база данных установлена на сервере, а на рабочих местах установлена управляющая программа. При этом редактировать базу данных может только администратор базы.

4.2.2. Организация и структура подсистемы АСОНИКА-Б

Алгоритм программы представлен на рис. 4.23.В подсистеме используются методы расчета показателей безотказности и долговечности, а также модели интенсивностей отказов для различных типов ЭРИ и методы конвертирования выходных данных моделирования САПР электроники.

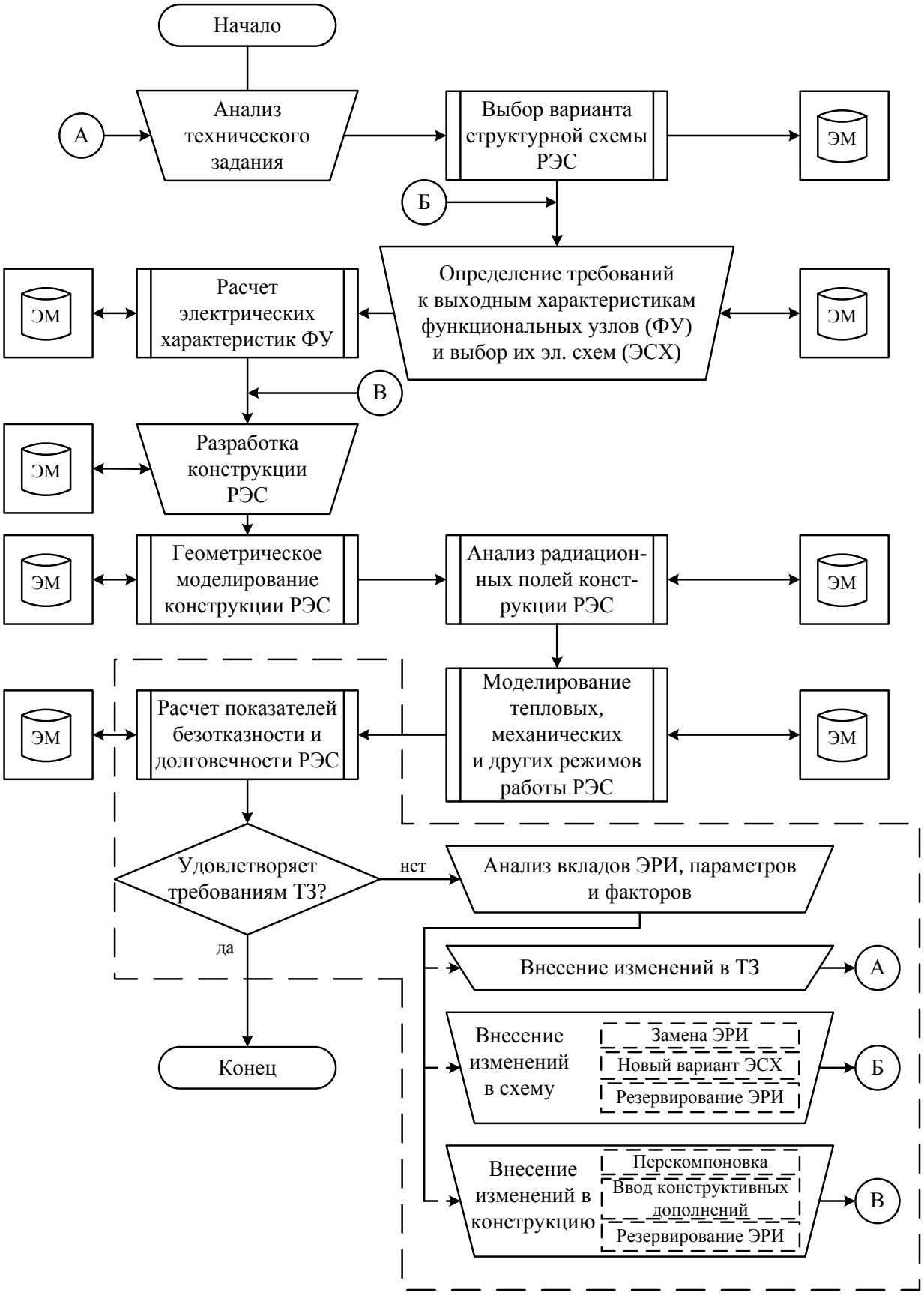


Рис. 4.23. Схема алгоритма функционирования программы:
ЭМ – электронная модель; ФУ – функциональный узел; ЭСХ – электрическая схема;
ТЗ – техническое задание; ЭРИ – электрорадиоизделие

На рис. 4.24 представлена структура подсистемы АСОНИКА-Б.

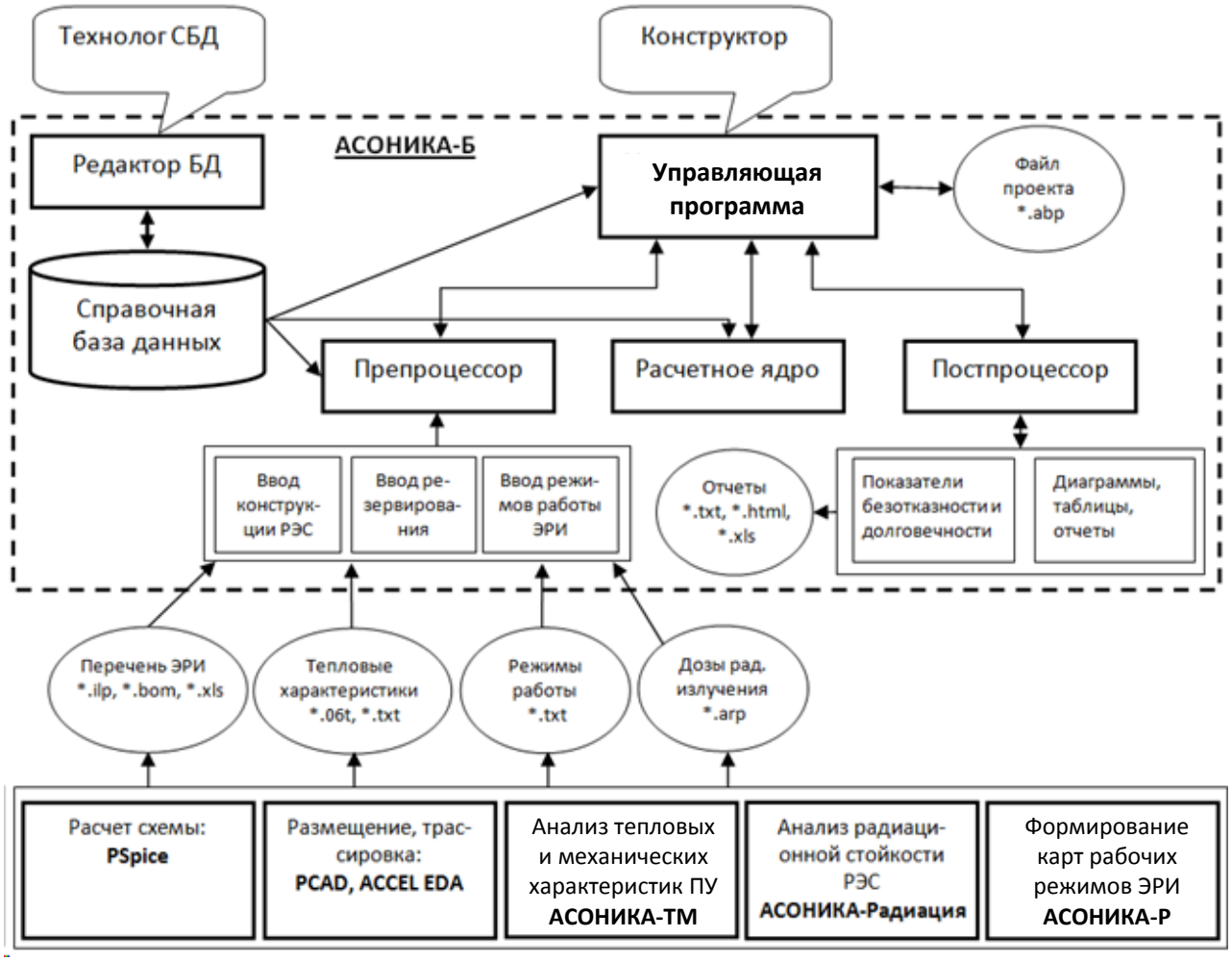


Рис. 4.24. Структура подсистемы АСОНИКА-Б

Подсистема АСОНИКА-Б представляет собой комплекс программ для ЭВМ, предназначенный для функционирования как в составе системы АСОНИКА, так и в автономном режиме. Основу подсистемы составляет управляющая программа, в которой формируется иерархия конструкции РЭС. Управляющая программа осуществляет автоматизированную передачу данных между конструктивными уровнями иерархии. В препроцессоре при помощи оконных интерфейсов формируется модель показателей безотказности и долговечности конструкции РЭС с точки зрения исходных данных. При этом списки ЭРИ, входящих в состав РЭС, либо вводятся вручную на основе СБД, либо передаются из ЭМ в виде специального файла; режимы работы ЭРИ (тепловые, электрические, радиационные характеристики) также либо вводятся вручную, либо передаются из ЭМ. Необходимые параметры модели можно выбрать из СБД, а в случае необ-

ходимости – идентифицировать. Затем управляющая программа осуществляет запуск расчетного ядра и после завершения расчета формирует модель показателей безотказности и долговечности РЭС с точки зрения визуализации результатов. В постпроцессоре результаты расчета отображаются в виде диаграмм вкладов ЭРИ в общую безотказность РЭС, вывод самых ненадежных ЭРИ, таблиц с полным перечнем ЭРИ и их показателями безотказности и долговечности, а также сохраняются в виде отчетов, на основе которых разработчиком может быть принято проектное решение. В случае недопустимых показателей безотказности и долговечности возможно введение резервирования элементов конструкции РЭС и изменение конструкции РЭС с последующим повторным моделированием физических процессов и уточнением показателей безотказности и долговечности. Все исходные данные и результаты моделирования сохраняются в ЭМ.

В рамках разработанной автоматизированной системы реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой РЭС, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, механические и другие физические процессы), а также позволяют интегрироваться с известными системами топологического проектирования печатных плат и известными CAD-системами.

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

Структура автоматизированной системы предусматривает, что в процессе проектирования в соответствии с требованиями CALS-технологий на базе подсистемы управления данными при моделировании(PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия.

Для проведения сеанса моделирования при помощи данной подсистемы необходима следующая исходная информация, полученная в других программах:

– выходной bom-файл системы P-CAD (для чтения перечня ЭРИ);

– выходной файл подсистемы АСОНИКА-ТМ (для импорта рабочих температур для элементов выбранного узла);

– выходной файл подсистемы АСОНИКА-Р (для импорта напряжений, токов, мощностей и других параметров из карт рабочих режимов).

Для проведения сеанса моделирования при помощи данной подсистемы необходима следующая исходная информация:

– техническое задание на разработку РЭС;

– эскизы или сборочные чертежи конструкции;

– перечень элементов;

– выходной bom-файл системы P-CAD (для чтения перечня ЭРИ);

– выходной файл подсистемы АСОНИКА-ТМ (для импорта рабочих температур для элементов выбранного узла);

– выходной файл подсистемы АСОНИКА-Р (для импорта напряжений, токов, мощностей и других параметров из карт рабочих режимов);

– режим эксплуатации (нагруженная эксплуатация; режим ожидания (хранения), неподвижный объект; режим ожидания (хранения), подвижный объект);

– режим ожидания (хранения) (в отапливаемом помещении; в неотапливаемом помещении; под навесом);

– группа аппаратуры по ГОСТ В 20.39.304-98;

– время безотказной работы;

– температура окружающей среды (при расчете остаточного ресурса вводится зависимость температуры от времени).

Подготовка входных данных осуществляется с помощью специализированного графического интерфейса ввода. Затем после импорта выходных файлов P-CAD, АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р и чтения параметров ЭРИ из базы данных происходит преобразование введенной информации в текстовый файл, который поступает на вход расчетного модуля.

Входной ilp-файл с перечнем ЭРИ, полученный из bom-файла системы P-CAD, имеет следующий формат:

позиционное обозначение ЭРИ: полная условная запись ЭРИ.

Фрагмент ilp-файла представлен на рис. 4.25.

```
VD2 : 2Д212А ОС Ц23.362.006ТУ
VD3 : 2Д213В Ц23.362.008ТУ
VD4 : 2Д213В Ц23.362.008ТУ
VD5 : 2Д213В Ц23.362.008ТУ
VD6 : 2Д213В Ц23.362.008ТУ
DA1 : 142ЕН8А бКО.347.098 ТУ7
DA2 : 142ЕН5А бКО.347.098 ТУ3
R7 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R8 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R9 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R10 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R11 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R12 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R13 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R14 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R15 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R16 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R17 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
R18 : ОС С2-33Н-0,125-Ом±5%-А-Д-В ОЖ0.467.093ТУ
C1 : ОС К10-47а-50В-±80%-В ОЖ0.460.174ТУ
C2 : ОС К10-47а-50В-±80%-В ОЖ0.460.174ТУ
C3 : ОС К10-47а-50В-±80%-В ОЖ0.460.174ТУ
C4 : ОС К10-47а-50В-±20%-В ОЖ0.460.174ТУ
C5 : ОС К10-47а-50В-±20%-В ОЖ0.460.174ТУ
```

Рис. 4.25. Фрагмент ilp-файла с перечнем ЭРИ

Входной файл с рабочими температурами ЭРИ, полученный из подсистемы АСОНИКА-ТМ, имеет следующий формат:

– порядковый номер ЭРИ;

– позиционное обозначение ЭРИ;

– сторона печатной платы;

– расчетная температура ЭРИ;

– максимальная допустимая температура ЭРИ по ТУ;

– коэффициент тепловой нагрузки ЭРИ;

– перегрев ЭРИ.

Фрагмент входного файла с температурами представлен на рис. 4.26.

Входной файл с напряжениями, токами и мощностями для ЭРИ, полученный из подсистемы АСОНИКА-Р, имеет следующий формат:

– позиционное обозначение ЭРИ;

– электрические характеристики и температуры из карт рабочих режимов в зависимости от типа ЭРИ (резистор, конденсатор, диод, транзистор, микросхема и т. д.).

Фрагмент входного файла с характеристиками ЭРИ из карт рабочих режимов представлен на рис. 4.27.

КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ						
(при стационарном тепловом воздействии)						
№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, [отн. ед.]	Перегрев, [°C]
			Расчетная, [°C]	Максимальная допустимая по ТУ, [°C]		
1	VD1	2	59.65	125.00	0.477	
2	VD2	2	58.85	125.00	0.477	
3	VD3	2	59.65	125.00	0.477	
4	VD4	2	59.65	125.00	0.477	
5	VD5	2	59.35	125.00	0.477	
6	VD6	2	58.15	125.00	0.477	
7	V1	2	61.25	125.00	0.477	
8	V2	2	59.85	125.00	0.477	
9	V3	2	62.65	125.00	0.477	
10	VT1	1	62.12	125.00	0.499	
11	VT2	1	62.12	125.00	0.499	
12	DA1	2	75.45	125.00	0.604	
13	DA2	2	75.59	125.00	0.605	
14	DD1	2	72.91	125.00	0.583	
15	DD2	1	92.09	125.00	0.737	

Рис. 4.26. Фрагмент файла с температурами ЭРИ

```
VD1;T;;Pj:1E-3;;Umax_TU;50;Kel;4;
VT1;T;;Pj;0,000278;f;;Kel;0,001321;Pmax;0.075;
VT2;T;;Pj;0,001063;f;;Kel;0,079014;Pmax;0.075;
VT3;T;;Pj;0,002407;f;;Kel;0,005037;Pmax;0.075;
C2;T;;Kel;2E-6;U;0,9316;Umax_TU;15;
C3;T;;Kel;0,000422;U;3,582;Umax_TU;15;
C4;T;;Kel;0;U;5;Umax_TU;15;
C5;T;;Kel;2,9E-5;U;3,33;Umax_TU;15;
C6;T;;Kel;;U;;Umax_TU;15;
C7;T;;Kel;;U;;Umax_TU;15;
C8;T;;Kel;39064,766667;U;3,358;Umax_TU;15;
C9;T;;Kel;5110,816667;U;0,496;Umax_TU;15;
C10;T;;Kel;11794,983333;U;1,146;Umax_TU;15;
C11;T;;Kel;0,003289;U;1,9853;Umax_TU;15;
C12;T;;Kel;1E-6;U;0,4576;Umax_TU;15;
C13;T;;Kel;0,000277;U;0,2214;Umax_TU;15;
R1;T;;Kel;0,000455;P;5,7E-5;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R2;T;;Kel;0,002316;P;0,000289;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R3;T;;Kel;0,022872;P;0,002859;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R4;T;;Kel;0,000328;P;4,1E-5;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R5;T;;Kel;0,061921;P;0,00774;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R6;T;;Kel;0,0012;P;0,00015;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R7;T;;Kel;0,002728;P;0,000341;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R8;T;;Kel;0,002729;P;0,000341;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R9;T;;Kel;0,000629;P;7,9E-5;Pmax;=TN\9\@5{4!};
R10;T;;Kel;0,102646;P;0,012831;Pmax;=TN\9\@5{4!};
```

Рис. 4.27. Фрагмент файла с электрическими характеристиками ЭРИ

Способ кодирования параметров:14 %T_sr% @11 %Pj% @7.

Между знаками % заключено имя переменной передаваемого параметра.После знаков @ и # идет порядковый номер параметра в карте,например:

11 –температура окружающей среды, °С,

7 –мощность рассеиваемая непрерывная (импульсная), Вт.

Знак @ используется, когда параметр берется в схеме.Знак # используется, когда параметр берется по НД.Подробное описание параметров для всех форм приведено в табл. 4.1.

Значения справочных параметров ЭРИ поступают автоматически из базы данных по полным условным записям ЭРИ.

Просмотр выходных данных осуществляется с помощью специализированного графического интерфейса вывода. На вход интерфейса вывода поступает текстовый файл, который получен по результатам работы расчетного модуля. Выходные данные представлены в виде графиков и отчета с исходными данными и результатами расчета.

По результатам расчета на ЭВМ пользователем подсистемы АСОНИКА-Б может быть получена следующая выходная информация:

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

– показатели долговечности: ресурс РЭС и время до усталостного разрушения выводов ЭРИ (рассчитывается и выводится в подсистеме АСОНИКА-ТМ).

При этом в выходном файле выводятся как результаты расчета, так и исходные данные (все коэффициенты). Выходной файл может быть по желанию пользователя сформирован в трех форматах: *.txt, *.doc,*.html, *.xls. Фрагмент выходного файла в формате *.xlsприведен на рис. 4.28.

Для обращения к подсистеме необходимо вызвать файл Ask.exe. После этого начинается диалог между пользователем подсистемы и ЭВМ, в процессе которого решается поставленная задача.

На рис. 4.29 изображено главное окно программы. Оно разделено на nhb части. В левой части окна находится дерево конструкции РЭС, которое содержит список всех элементов РЭС в соответствии с иерархией.

Таблица 4.1

Перечень параметров для различных форм карт рабочих режимов

Номер формы	Название формы	Параметр		
		Источник	Название и единицы измерения	Обозначение
14	Карта рабочих режимов полупроводниковых СВЧ диодов	Схема	Мощность рассеиваемая непрерывная (импульсная), Вт	Pj
			Температура окружающей среды,°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
15	Карта рабочих режимов ВЧ и СВЧ транзисторов	Схема	Постоянная рассеиваемая мощность (статический режим), Вт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
22	Карта рабочих режимов полупроводниковых генераторов шума	Схема	Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
35	Карта рабочих режимов индикаторов знакосинтезирующих полупроводниковых	Схема	Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
47	Карта рабочих режимов оптопар	Схема	Средний (постоянный) ток, мА	I
			Скважность (режим входа)	Skva
			Мощность рассеивания (режим выхода), Вт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel

Продолжение табл. 4.1

Номер формы	Название формы	Параметр		
		Источник	Название и единицы измерения	Обозначение
54	Карта рабочих режимов полупроводниковых ограничителей напряжения	Схема	Скважность (режим во время воздействия импульсов перегрузки)	Skva
			Постоянная (средняя) рассеиваемая мощность (режим во время воздействия импульсов перегрузки), Вт	Pj
			Температура окружающей среды,°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
55	Карта рабочих режимов диодов (выпрямительных, импульсных, универсальных), варикапов и диодных сборок	Схема	Рассеиваемая мощность, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
		НД	Максимальное обратное напряжение, В	Umax_TU
56	Карта рабочих режимов полупроводниковых стабилитронов и стабисторов	Схема	Обратное напряжение, В	U
			Рассеиваемая мощность, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
57	Карта рабочих режимов туннельных и обращенных диодов	Схема	Прямое напряжение, В	U
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel

Продолжение табл. 4.1

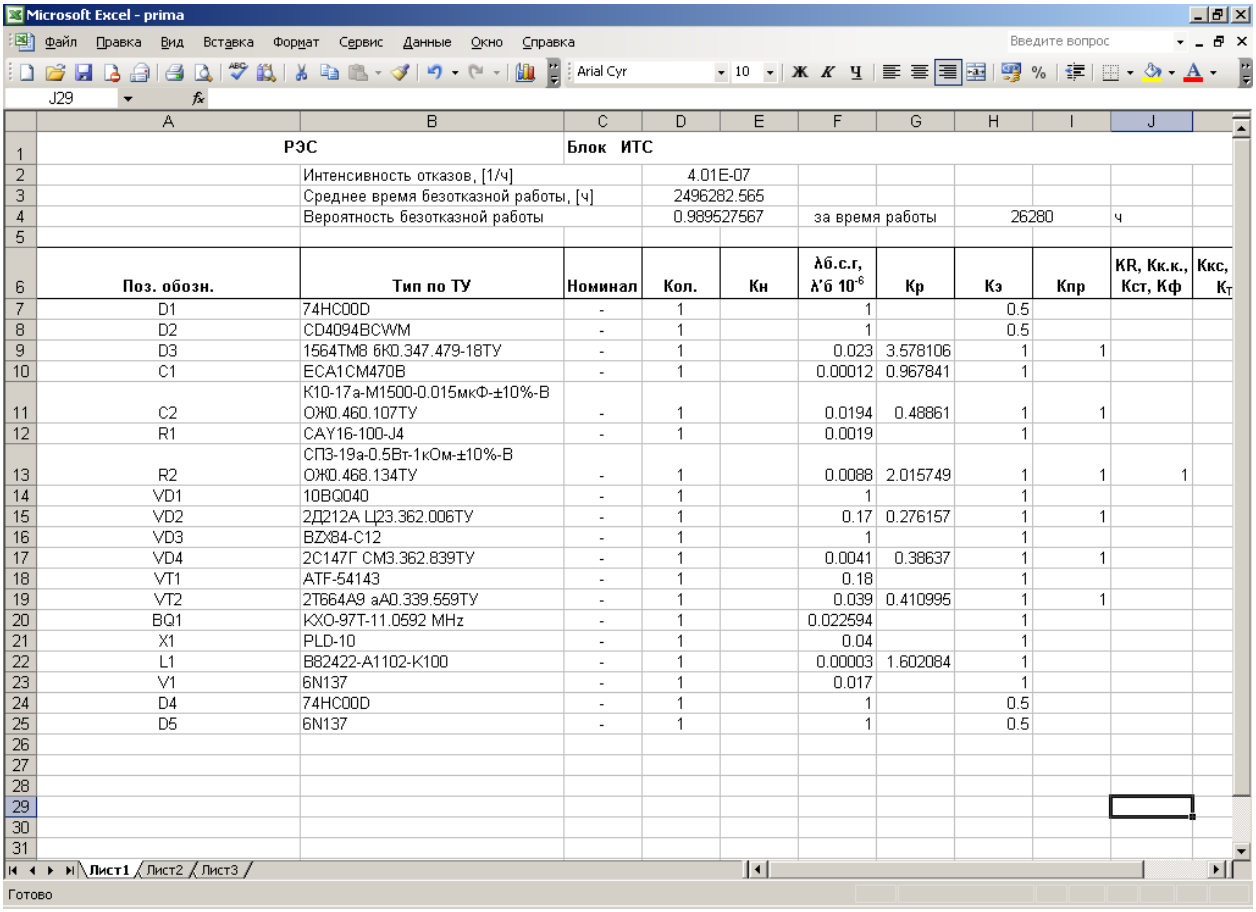
Номер формы	Название формы	Параметр		
		Источ-ник	Название и единицы измерения	Обозна-чение
58	Карта рабочих режимов транзисторов и транзисторных сборок	Схема	Частота следования, Гц	f
			Средняя мощность, Вт	P
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
59	Карта рабочих режимов однопереходных транзисторов	Схема	Рассеиваемая мощность, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса),°С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
60	Карта рабочих режимов полевых транзисторов и транзисторных сборок	Схема	Частота следования, Гц	f
			Средняя мощность, Вт	P
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
62	Карта рабочих режимов тиристоров	Схема	Частота следования импульсов (ток анод-катод), Гц	f
			Мощность, рассеиваемая тиристором, Вт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
63	Карта рабочих режимов операционных усилителей и компараторов напряжения	Схема	Мощность рассеивания, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T_sr

Продолжение табл. 4.1

Номер формы	Название формы	Параметр		
		Источник	Название и единицы измерения	Обозначение
64	Карта рабочих режимов стабилизаторов напряжения, схем управления импульсными стабилизаторами напряжения	Схема	Мощность рассеивания, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T_sr
65	Карта рабочих режимов цифровых функциональных узлов (модулей, микромодулей, микросхем)	Схема	Напряжение питания, В	U
			Мощность рассеивания, мВт	Pj
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
67	Карта рабочих режимов конденсаторов, конденсаторных сборок, помехоподавляющих фильтров и ионисторов	Схема	Напряжение постоянное, В	U
			Температура окружающей среды, °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
		НД	Напряжение постоянное, В	Umax
68	Карта рабочих режимов резисторов, резисторных сборок, терморезисторов, поглотителей и потенциометров	Схема	Суммарная мощность, Вт	P
			Температура окружающей среды (корпуса), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
		НД	Суммарная мощность, Вт	P

Окончание табл. 4.1

Номер формы	Название формы	Параметр		
		Источник	Название и единицы измерения	Обозначение
69	Карта рабочих режимов кварцевых резонаторов, кварцевых микрогенераторов, пьезоэлектрический и электромеханических фильтров и линий задержки на поверхностных акустических волнах	Схема	Температура окружающей среды (корпуса), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
75	Карта рабочих режимов электрических соединителей	Схема	Величина тока (коммутируемый сигнал), мА	I
			Количество соединений	Ncontact
			Температура окружающей среды, °С	T_sr
			Коэффициент нагрузки	Kel
84	Карта рабочих режимов силовых трансформаторов	Схема	Температура окружающей среды (обмоток), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
85	Карта рабочих режимов импульсных трансформаторов	Схема	Температура окружающей среды (обмоток), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel
86	Карта рабочих режимов дросселей фильтров	Схема	Температура окружающей среды (обмотки), °С	T
			Коэффициент нагрузки	Kel



Microsoft Excel - prima

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	РЭС		Блок ИТС							
2		Интенсивность отказов, [1/ч]		4.01E-07						
3		Среднее время безотказной работы, [ч]		2496282.565						
4		Вероятность безотказной работы		0.989527567		за время работы		26280		ч
5										
6	Поз. обозн.	Тип по ТУ	Номинал	Кол.	Кн	λб.с.г, λ'б 10^{-6}	Кр	Кэ	Кпр	KR, Кк.к., Кст, Кф	Ккс, Кт
7	D1	74HC00D	-	1		1		0.5			
8	D2	CD4094BCWM	-	1		1		0.5			
9	D3	1564ТМ8 бК0.347.479-18ТУ	-	1		0.023	3.578106	1	1		
10	C1	ECA1CM470B	-	1		0.00012	0.967841	1			
11	C2	К10-17а-М1500-0.015мкФ-±10%-В ОЖ0.460.107ТУ	-	1		0.0194	0.48861	1	1		
12	R1	CAY16-100-J4	-	1		0.0019		1			
13	R2	СП3-19а-0.5Вт-1кОм-±10%-В ОЖ0.468.134ТУ	-	1		0.0088	2.015749	1	1	1	
14	VD1	10BQ040	-	1		1		1			
15	VD2	2Д212А Ц23.362.006ТУ	-	1		0.17	0.276157	1	1		
16	VD3	BZX84-C12	-	1		1		1			
17	VD4	2С147Г СМ3.362.839ТУ	-	1		0.0041	0.38637	1	1		
18	VT1	ATF-54143	-	1		0.18		1			
19	VT2	2Т664А9 аА0.339.559ТУ	-	1		0.039	0.410995	1	1		
20	BQ1	KXO-97T-11.0592 MHz	-	1		0.022594		1			
21	X1	PLD-10	-	1		0.04		1			
22	L1	B82422-A1102-K100	-	1		0.00003	1.602084	1			
23	V1	6N137	-	1		0.017		1			
24	D4	74HC00D	-	1		1		0.5			
25	D5	6N137	-	1		1		0.5			
26											
27											
28											
29											
30											
31											

Лист1 Лист2 Лист3

Готово

Рис. 4.28. Фрагмент выходного файла подсистемы АСОНИКА-Б в формате *.xls

При загрузке описания конструкции дерево изначально находится в свернутом состоянии. Чтобы раскрыть какой-либо родительский элемент, нужно один раз нажать на значок [+] слева от пиктограммы и названия элемента левой кнопкой мыши либо сделать двойной щелчок левой кнопкой мыши на названии элемента. При этом значок [+] сменится на значок [–]. Таким образом можно полностью раскрыть древовидное представление конструкции и достичь любого уровня конструктивной иерархии. Для сворачивания нужно проделать эти действия в обратном порядке.

Выбор элемента осуществляется нажатием левой кнопки мыши на имени элемента. Щелчок по дереву правой кнопкой мыши вызывает контекстное меню выбранного элемента.

Внизу дерева находится кнопочная панель редактирования структуры РЭС. Кнопки этой панели дублируют команды главного меню «Правка» и контекстного меню дерева структуры РЭС.

В правой части окна находятся три закладки. На первой из них расположена таблица параметров выбранного элемента конструкции. Таблица позволяет просматривать и редактировать параметры вы-

бранного элемента. Она разделена на три столбца. Первый столбец содержит внутреннее имя параметра и по умолчанию отключен, второй столбец содержит наименование и размерность параметра, третий – значение параметра.

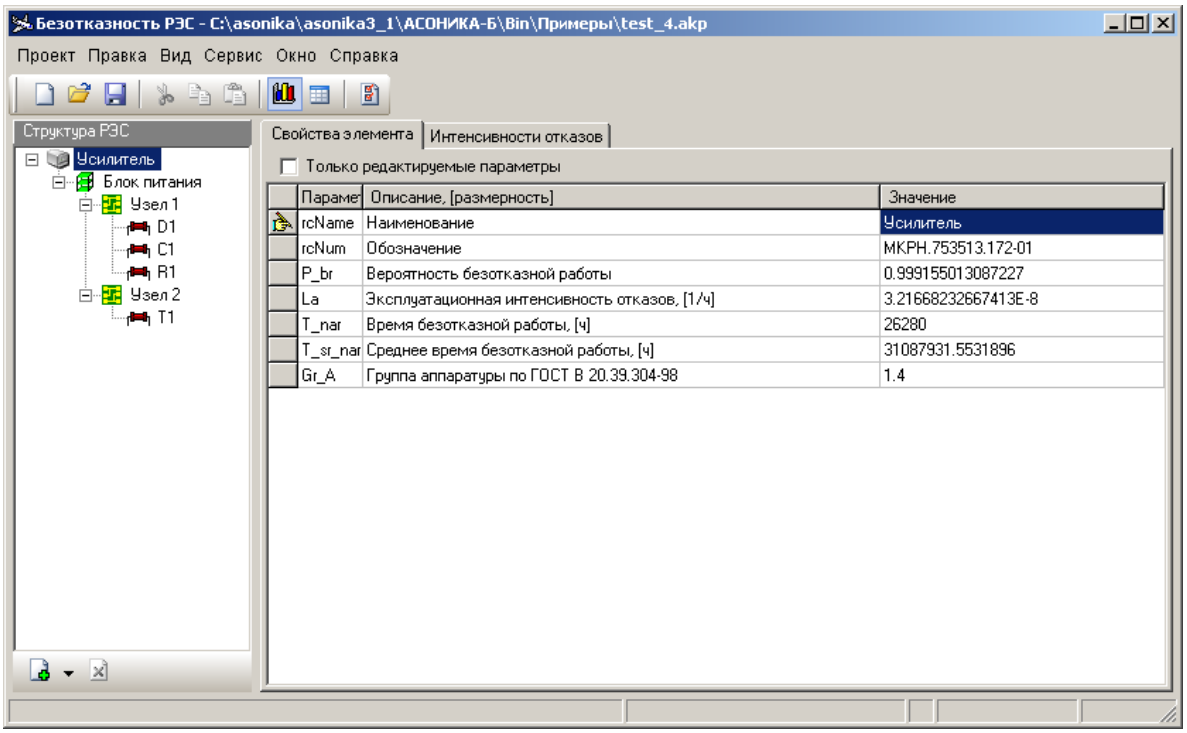


Рис. 4.29. Главное окно программы

На второй закладке находится диаграмма или таблица интенсивностей отказов элементов конструкции. На диаграмме показаны интенсивности отказов дочерних элементов выбранного в дереве элемента конструкции. Если выбранный элемент является низшим в иерархии и не содержит дочерних элементов, то отображается интенсивность отказов только этого элемента. Высота столбца на диаграмме соответствует численному значению интенсивности. В нижней части диаграммы находится легенда, которая содержит численные значения интенсивностей отказов и задает соответствия между цветами столбцов на диаграмме и элементами конструкции.

На третьей закладке расположена структурная схема безотказности выбранного элемента конструкции.

В меню **«Проект»** содержатся команды управления файлом проекта.Пункты меню **«Проект»** (рис. 4.30):

1. ***«Новый»*** – позволяет создать новый проект.
2. ***«Открыть»***– позволяет открыть ранее сохраненный проект.
3. ***«Сохранить»***– позволяет сохранить редактируемый проект.

4. ***«Сохранить как…»***– позволяет сохранить файл проекта под другим именем.

5. ***«Сохранить отчет»***– позволяет сохранить отчет, содержащий результаты расчетов.

6. Подменю импорт содержит команды, позволяющие импортировать параметры конструкций из файлов других программ:

«Импорт – Список ЭРИ»– позволяет импортировать перечень элементов из универсального перечня элементов;

«Импорт – Температур»– позволяет импортировать рабочие температуры для элементов выбранного узла из выходного файла подсистемы АСОНИКА-ТМ;

«Импорт – Электр.характеристик»– позволяет импортировать напряжения, токи и мощности для элементов выбранного узла из отчета программы «Режимы».

7. ***«Экспорт – Список ЭРИ»***– позволяет сохранить список элементов в универсальном перечнеЭРИ.

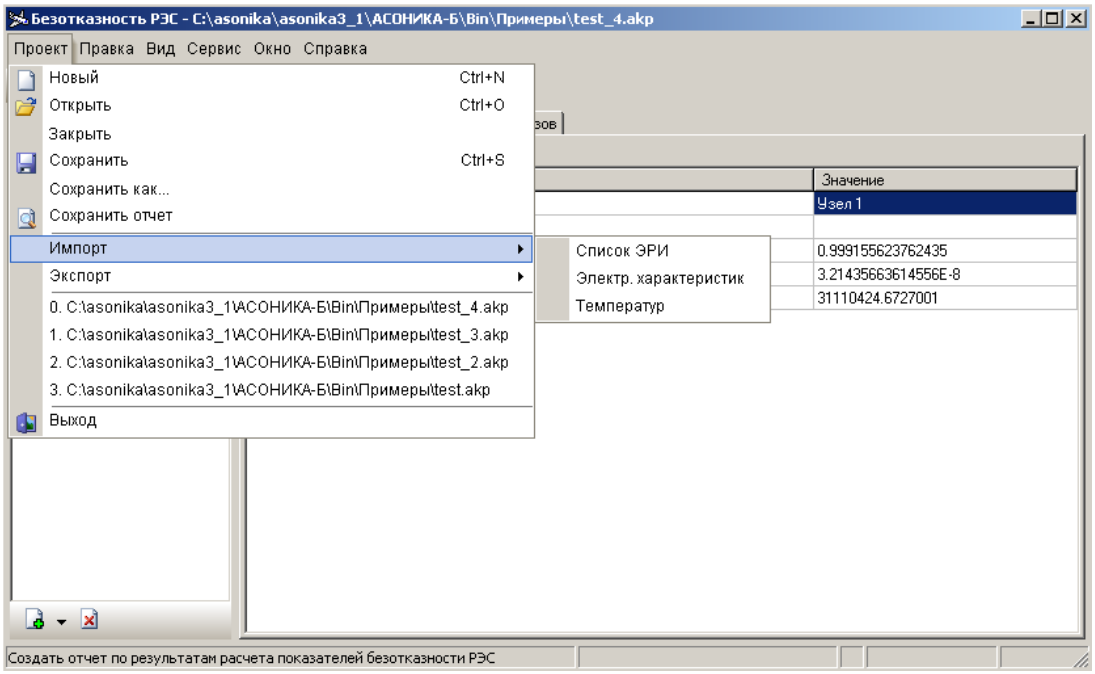


Рис. 4.30. Меню «Проект»

В меню **«Правка»** (рис. 4.31) содержатся команды редактирования конструкции РЭС.Пункты подменю ***«Добавить»*** позволяют добавить в конструкцию требуемый элемент.Пункт ***«Удалить»*** позволяет удалить выбранный элемент из конструкции.

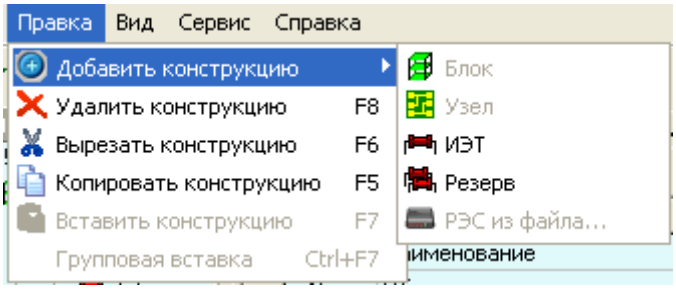


Рис. 4.31. Меню «Правка»

В меню **«Вид»** (рис. 4.32) содержатся команды, управляющие внешним видом главного окна и отображением информации о конструкции.Пункт ***«Показывать имена переменных»*** управляет отображением столбца таблицы параметров, содержащего имена переменных, соответствующих параметрам.

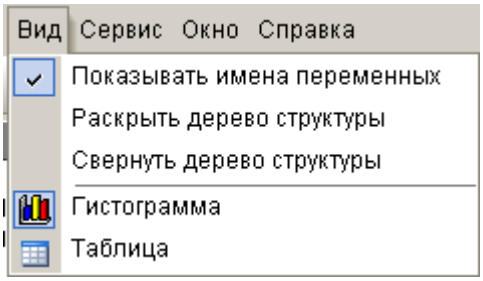


Рис. 4.32. Меню «Вид»

Меню **«Сервис»** (рис. 4.33) содержит команды, управляющие настройками программы.Пункт ***«Редактор БД»*** закрывает подсистему и запускает программу «Редактор БД».Пункт ***«Провести расчет»*** запускает процесс расчета показателей безотказности.Пункт ***«Параметры»*** вызывает диалоговое окно настроек программы.

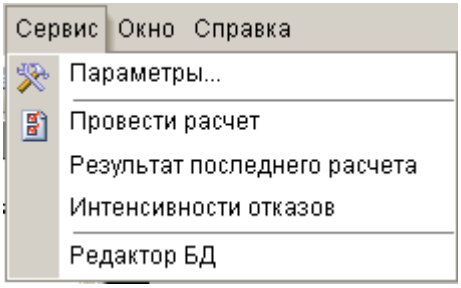


Рис. 4.33. Меню «Сервис»

Меню **«Справка»** содержит команду, позволяющую отобразить окно информации о программе.

Кнопочная панель (рис. 4.34) расположена под главным меню программы и дублирует наиболее часто используемые команды главного меню.



Рис. 4.34. Кнопочная панель

 – кнопка *«Новый проект»* позволяет создать новый проект. Дублирует пункт меню ***«Проект– Новый»***;

 – кнопка*«Открыть»* позволяет открыть проект. Дублирует пункт меню ***«Проект– Открыть»***;

 – кнопка*«Сохранить»* позволяет сохранить редактируемый проект. Дублирует пункт меню **«Проект– *Сохранить»***;

 – кнопка*«Расчет»* позволяет запустить расчет показателей безотказности РЭС.

Операции при работе с программой:

1. Создание нового проекта. Для создания нового проекта необходимо выбрать пункт меню **«Проект –*Новый*»** или нажать кнопку *«Создать»* на кнопочной панели. Если в это время в программе уже открыт какой-либо проект, будет предложено сохранить его. После этого появится диалоговое окно «Новый проект» (рис. 4.35).

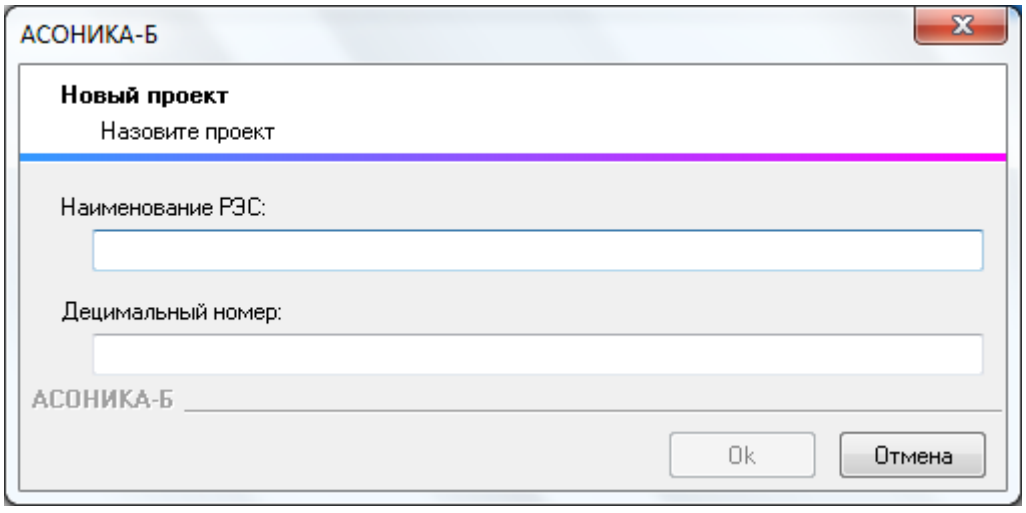


Рис. 4.35. Диалоговое окно «Новый проект»

Диалоговое окно содержит поля ввода, в которые нужно ввести соответствующие параметры моделируемого РЭС. Для продолжения создания проекта нажмите кнопку «ОК» или кнопку «Отмена», если

вы хотите прервать процесс создания проекта.После этого процесс создания нового проекта будет завершен и на экране появится главное окно программы. Дерево конструкции РЭС будет содержать единственный элемент конструкции – только что созданное РЭС.

2. Сохранение проекта. Для того чтобы сохранить проект, выберите пункт меню **«Проект – *Сохранить»*** или нажмите кнопку *«Сохранить»* на кнопочной панели. Если сохранение производится впервые, то откроется типовое окно сохранения файла, в котором будет необходимо указать имя файла и папку для сохранения. Если сохранение производится повторно, то проект будет сохранен в тот же файл, что и ранее.Для сохранения копии проекта выберите пункт меню **«Проект– *Сохранить как»***. В появившемся диалоговом окне укажите новое имя файла и папку, в которую вы хотите сохранить копию.

3. Открытие проекта.Для открытия проекта выберите пункт меню ***«*Проект– *Открыть»*** или нажмите кнопку *«Открыть»* на кнопочной панели. Если в это время в программе уже открыт какой-либо проект, будет предложено сохранить его. После этого появится типовое окно открытия файла, в котором будет необходимо указать папку, содержащую файл проекта и имя файла.

4. Редактирование конструкции РЭС.Редактирование конструкции РЭС может осуществляться путем отдачи команд на редактирование. Эти команды содержатся в главном меню **«Правка»**, в контекстном меню дерева конструкции и на кнопочной панели дерева конструкции. Так как команды кнопочной панели и контекстного меню полностью дублируют команды главного меню, в дальнейшем будет описана только работа с командами главного меню.

Добавление новых элементов конструкции. Выделите в дереве конструкции элемент, к которому вы хотите добавить новый элемент. Новые элементы всегда добавляются как дочерние к выбранному элементу дерева.Выберите пункт меню **«Правка –*Добавить*»**. Из открывшегося подменю выберите элемент конструкции, который вы хотите добавить к текущему. Элементы добавляются в конструкцию в соответствии с иерархией. Это означает, что элементы, стоящие выше в иерархии, не могут входить в состав элементов, стоящих ниже (например, Блок не может входить в состав Узла, но может входить в состав ЭРИ).

Если вы добавляете в конструкцию Узел или Блок, то после выбора соответствующего пункта меню откроется диалоговое окно, где будет необходимо указать имя добавляемого элемента и подтвердить добавление нажатием кнопки «ОК» либо отменить добавление нажатием кнопки «Отмена».

Процесс добавления в конструкцию ИЭТ более сложен, поэтому будет описан пошагово:

1) выберите пункт меню **«Правка – *Добавить*–*ИЭТ*»**;

2) в появившемся диалоговом окне укажите класс добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 4.36);

3) в появившемся диалоговом окне укажите сокращенный тип добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 4.37);

4) в появившемся диалоговом окне укажите полный тип добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 4.38);

5) в появившееся диалоговое окно введите позиционное обозначение добавляемого ЭРИ (рис. 4.39) и нажатием кнопки «ОК» завершите процесс добавления ЭРИ.

При добавлении ЭРИ в РЭС можно вернуться на шаг назад нажатием клавиши «Отмена». Для полного выхода нужно нажать крестик.

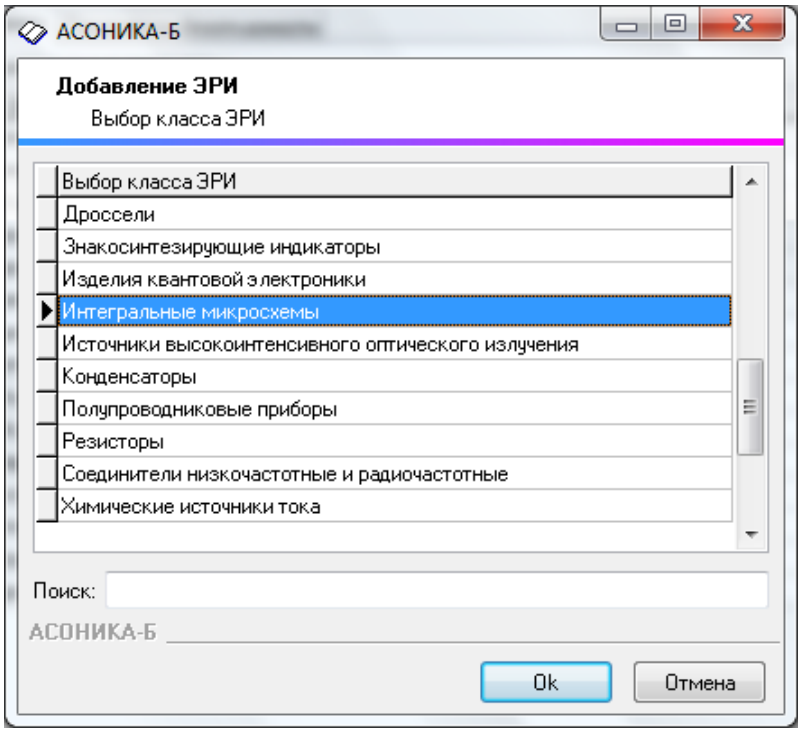


Рис. 4.36. Диалоговое окно «Выбор класса ЭРИ»

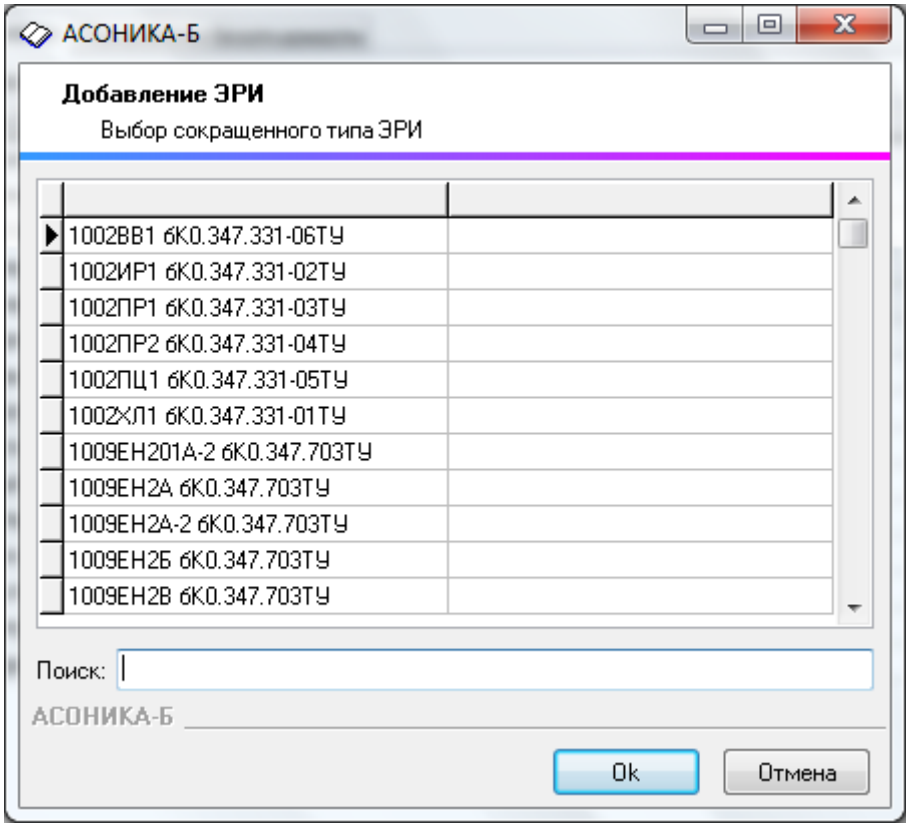


Рис. 4.37. Диалоговое окно «Выбор сокращенного типа ЭРИ»

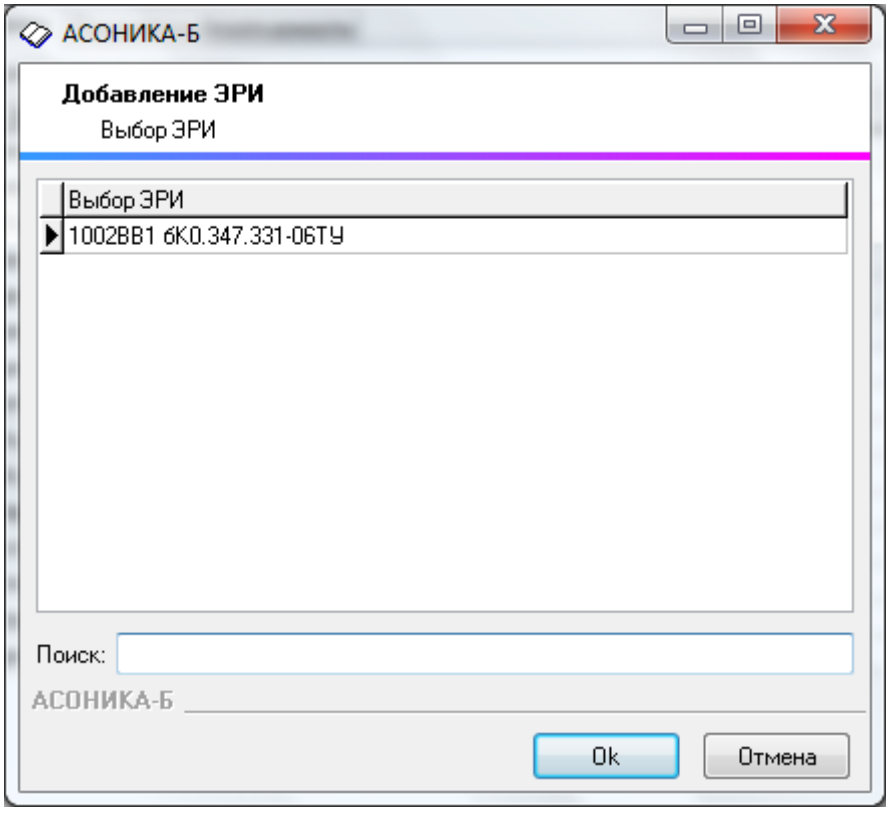


Рис. 4.38. Диалоговое окно «Выбор ЭРИ»

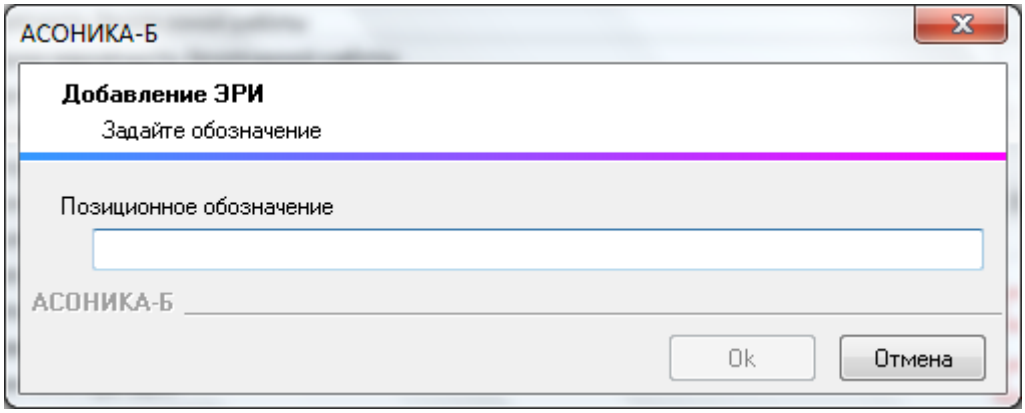


Рис. 4.39. Диалоговое окно «Выбор позиционного обозначения»

Удаление элементов конструкции. Выберите в дереве конструкции элемент, который вы хотите удалить, затем выберите пункт меню **«Правка –*Удалить*»**. В появившемся диалоговом окне нажмите кнопку «Да» для подтверждения удаления или кнопку «Нет» для отмены удаления.

При удалении элемента конструкции также будут удалены **все** принадлежащие ему дочерние элементы.

Копирование, вставка. Чтобы скопировать блок, узел или ЭРИ как из другого проекта, так и внутри текущего проекта, нужно сделать следующее:

– установить курсор на элемент, который нужно копировать;

– нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Копировать конструкцию» или нажать функциональную клавишу F5;

– установить курсор на тот элемент конструкции, куда надо вставить копируемый элемент, нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Вставить конструкцию» или нажать функциональную клавишу F7.

Для ввода нескольких одинаковых ЭРИ существует возможность группового копирования. Для этого нужно выполнить следующие действия:

– установить курсор на ЭРИ;

– нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Копировать конструкцию» или нажать функциональную клавишу F5;

– если нужно добавить один ЭРИ, то необходимо установить курсор на «Узел» и нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Вставить конструкцию» или нажать функциональную клавишу F7;

– если нужно добавить несколько ЭРИ, то необходимо установить курсор на «Узел», нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Групповая вставка» или нажать клавиши Ctrl + F7.

Резервирование. Выделите в дереве конструкции элемент, к которому вы хотите добавить резерв.

Выберите пункт меню **«Правка – *Добавить конструкцию*–** Резерв». При этом откроется диалоговое окно, где будет необходимо указать вид резервирования (рис. 4.40) и подтвердить добавление нажатием кнопки «ОК» либо отменить добавление нажатием кнопки «Отмена».

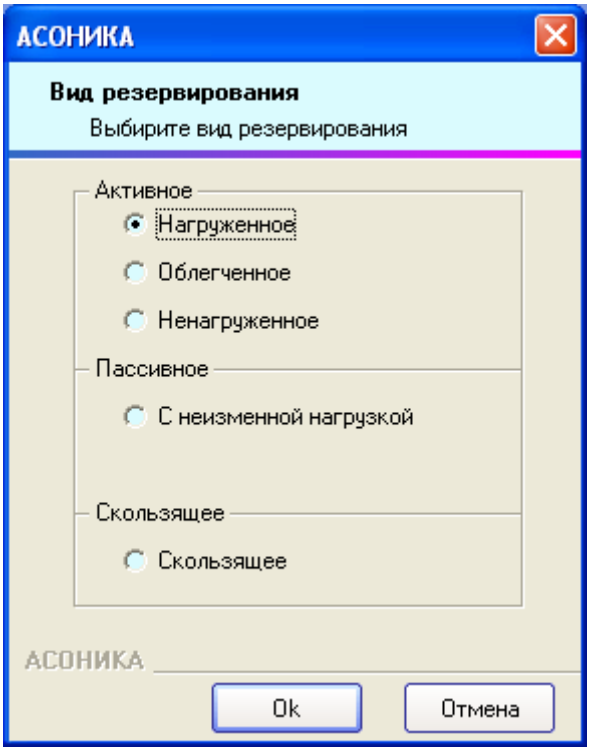
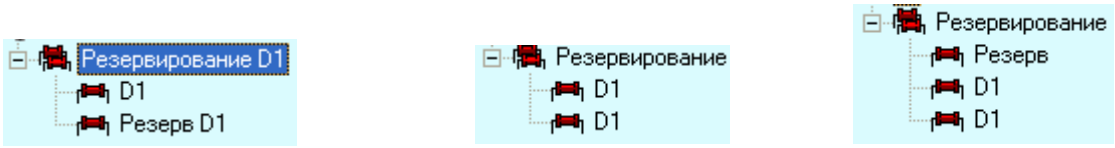


Рис. 4.40. Диалоговое окно для выбора вида резервирования

В дереве конструкции РЭС резервирование будет выглядеть как отдельный узел (рис. 4.41), в состав которого входят основные и резервные элементы в зависимости от типа резервирования.



а *б* *в*

Рис. 4.41. Резервирование:
а–активное; *б* – пассивное; *в* – скользящее

Для добавления дополнительных элементов в резервирование необходимо выбрать в дереве конструкции РЭС элемент «Резервирование», затем выбрать пункт меню **«Правка – *Добавить*–*Резерв*»**.

Импорт перечня ЭРИ. Чтобы осуществить чтение списка ЭРИ из файла с расширением *.ilp, нужно:

– установить курсор на узел, куда нужно ввести список ЭРИ;

– войти в **«Проект–*Импорт*–*Список ЭРИ*»** и выбрать файл с расширением *.ilp.

При этом сообщается информация об отсутствии в базе ЭРИ.

Чтобы осуществить сохранение списка ЭРИ в файл с расширением *.ilp, нужно:

– установить курсор на узел, список ЭРИ в котором нужно сохранить;

– войти в **«Проект –*Экспорт*–*Список ЭРИ*»**, ввести имя файла с расширением *.ilp и сохранить.

5. Редактирование параметров элемента.Для редактирования параметров элемента предназначена таблица параметров элемента. Для того чтобы отредактировать значение параметра, необходимо выбрать его в таблице в столбце «Значение».

Если после выбора параметра ячейка таблицы, содержащая его значение, превращается в поле для текстового ввода (рис. 4.42, *а*), то это значит, что значение параметра должно быть введено с клавиатуры.

Если ячейка таблицы не превращается в текстовое поле, но в ее правой части появляется кнопка  , то это означает, что значение параметра должно быть выбрано из списка (рис. 4.42, *б*). Для того чтобы это сделать, нажмите на кнопку  и в появившемся диалоговом окне выберите значение параметра из списка возможных (рис. 4.43). Подтвердите выбор нажатием кнопки «Выбрать».



а



б

Рис. 4.42. Редактирование параметров элемента:
а – вручную; *б* – путем выбора из списка

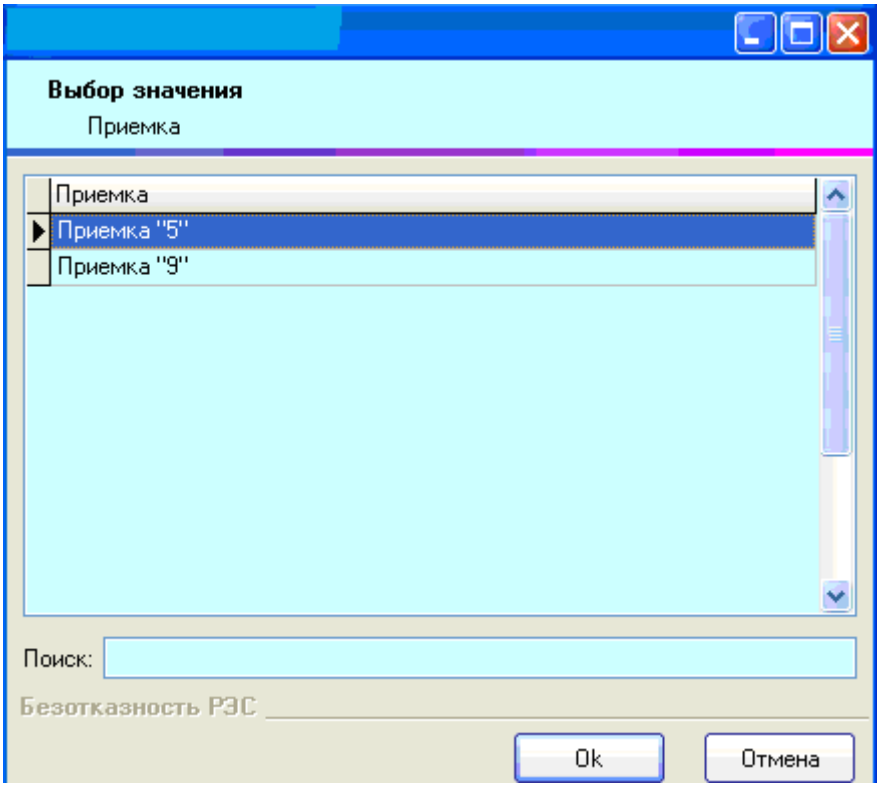


Рис. 4.43. Диалоговое окно для выбора значения параметра

Если при выборе параметра из таблицы с ячейкой, содержащей его значение, ничего не происходит, то это означает, что параметр не является редактируемым.

6. Импортирование реальных характеристик.

Импорт температур. Выберите в дереве конструкций узел, для которого проводился расчет тепла в подсистеме АСОНИКА-ТМ. Выберите в меню пункт «**Проект – *Импорт*–*Температур***», после этого откроется стандартный диалог открытия файлов, где надо указать выходной файл расчета температур подсистемы АСОНИКА-ТМ. При импорте проводится сопоставление позиционных обозначений элементов выбранного узла и элементов в файле.

Импорт электрических характеристик. Выберите в дереве конструкций узел, для элементов которого составлена карта режимов работы в подсистеме АСОНИКА-Р. Выберите в меню пункт «**Проект – *Импорт* –** *Электр.характеристик*», после этого откроется стандартный диалог открытия файлов, где надо указать выходной файл подсистемы АСОНИКА-Р. При импорте проводится сопоставление позиционных обозначений элементов выбранного узла и элементов в файле.

7. Расчет показателей безотказности. Перед тем, как запустить процесс расчета показателей безотказности, необходимо ввести все

требуемые для расчета значения параметров элементов. Расчет запускается нажатием кнопки *«Расчет»* на кнопочной панели. Продолжительность процесса расчета зависит от числа элементов в конструкции и может составлять несколько минут. Во время расчета в строке состояния главного окна программы (рис. 4.44) появляется иконка калькулятора ( ) и полоса прогресса, которая отображает степень завершенности расчета.



Рис. 4.44. Строка состояния

Если у какого-либо элемента конструкции к моменту начала расчета значения некоторых параметров были заданы неверно или не были заданы вообще, то расчет показателей безотказности будет прерван, а этот элемент конструкции станет активным и будет выделен знаком вопроса (рис. 4.45, элемент К2).

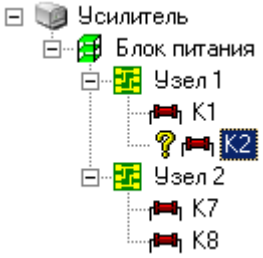


Рис. 4.45. Элемент, для которого не производился расчет

В программе существует два представления результатов расчета: графический и табличный.

Графическое представление включено по умолчанию и представляет собой столбчатую диаграмму, каждый столбец которой соответствует элементу конструкции, а высота столбца пропорциональна рассчитанной интенсивности отказов (рис. 4.46).На диаграмме отображаются интенсивности отказов элементов, входящих в состав выбранного в дереве элемента конструкции. Если выбранный элемент конструкции не содержит дочерних элементов, то отображается интенсивность отказов только этого элемента.

Табличное представление изображено на рис. 4.47.

Для того чтобы включить текстовое представление результатов расчета, необходимо нажать кнопку ···, расположенную в правом верхнем углу диаграммы интенсивностей отказов. После этого откроется диалоговое окно, содержащее список элементов, входящих в со-

став выбранного элемента конструкции, и соответствующих им интенсивностей отказов в формате таблицы (рис. 4.48).

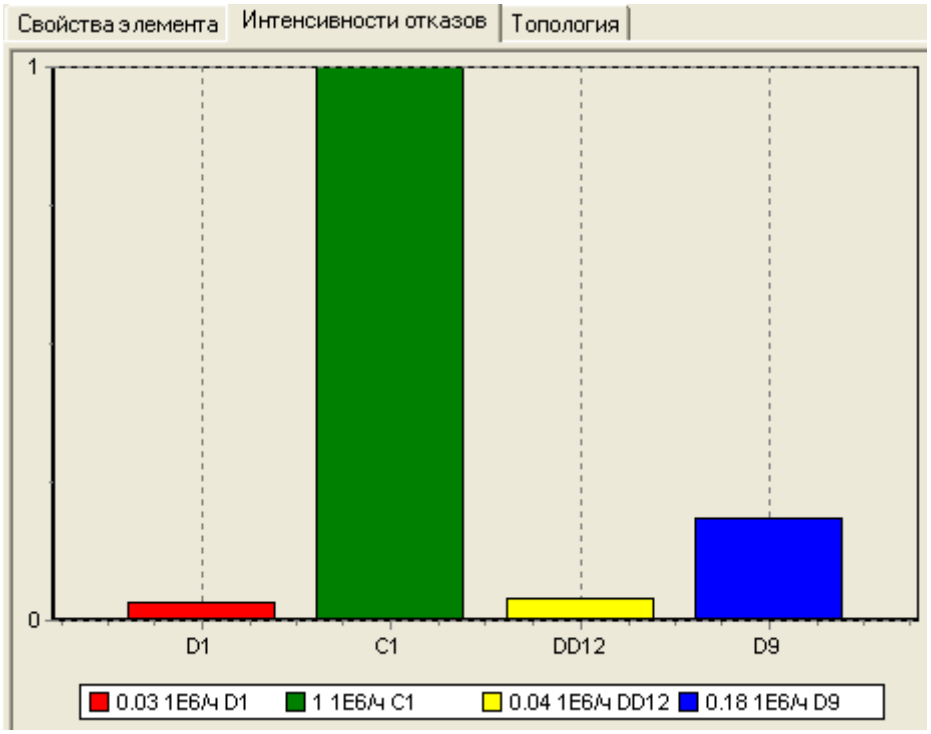


Рис. 4.46. Диаграмма интенсивнностей отказов

Свойства элемента | Интенсивности отказов | Топология

Наименование	Обозначение	Значение
100ИД162 И63.088.068ТУ11	D1	3.34964101278447E-8
К53-18-16В-1.5мкФ+-10%-В ОЖ0.464.136ТУ	C1	1E-6
530ИР22 бК0.347.022-33ТУ	DD12	4.03886285061457E-8
1002ПЦ1 бК0.347.331-05ТУ	D9	1.83636922589087E-7

Рис. 4.47. Табличное представление результатов расчета

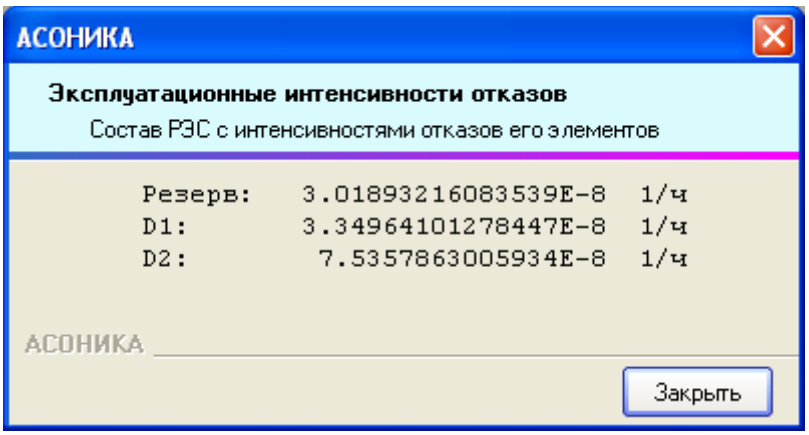


Рис. 4.48. Текстовое представление результатов расчета

8. Сохранение результатов расчета.Программа позволяет сохранять результаты расчетов в различных открытых форматах докумен-

тов. Процесс сохранения результатов расчета включает в себя генерацию отчета и сохранение его в файл. В текущей версии программы поддерживается три формата файла: текстовый (*.txt), HTML (*.htm) и таблица Excel (*.xls). Отчет, созданный программой, представляет собой полный список элементов конструкции с указанием имен, позиционных обозначений и интенсивностей отказов элементов. Представление списка элемента в отчете организовано в виде древовидной структуры, соответствующей иерархии элементов конструкции.

Для того чтобы создать отчет, выберите пункт меню **«Проект – *Сохранить отчет*»**. В появившемся стандартном диалоговом окне для сохранения файла укажите папку, в которую вы хотите сохранить отчет, имя файла отчета и формат файла, затем нажмите кнопку сохранить.

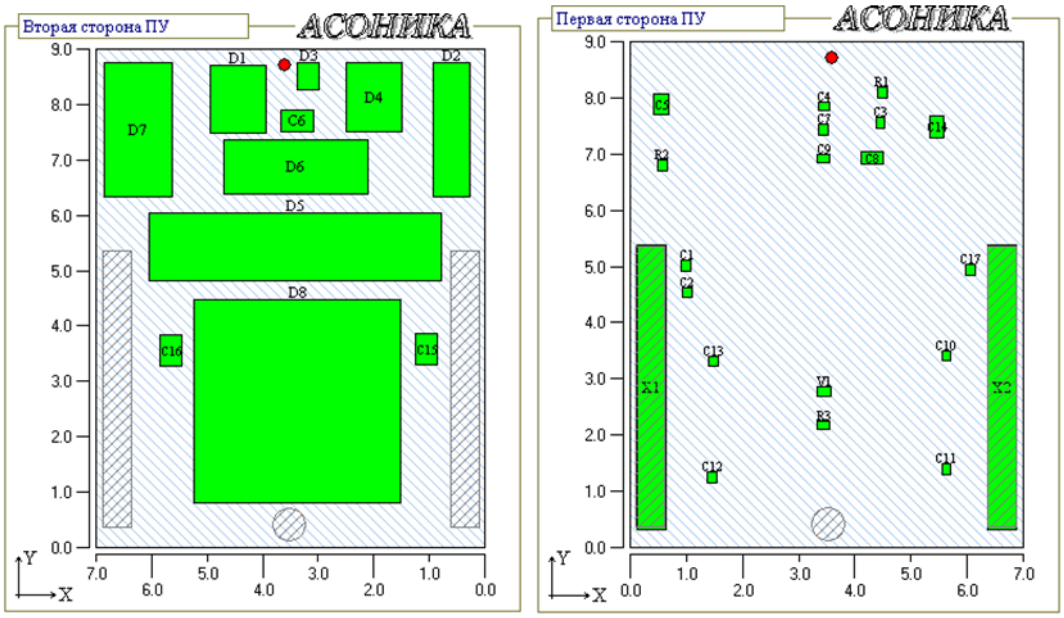
4.3. Пример применения подсистем АСОНИКА-Р иАСОНИКА-Б при проектировании

Рассмотрим пример анализа показателей безотказности печатного узла на основе комплексного моделирования физических процессов. В качестве примера рассмотрим процесс разработки печатного узла, в ТЗ на разработку которого в части требований по безотказности указано обеспечить безотказной работу ПУ в течение 10 000 ч с вероятностью не менее 0,95.

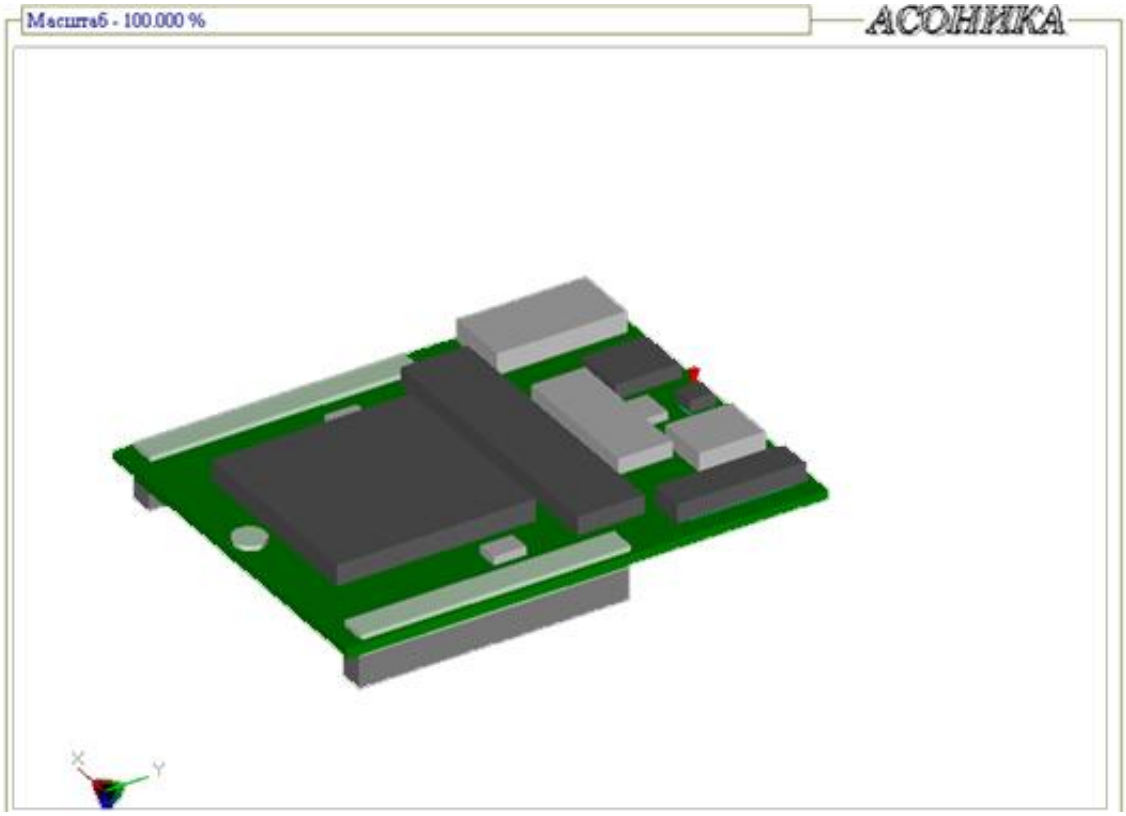
Вначале разрабатывается электрическая схема и проводится анализ электрических характеристик в системе PSpice. Затем разрабатывается конструкция ПУ в системе PCAD.

В подсистеме АСОНИКА-ТМ конструкция печатного узла конвертируется из системы PCAD (рис. 4.49) и проводится моделирование тепловых и механических характеристик печатного узла.

На рис. 4.50 представлены результаты моделирования тепловых режимов.По результатам моделирования автоматически формируются карты рабочих режимов ЭРИ в подсистеме АСОНИКА-Р (рис. 4.51–4.53). При этом температуры и ускорения ЭРИ автоматически конвертируются из подсистемы АСОНИКА-ТМ в подсистему АСОНИКА-Р, токи и напряжения из системы PSpice. Кроме того, конвертор PSpice– АСОНИКА-Р рассчитывает мощности тепловыделения каждого электронного компонента.

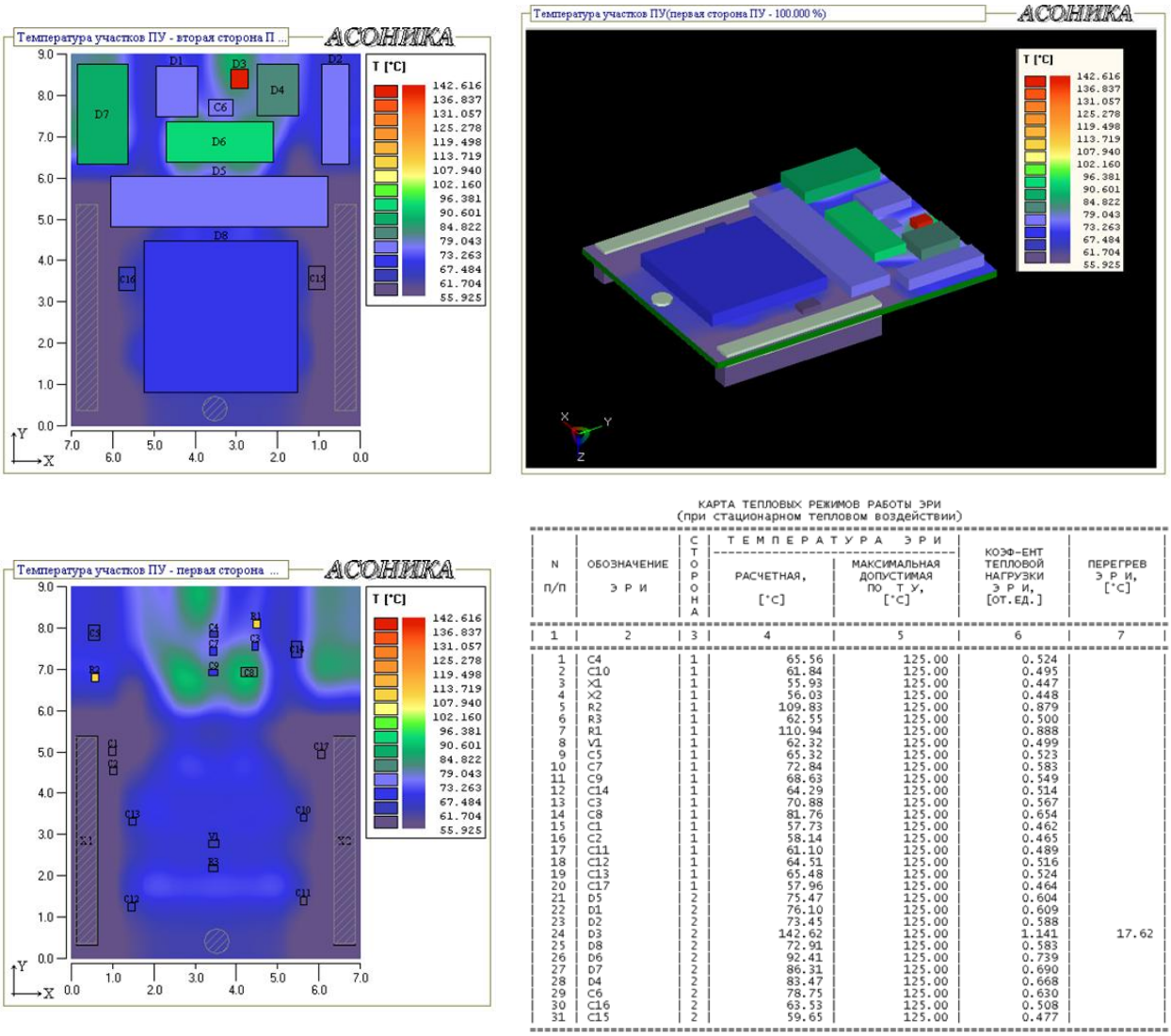


аб



в

Рис. 4.49. Конструкция печатного узла, конвертированная из системы PCAD:
а – плоское изображение (первая сторона); *б* – плоское изображение (вторая сторона);
в – объемное изображение



КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ
(при стационарном тепловом воздействии)

N п/п	ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРИ	СТОРОНА	ТЕМПЕРАТУРА ЭРИ: РАСЧЕТНАЯ, [°C]	ТЕМПЕРАТУРА ЭРИ: МАКСИМАЛЬНАЯ ДОПУСТИМАЯ ПО ТУ, [°C]	КОЭФ-ЕНТ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ЭРИ, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРЕВ ЭРИ, [°C]
1	2	3	4	5	6	7
1	C4	1	65.56	125.00	0.524	
2	C10	1	61.84	125.00	0.495	
3	X1	1	55.93	125.00	0.447	
4	X2	1	56.03	125.00	0.448	
5	R2	1	109.83	125.00	0.879	
6	R3	1	62.55	125.00	0.500	
7	R1	1	110.94	125.00	0.888	
8	V1	1	62.32	125.00	0.499	
9	C5	1	65.32	125.00	0.523	
10	C7	1	72.84	125.00	0.583	
11	C9	1	68.63	125.00	0.549	
12	C14	1	64.29	125.00	0.514	
13	C3	1	70.88	125.00	0.567	
14	C8	1	81.76	125.00	0.654	
15	C1	1	57.73	125.00	0.462	
16	C2	1	58.14	125.00	0.465	
17	C11	1	61.10	125.00	0.489	
18	C12	1	64.51	125.00	0.516	
19	C13	1	65.48	125.00	0.524	
20	C17	1	57.96	125.00	0.464	
21	D5	2	75.47	125.00	0.604	
22	D1	2	76.10	125.00	0.609	
23	D2	2	73.45	125.00	0.588	
24	D3	2	142.62	125.00	1.141	17.62
25	D8	2	72.91	125.00	0.583	
26	D6	2	92.41	125.00	0.739	
27	D7	2	86.31	125.00	0.690	
28	D4	2	83.47	125.00	0.668	
29	C6	2	78.75	125.00	0.630	
30	C16	2	63.53	125.00	0.508	
31	C15	2	59.65	125.00	0.477	

Рис. 4.50. Результаты моделирования тепловых режимов

В подсистеме АСОНИКА-Б конструкция печатного узла конвертируется из системы PCAD (перечень ЭРИ), проводится импорт значений токов, напряжений, температур из подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-ТМ и с учетом реальных режимов работы рассчитываются показатели безотказности печатного узла (рис. 4.54).

По результатам расчета показателей безотказности в подсистеме АСОНИКА-Б определили, что вероятность безотказной работы ПУ в течение 10 000 ч составляет 0,92, что не удовлетворяет требованиям ТЗ.Из диаграмм вкладов ЭРИ в общую безотказность ПУ (рис. 4.55, 4.56) видно, что наименьшей надежностью обладают диод V1 и резистор R2.В целях повышения отказоустойчивости ПУ было принято решение понизить нагрузки на диод V1 и внести соответствующие изменения в схему ПУ. Для повышения отказоустойчиво-

сти резистора было принято два решения: понизить температуру путем перекомпоновки ЭКБ, а также ввести резервирование (рис. 4.57).

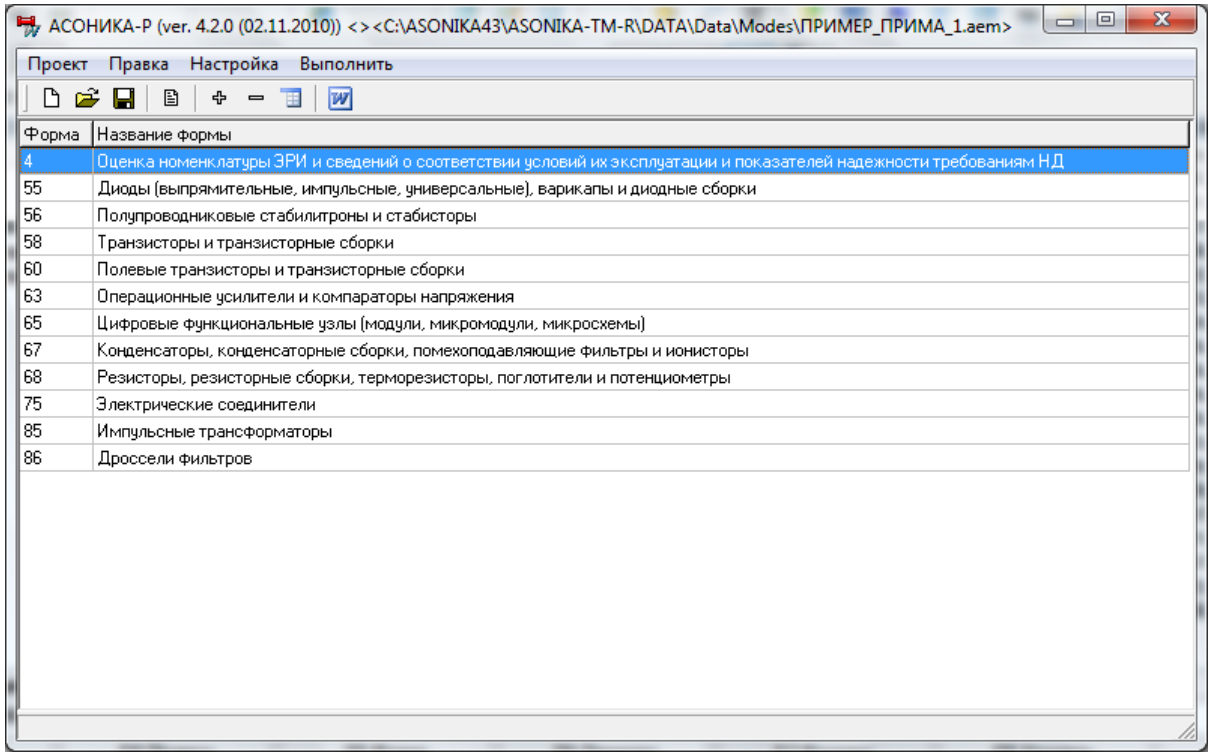


Рис. 4.51. Формирование карт рабочих режимов

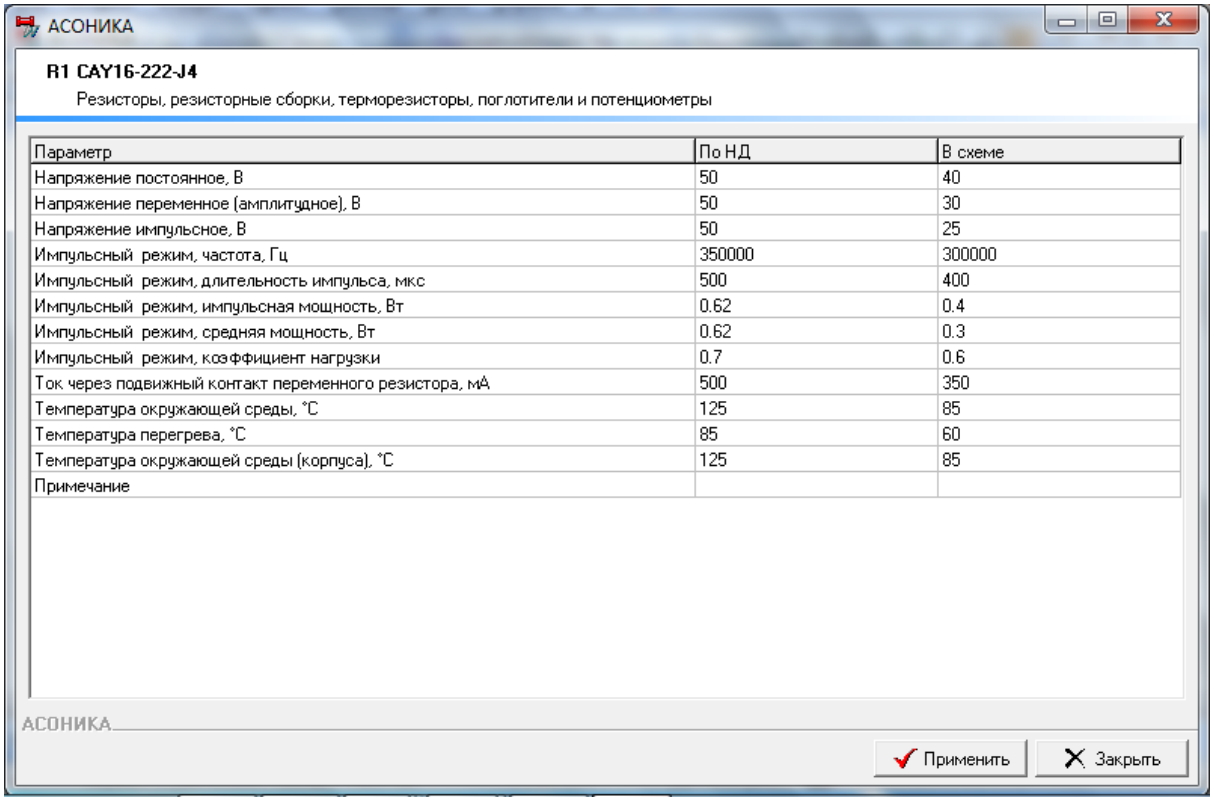
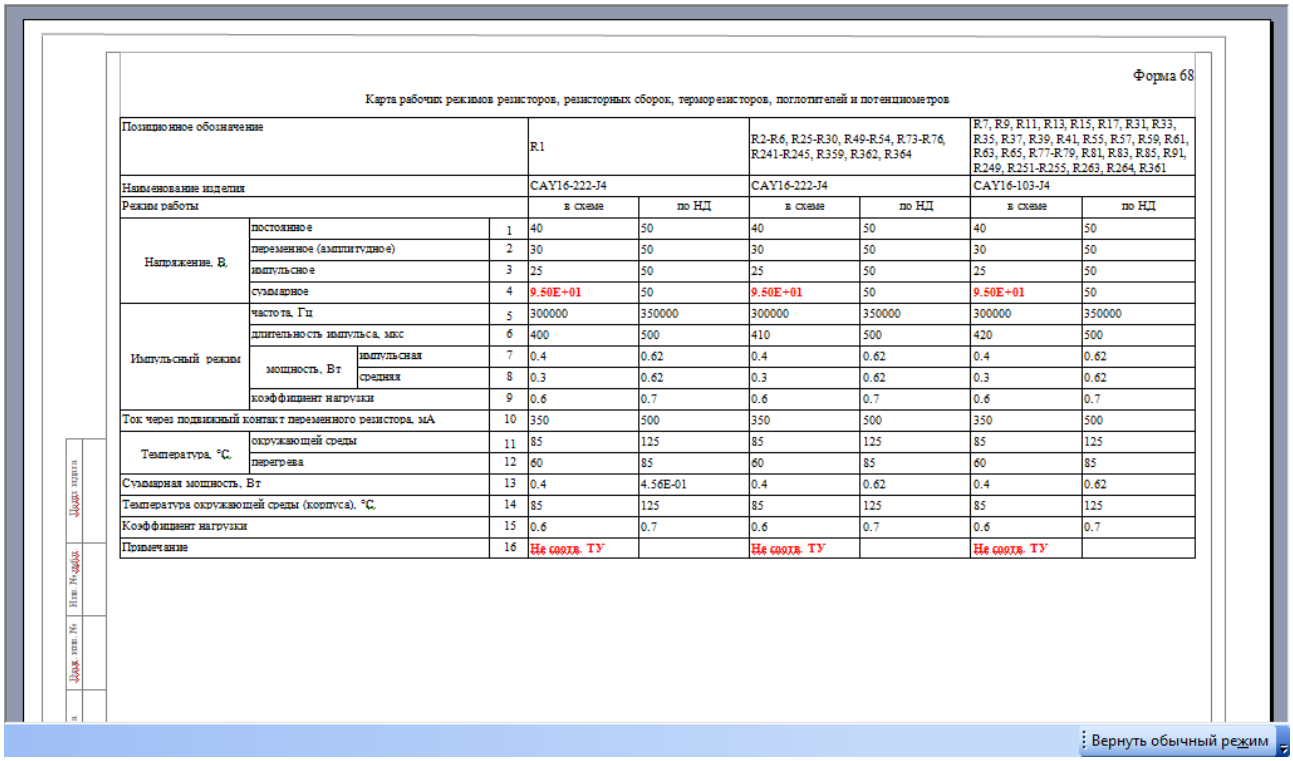


Рис. 4.52. Задание исходных данных в подсистеме АСОНИКА-Р



Форма 68

Карта рабочих режимов резисторов, резисторных сборок, терморезисторов, поглотителей и потенциометров

Позиционное обозначение				R1		R2-R6, R25-R30, R49-R54, R73-R76, R241-R245, R359, R362, R364		R7, R9, R11, R13, R15, R17, R31, R33, R35, R37, R39, R41, R55, R57, R59, R61, R63, R65, R77-R79, R81, R83, R85, R91, R249, R251-R255, R263, R264, R361	
Наименование изделия				CAY16-222-J4		CAY16-222-J4		CAY16-103-J4	
Режим работы				в схеме	по НД	в схеме	по НД	в схеме	по НД
Напряжение, В	постоянное		1	40	50	40	50	40	50
	переменное (амплитудное)		2	30	50	30	50	30	50
	импульсное		3	25	50	25	50	25	50
	суммарное		4	9.50E+01	50	9.50E+01	50	9.50E+01	50
Импульсный режим	частота, Гц		5	300000	350000	300000	350000	300000	350000
	длительность импульса, мкс		6	400	500	410	500	420	500
	мощность, Вт	импульсная	7	0.4	0.62	0.4	0.62	0.4	0.62
		средняя	8	0.3	0.62	0.3	0.62	0.3	0.62
	коэффициент нагрузки		9	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
Ток через подвижный контакт переменного резистора, мА			10	350	500	350	500	350	500
Температура, °С	окружающей среды		11	85	125	85	125	85	125
	перегрева		12	60	85	60	85	60	85
Суммарная мощность, Вт			13	0.4	4.56E-01	0.4	0.62	0.4	0.62
Температура окружающей среды (корпуса), °С			14	85	125	85	125	85	125
Коэффициент нагрузки			15	0.6	0.7	0.6	0.7	0.6	0.7
Примечание			16	Не соотв. ТУ		Не соотв. ТУ		Не соотв. ТУ	

Вернуть обычный режим

Рис. 4.53. Вывод карты рабочих режимов в подсистеме АСОНИКА-Р

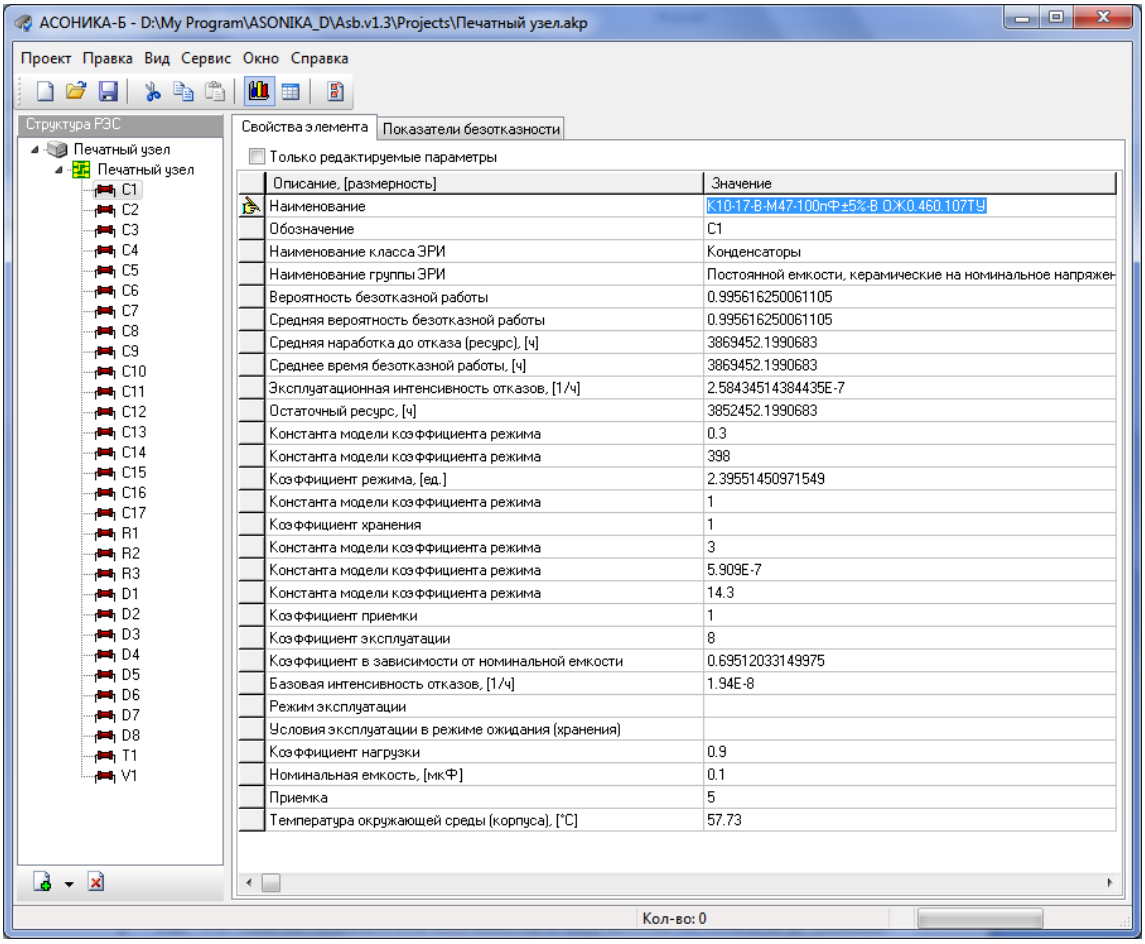


Рис. 4.54. Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: задание исходных данных

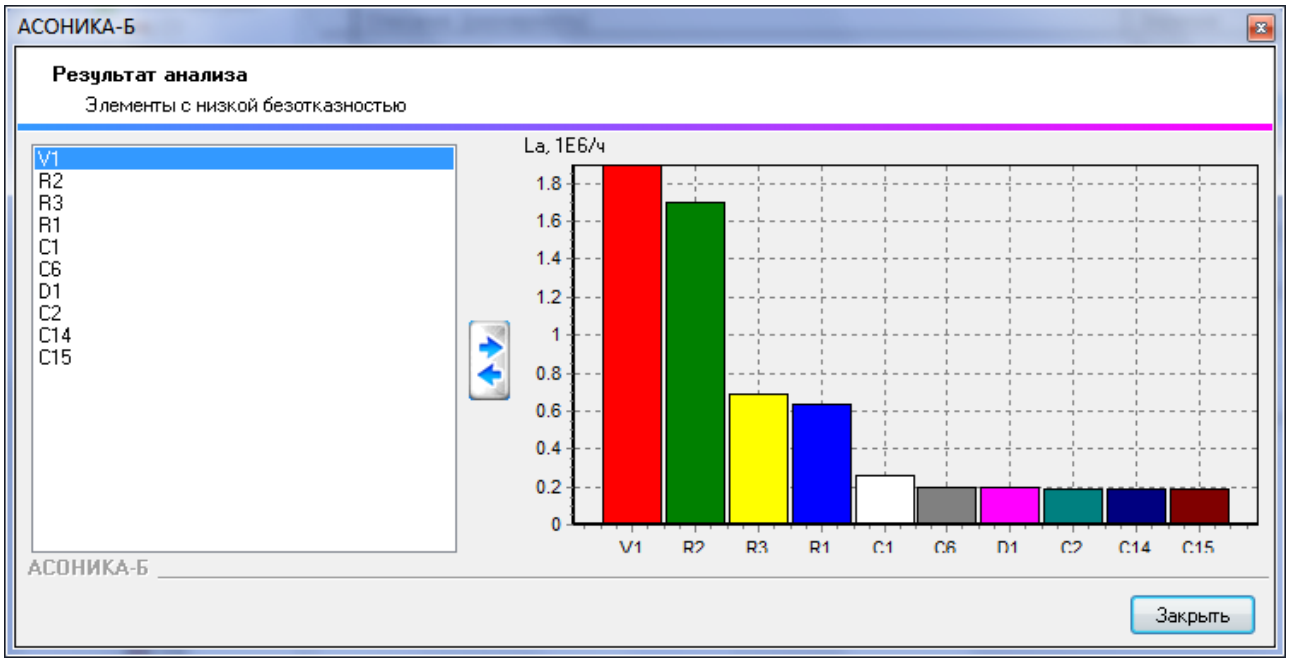


Рис. 4.55. Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: ЭРИ с низкой безотказностью

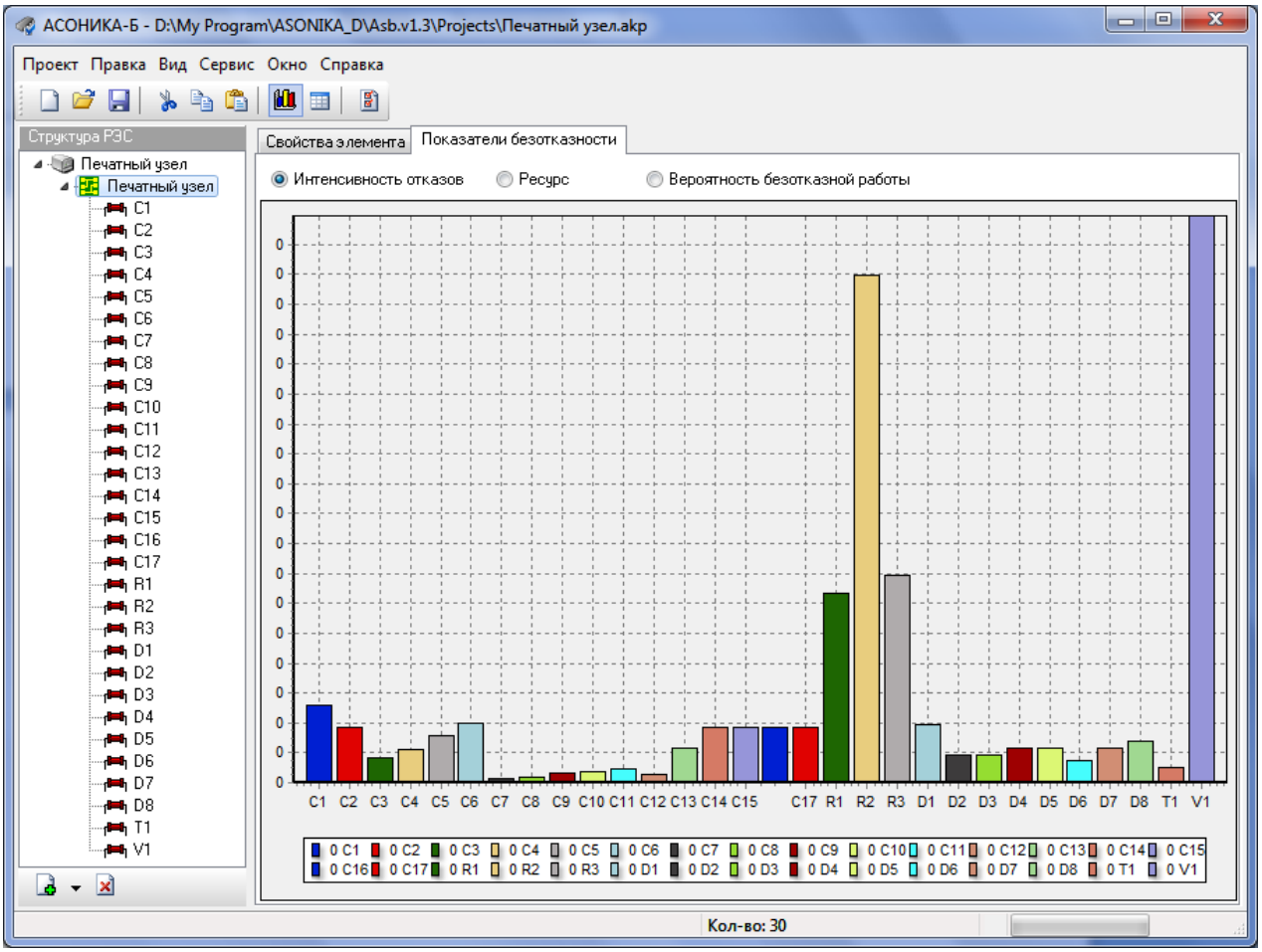


Рис. 4.56. Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: вклады ЭРИ в общую безотказность РЭС

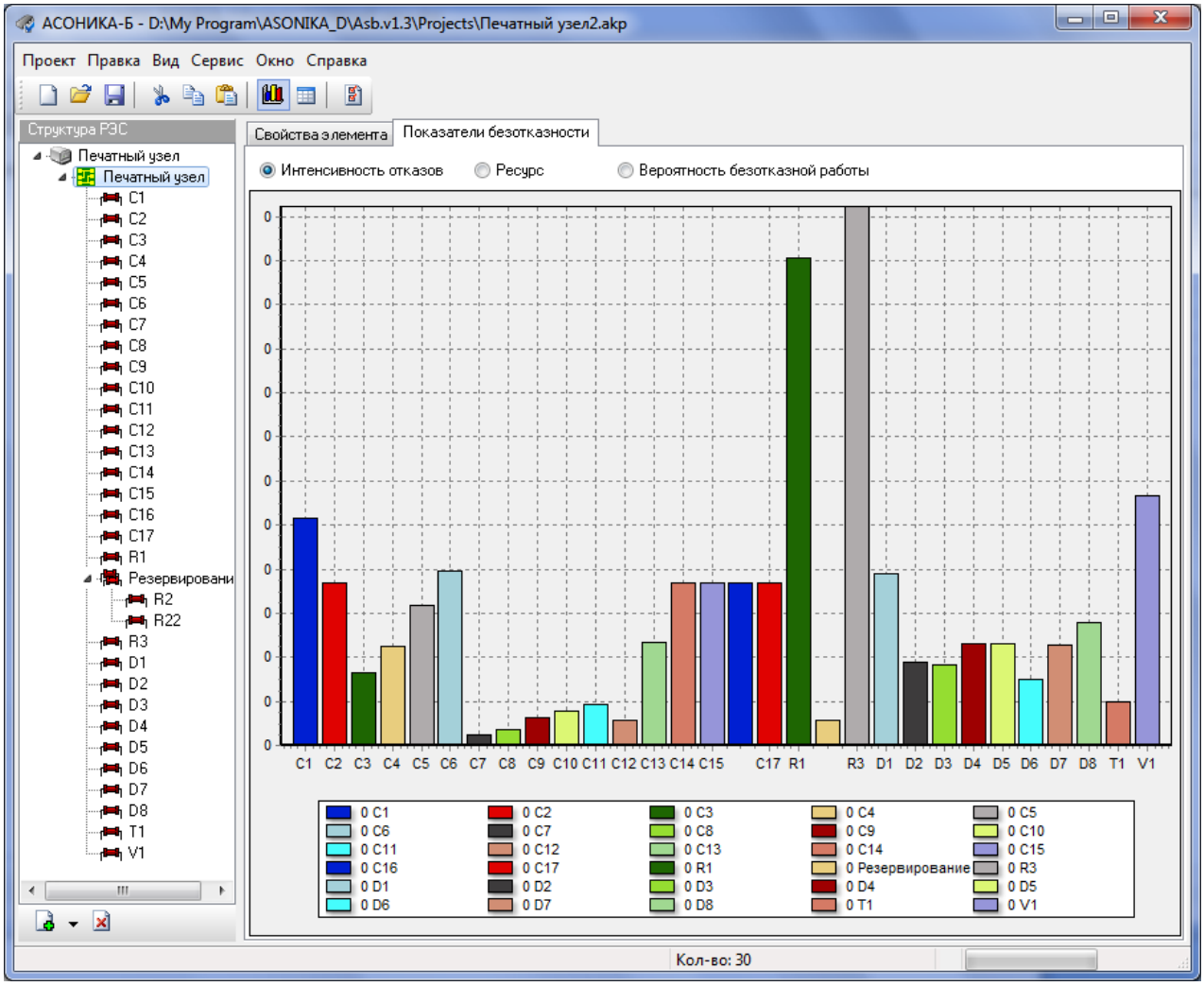


Рис. 4.57. Вклады ЭРИ в общую безотказность ПУ
после оптимизации конструкции

4.4. Модуль интеграции системы моделирования электрических процессовв схемах PSpice и подсистем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б

1) **КонверторPSpice – АСОНИКА-Т.** Интеграция системы PSpice и подсистемы анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т:

– проводится расчет мощностей тепловыделения ЭРИ по электрическим характеристикам, полученным в системе PSpice, которые сохраняются в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭРИ><Значение мощности в ваттах;

– данный текстовый файл передается в подсистему АСОНИКА-Т;

– на основе полученных мощностей в подсистеме АСОНИКА-Т рассчитываются температуры в конструкции РЭС, в том числе на каждом ЭРИ.

2) **КонверторPSpice – АСОНИКА-Б.**Интеграция системы PSpice и подсистемы анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б:

– электрические характеристики (токи, напряжения, мощности и др.), полученные в результате расчета электрической схемы в системе PSpice, сохраняются в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭРИ><Сила тока в амперах><Напряжение в вольтах><Мощность в ваттах><другие возможные электрические характеристики>;

– данный текстовый файл передается в подсистему АСОНИКА-Б;

– на основе полученных электрических характеристик в подсистеме АСОНИКА-Б рассчитываются показатели надежности РЭС, в том числе каждого ЭРИ.

3) Конвертор**PSpice – АСОНИКА-Р**. Интеграция системы PSpice и подсистемы автоматизированного заполнения карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р:

– электрические характеристики (токи, напряжения, мощности и др.), полученные в результате расчета электрической схемы в системе PSpice, сохраняются в текстовом файле следующей структуры:

<Позиционное обозначение ЭРИ><Сила тока в амперах><Напряжение в вольтах><Мощность в ваттах><другие возможные электрические характеристики>;

– данный текстовый файл передается в подсистему АСОНИКА-Р;

– на основе полученных электрических характеристик в подсистеме АСОНИКА-Р формируются карты рабочих режимов ЭРИ.

В системе PSpice проводится расчет электрической схемы и с помощью конвертора создается файл log.txt, пример которого представлен на рис. 4.58.

Структура файла ERIModes5.ini, согласно которой происходит считывание электрических параметров, имеет вид, представленный на рис. 4.59.

```
R1: 0,7104 0,7544 5,7E-5 0,000455
R10: 3,582 3,582 0,012831 0,102646
R2: 3,358 3,403 0,000289 0,002316
R3: 1,008 2,269 0,002859 0,022872
R4: 1,434 2,8615 4,1E-5 0,000328
R5: 2,904 3,732 0,00774 0,061921
R6: 0,7102 1,225 0,00015 0,0012
R7: 0,573 0,584 0,000341 0,002728
R8: 0,573 0,5841 0,000341 0,002729
R9: 0,739 1,2539 7,9E-5 0,000629
VT1: 2,846 2,35 0,496 0,00056 1,3E-5 0,000278 0,00066 0,001321
VT2: 2,096 1,434 0,662 0,001606 7E-6 0,001063 0,039507 0,079014
VT3: 1,418 0,739 0,679 0,003545 3,7E-5 0,002407 0,002518 0,005037
VD1: 5 5 0 0
C10: 1,146 1,168 353849,5 11794,983333
C11: 1,9853 1,9857 0,098664 0,003289
C12: 0,4576 0,4576 2,9E-5 1E-6
C13: 0,2214 0,2935 0,008317 0,000277
C2: 0,9316 0,9416 4,8E-5 2E-6
C3: 3,582 3,582 0,012655 0,000422
C4: 5 5 0 0
C5: 3,33 3,3304 0,000875 2,9E-5
C8: 3,358 5,314 1171943 39064,766667
C9: 0,496 0,518 153324,5 5110,816667
```

Рис. 4.58. Пример файла log.txt

```
35 3 1 6
55 1 2 6 10
58 1 2 3 4 5 17 18 20
67 1 3 9 14
68 1 3 13 15
```

Рис. 4.59. Фрагмент файла ERIModes5.ini

СтруктуруфайлаERIModes5.ini:

1-й столбец – номер формы (например, 68 – резисторы);

2-й столбец – количество передаваемых электрических параметров;

3-й столбец и последующие – передаваемые параметры (табл. 4.2).

Создадим в АСОНИКА-Р проект, содержащий ЭРИ с теми же позиционными обозначениями, что и в файле log.txt – Пример с электричеством.aem (рис. 4.60).Осуществим импорт электрических характеристик из файла log.txt (рис. 4.61).

В результате, например,получаем параметры и карты рабочих режимовдля резисторов(рис. 4.62), конденсаторов (рис. 4.63), диодов (рис. 4.64), транзисторов (рис. 4.65).

Таблица 4.2

Цифровое обозначение параметров в файле ERIModes5.ini

Номер формы	Параметр	
	Цифровое обозначение	Название и единицы измерения
55 (диоды)	1	Выпрямительный режим, постоянный или средний выпрямленный ток, мА
	2	Выпрямительный режим, максимальный импульс тока при включении, А
	6	Максимальное обратное напряжение, В
	10	Коэффициент нагрузки
58 (транзисторы биполярные)	1	Статический режим, коллектор-эмиттер, напряжение, В
	2	Статический режим, коллектор-база, напряжение, В
	3	Статический режим, эмиттер-база, напряжение, В
	4	Статический режим, коллектора ток, А
	5	Статический режим, базы ток, А
	17	Средняя мощность, Вт
	18	Импульсная мощность, Вт
	20	Коэффициент нагрузки
67 (конденсаторы)	1	Напряжение постоянное, В
	3	Напряжение импульсное, В
	9	Реактивная мощность, Вт
	14	Коэффициент нагрузки
68 (резисторы)	1	Напряжение постоянное, В;
	3	Напряжение импульсное, В;
	13	Суммарная мощность, Вт
	15	Коэффициент нагрузки

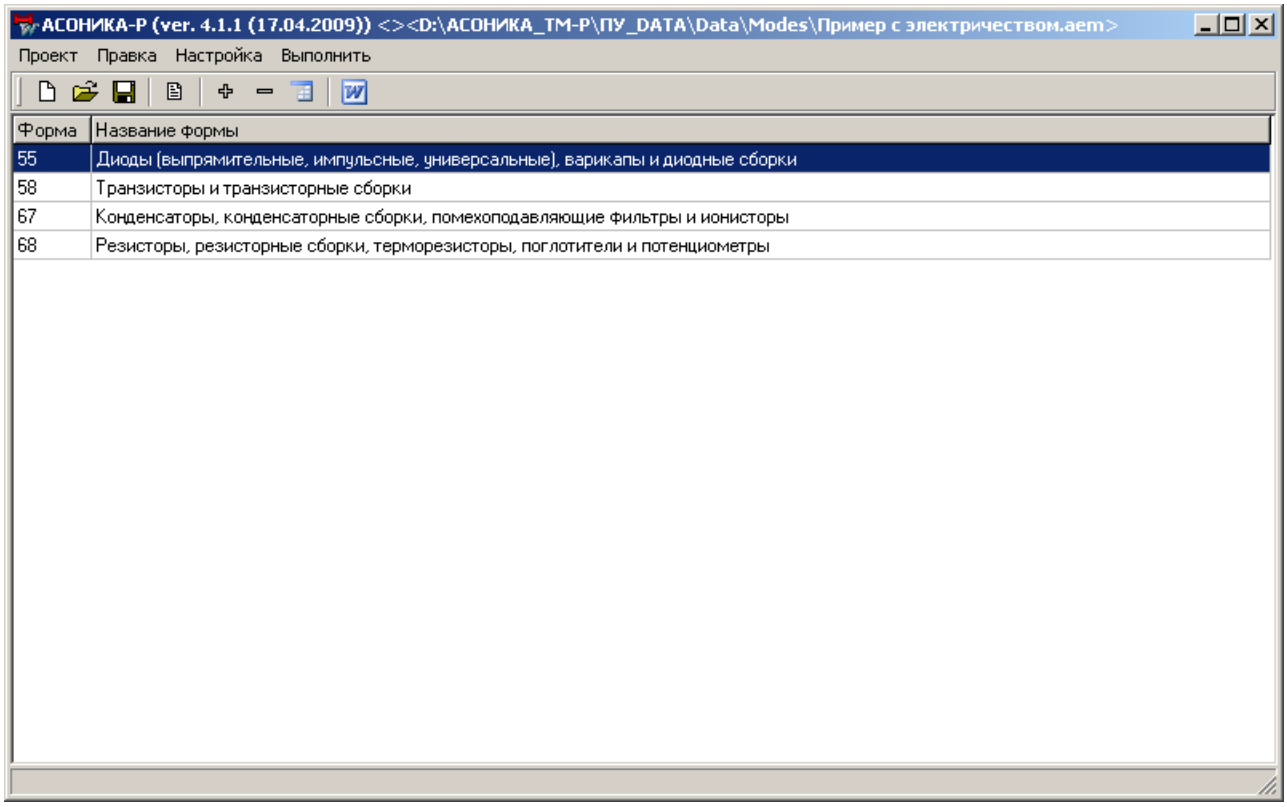


Рис. 4.60. Проект в АСОНИКА-Р

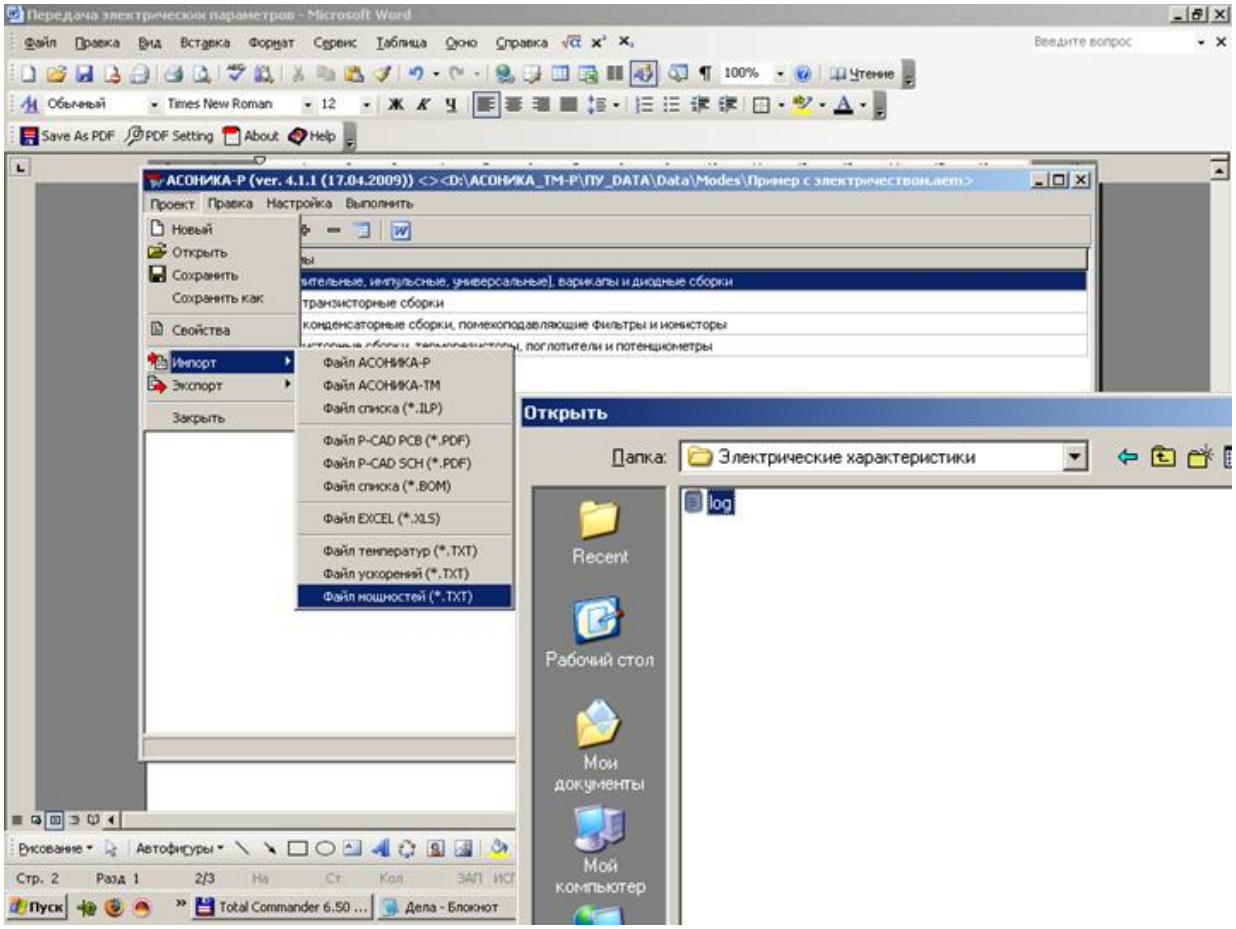


Рис. 4.61. Импорт электрических характеристик

АСОНИКА

R1 313НР1А БК0.347.256ТУ

Резисторы, резисторные сборки, терморезисторы, поглотители и потенциометры

Параметр	По НД	В схеме
Напряжение постоянное, В	12.6	0,7104
Напряжение переменное (амплитудное), В	12.6	
Напряжение импульсное, В	12.6	0,7544
Напряжение суммарное, В		
Импульсный режим, частота, Гц	350000	
Импульсный режим, длительность импульса, мкс		
Импульсный режим, импульсная мощность, Вт		
Импульсный режим, средняя мощность, Вт	0.125	
Импульсный режим, коэффициент нагрузки		
Ток через подвижный контакт переменного резистора, мА		
Температура окружающей среды, °С	100	
Температура перегрева, °С		
Суммарная мощность, Вт	=TN\4\@5{4!}	5,7E-5
Температура окружающей среды (корпуса), °С	100	
Коэффициент нагрузки		0,000455
Примечание		

АСОНИКА

Применить | Закрыть

а

Документ3 - Microsoft Word

Форма 68

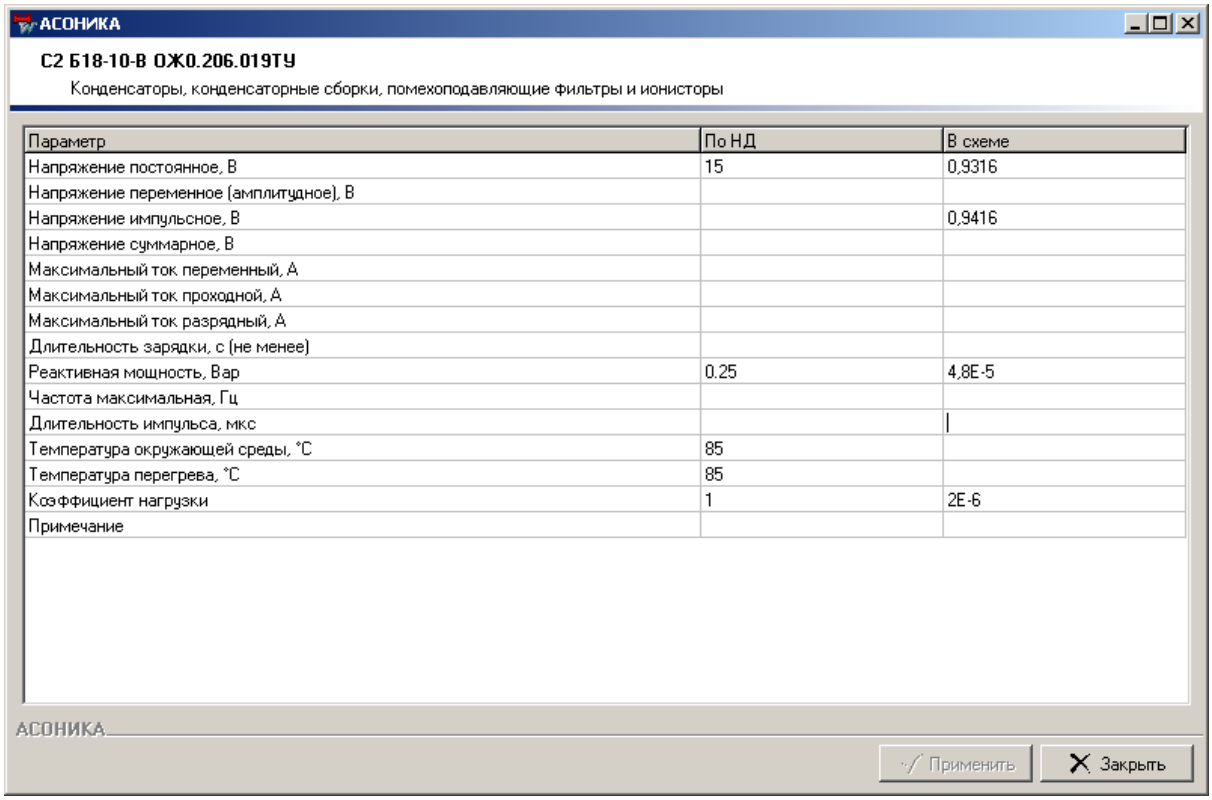
Карта рабочих режимов резисторов, резисторных сборок, терморезисторов, поглотителей и потенциометров

Позиционное обозначение				R1		R2		R3	
Наименование изделия				313НР1А БК0.347.256ТУ		313НР1А БК0.347.256ТУ		313НР1А БК0.347.256ТУ	
Режим работы				в схеме	по НД	в схеме	по НД	в схеме	по НД
Напряжение, В	постоянное		1	0,7104	12.6	3,358	12.6	1,008	12.6
	переменное (амплитудное)		2		12.6		12.6		12.6
	импульсное		3	0,7544	12.6	3,403	12.6	2,269	12.6
	суммарное		4	1.46480E+00		6.76100E+00		3.27700E+00	
Импульсный режим	частота, Гц		5		350000		350000		350000
	длительность импульса, мкс		6						
	мощность, Вт	импульсная	7						
		средняя	8		0.125		0.125		0.125
	коэффициент нагрузки		9						
Ток через подвижный контакт переменного резистора, мА			10						
Температура, °С	окружающей среды		11		100		100		100
	перегрева		12						
Суммарная мощность, Вт			13	5,7E-5	1.21875E-01	0,000289	1.21875E-01	0,002859	1.21875E-01
Температура окружающей среды (корпуса), °С			14		100		100		100
Коэффициент нагрузки			15	4.67692E-04		2.37128E-03		2.34585E-02	
Примечание			16						

Стр. 1 Разд 1 1/4 На 1,1см Ст 1 Кол 1 ЗАП ИСПР ВДЛ ЗАМ русский (Ро

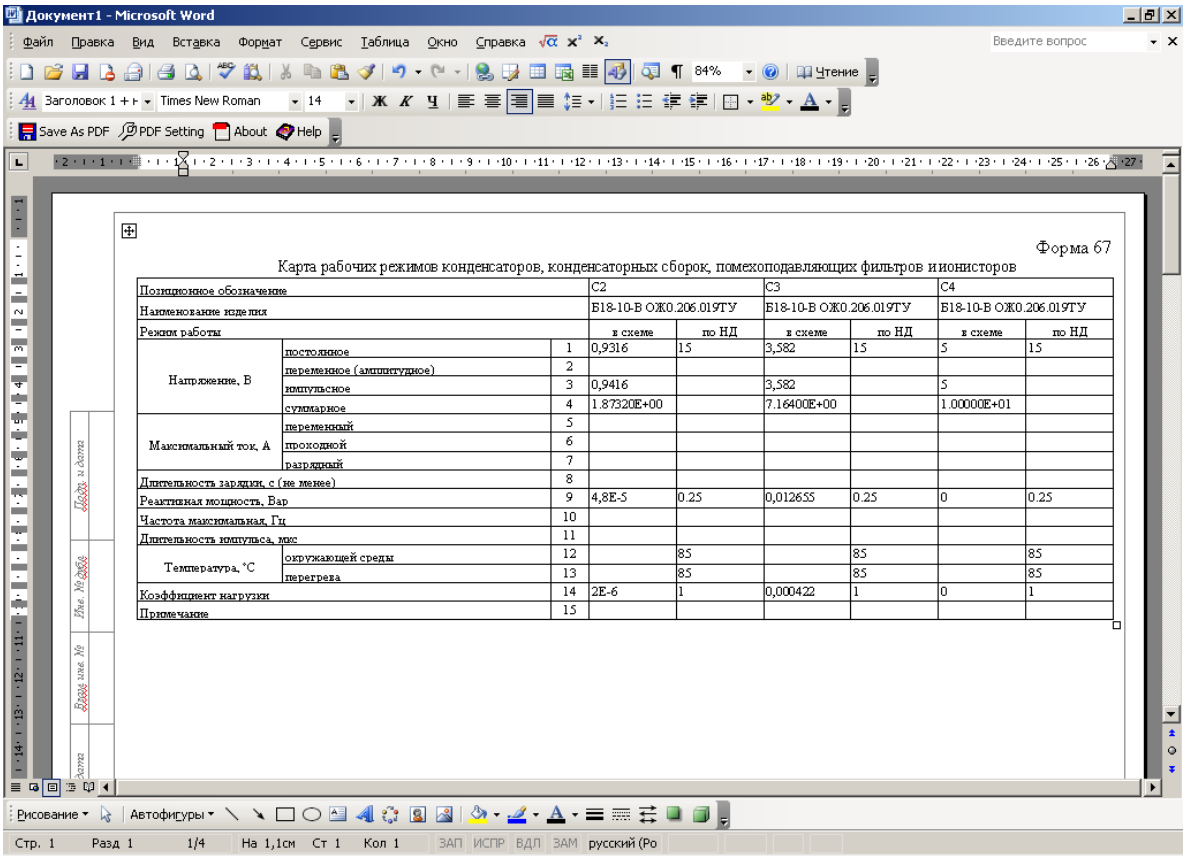
б

Рис. 4.62. Параметры, полученные в результатеконвертированияэлектрических характеристик (*а*),и карта рабочих режимов (*б*) резисторов



Параметр	По НД	В схеме
Напряжение постоянное, В	15	0,9316
Напряжение переменное (амплитудное), В		
Напряжение импульсное, В		0,9416
Напряжение суммарное, В		
Максимальный ток переменный, А		
Максимальный ток проходной, А		
Максимальный ток разрядный, А		
Длительность зарядки, с (не менее)		
Реактивная мощность, Вар	0.25	4,8E-5
Частота максимальная, Гц		
Длительность импульса, мкс		
Температура окружающей среды, °С	85	
Температура перегрева, °С	85	
Коэффициент нагрузки	1	2E-6
Примечание		

а



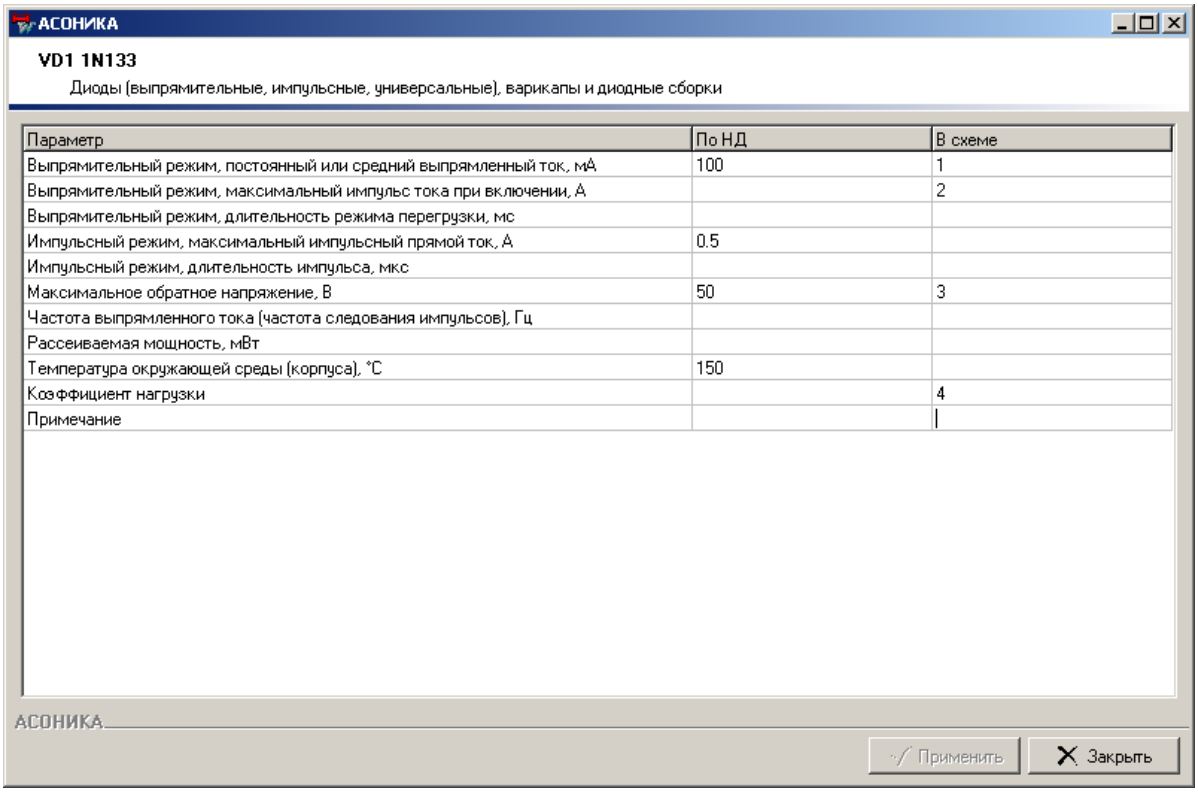
Форма 67

Карта рабочих режимов конденсаторов, конденсаторных сборок, помехоподавляющих фильтров и ионисторов

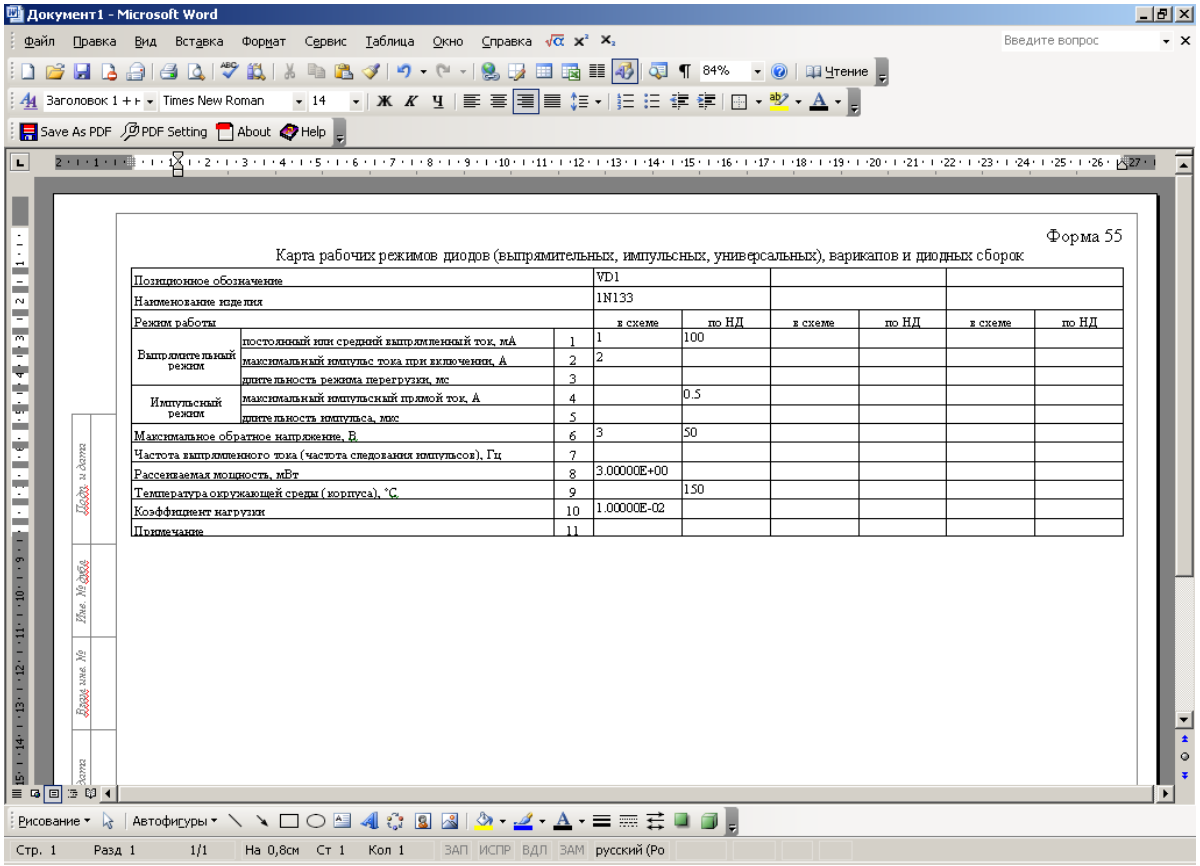
Позиционное обозначение			С2		С3		С4	
Наименование изделия			Б18-10-В ОЖ0.206.019ТУ		Б18-10-В ОЖ0.206.019ТУ		Б18-10-В ОЖ0.206.019ТУ	
Режим работы			в схеме	по НД	в схеме	по НД	в схеме	по НД
Напряжение, В	постоянное	1	0,9316	15	3,582	15	5	15
	переменное (амплитудное)	2						
	импульсное	3	0,9416		3,582		5	
	суммарное	4	1.87320E+00		7.16400E+00		1.00000E+01	
Максимальный ток, А	переменный	5						
	проходной	6						
	разрядный	7						
Длительность зарядки, с (не менее)		8						
Реактивная мощность, Вар		9	4,8E-5	0.25	0,012655	0.25	0	0.25
Частота максимальная, Гц		10						
Длительность импульса, мкс		11						
Температура, °С	окружающей среды	12		85		85		85
	перегрева	13		85		85		85
Коэффициент нагрузки		14	2E-6	1	0,000422	1	0	1
Примечание		15						

б

Рис. 4.63. Параметры, полученные в результатеконвертированияэлектрических характеристик (*а*),и карта рабочих режимов (*б*)конденсаторов



а



б

Рис. 4.64. Параметры, полученные в результатеконвертированияэлектрических характеристик(*а*),и карта рабочих режимов (*б*)диодов

АСОНИКА

VT1 159НТ1А ХМ3.456.014ТУ

Транзисторы и транзисторные сборки

Параметр	По НД	В схеме
Статический режим, коллектор-эмиттер, напряжение, В		2,846
Статический режим, коллектор-база, напряжение, В	20	2,35
Статический режим, эмиттер-база, напряжение, В	4	0,496
Статический режим, коллектора ток, А	0.01	0,00056
Статический режим, базы ток, А		1,3E-5
Динамический режим, коллектор-эмиттер, напряжение, В		
Динамический режим, коллектор-база, напряжение, В		
Динамический режим, эмиттер-база, напряжение, В		
Динамический режим, коллектора ток, А	0.04	
Динамический режим, базы ток, А		
Длительность импульса, мкс	30	
Частота следования, Гц		
Сопротивление в цепи базы, Ом		
Режим при включении и выключении, напряжение коллектор-эмиттер, В		
Режим при включении и выключении, максимальный ток коллектора, А		
Режим при включении и выключении, длительность фронта (спада), мкс		
Средняя мощность, Вт	0.075	0,000278
Импульсная мощность, Вт		0,00066
Температура окружающей среды (корпуса), °С	125	
Коэффициент нагрузки		0,001321
Примечание		

АСОНИКА

Применить | Закрыть

а

Документ1 - Microsoft Word

Форма 58

Карта рабочих режимов транзисторов и транзисторных сборок

Позиционное обозначение				VT1		VT2		VT3	
Наименование изделия				159НТ1А ХМ3.456.014ТУ		159НТ1А ХМ3.456.014ТУ		159НТ1А ХМ3.456.014ТУ	
Режим работы				в схеме	по НД	в схеме	по НД	в схеме	по НД
Статический режим	напряжение, В	коллектор-эмиттер	1	2,846		2,096		1,418	
		коллектор-база	2	2,35	20	1,434	20	0,739	20
		эмиттер-база	3	0,496	4	0,662	4	0,679	4
	ток, А	коллектора	4	0,00056	0.01	0,001606	0.01	0,003545	0.01
		базы	5	1,3E-5		7E-6		3,7E-5	
Динамический режим	напряжение,В	коллектор-эмиттер	6						
		коллектор-база	7						
		эмиттер-база	8						
	ток, А	коллектора	9		0.04		0.04		0.04
		базы	10						
Длительность импульса, мкс			11		30		30		30
Частота следования, Гц			12						
Сопротивление в цепи базы, Ом			13						
Режим при включении и выключении	напряжение коллектор-эмиттер, В		14						
	максимальный ток коллектора, А		15						
	длительность фронта (спада), мкс		16						
Средняя мощность, Вт			17	0,000278	0.075	0,001063	0.075	0,002407	0.075
Импульсная мощность, Вт			18	0,00066		0,039507		0,002518	
Температура окружающей среды (корпуса), °С			19		125		125		125
Коэффициент нагрузки			20	0,001321		0,079014		0,005037	
Примечание			21						

б

Рис. 4.65. Параметры, полученные в результатеконвертированияэлектрических характеристик (*а*),и карта рабочих режимов (*б*)транзисторов

ГЛАВА 5
ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ, БАЗА ДАННЫХ И УПРАВЛЕНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЕМ

5.1. Анализ и обеспечение электромагнитной совместимости РЭС (АСОНИКА-ЭМС)

Электромагнитная совместимостьопределяется как способность устройства, оборудования или системы функционировать удовлетворительно в их электромагнитной обстановке, не создавая недопустимых электромагнитных помех чему-либо в этой обстановке.

В концепции ЭМС выделяются источники и рецепторы помех, а также среда распространения помех от источника к рецептору. В общем случае источник помеховых электромагнитных возмущений может находиться как вне рассматриваемой электронной системы, так и внутри нее. В этом случае одна часть системы будет выступать в качестве источника, а другая – в качестве рецептора.

На все функционирующие радиоэлектронные устройства могут действовать два типа электромагнитных помех (ЭМП): естественного и искусственного происхождения. Их источниками являются различные явления природного характера,а также системы и оборудование, созданные человеком (рис. 5.1).

В любом случае источник возбуждает электромагнитное поле с определенной частотой или, что наиболее типично, в широком диапазоне частот. При взаимодействии переменного электромагнитного поля с цепями электронного средства, имеющими вполне конкретную физическую реализацию, в этих цепях наводятся токи и напряжения соответствующих интенсивностей. При превышении наведенными токами и напряжениями определенных пороговых уровней в рецепторе происходят события, приводящие к нарушениям функционирования.

Источники и рецепторы помех могут иметь различные механизмы связи. Механизмом связи называют физический принцип передачи энергии электромагнитных процессов от источника к рецептору помех. Рис. 5.2 дает представление о принципиально возможных механизмах связи.



Рис. 5.1. Виды источников ЭМП

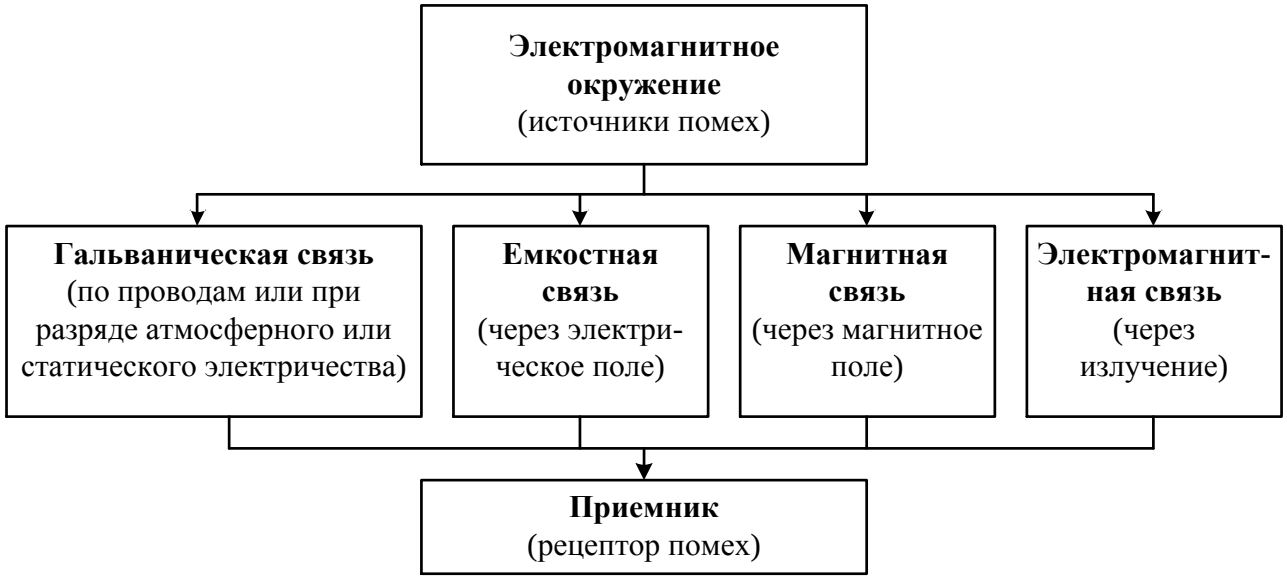


Рис. 5.2. Механизмы связи источников и приемников помех

Гальваническая связь осуществляется через ток или напряжение. Связи через электрическоеи через магнитное поля относятся к квазистатическому диапазону, когда электрическое и магнитное поля независимы друг от друга. Связь через излучение возникает, если приемник находится в дальнем поле, а электрическое и магнитное поля возникают одновременно и связаны между собой.

Помимо механизмов, различают пути связи. Помехи могут проникать в устройство или, наоборот, передаваться в окружающую среду различными путями (рис. 5.3):

– в виде гальванической связи через сеть электроснабжения, информационные входы и выходы, через систему заземления, через разряды атмосферного и статического электричества;

– в виде емкостной, магнитной и электромагнитной связей через поля в окружающем пространстве.

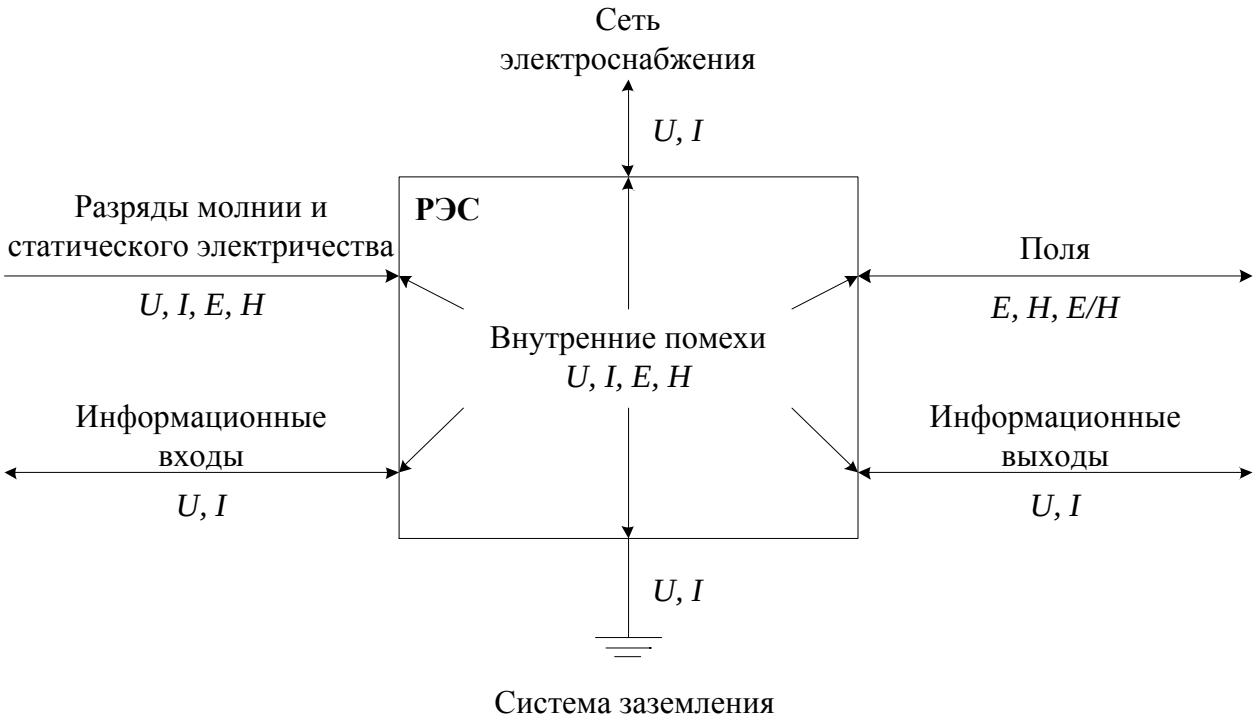


Рис. 5.3. Пути проникновения и излучения помех в электронное устройство:
I, U – ток и напряжение (гальваническая связь);
E, H, E/H – электрическое, магнитное и электромагнитное поля

На практике в большинстве случаев действуют одновременно несколько путей связи, и один путь может содержать несколько механизмов связи, что существенно затрудняет правильное объяснение появления помех.

В настоящее время вследствие постоянного увеличения количества разнообразной электронной техники все большее значение приобретают проблемы защиты радиоэлектронной аппаратуры от внешних электромагнитных воздействий, так как в окружающей среде становится все больше и больше источников электромагнитных помех, и минимизации помех, создаваемых аппаратурой. Восприимчивость к помехам сегодня является основной проблемой электронных устройств многих видов, особенно тех, для которых обеспечение нормального функционирования является жизненно важным по причинам, связанным с безопасностью (например, системы управления полетами) или экономикой (банковское дело и телекоммуникационные сети).

При проектировании электронной аппаратуры (ЭА) принципиально невозможно добиться ее полной защиты от всех электромагнитных воздействий, как и исключения создаваемых ею помех. Однако можно спроектировать изделие так, что оно будет функционировать в 80–90 % случаев и не создавать помех другим устройствам, то есть, защищая изделие от внешних электромагнитных возмущений, мы тем самым одновременно препятствуем выходу помех, создаваемых устройством, во внешнюю среду.

В общем случае техническое задание на разрабатываемое устройство содержит требования на помехоустойчивость и помехоэмиссию согласно ГОСТам и ОСТам. Для различных областей техники существуют соответственно различные стандарты, объединенные названием «Совместимость технических средств электромагнитная».

Согласно требованиям ГОСТ 29073-91, технические средства должны сохранять работоспособность в условиях эксплуатации при воздействии электромагнитных помех, создаваемых промышленным оборудованием различного назначения, сетью электропитания, молниевыми и электростатическими разрядами. К электромагнитным помехам относятся:

– прерывания, провалы, выбросы и колебания напряжения электропитания;

– переходные (импульсные) напряжения в линиях электропитания, сигнальных линиях и линиях управления;

– радиочастотные электромагнитные поля как импульсного характера (создаваемые радиолокационными станциями), так и непре-

рывные, воздействующие непосредственно на оборудование или на присоединенные кабели;

– электростатические разряды (ЭСР), создаваемые заряженными объектами или людьми;

– низкочастотные электрические или магнитные поля.

Таким образом, перед проектировщиком стоит задача на раннем этапе проектирования (на стадии технического проекта) проанализировать устойчивость создаваемой аппаратуры к электромагнитным помехам указанных видов. Устойчивость ЭА к помехам зависит от качества фильтрации входных сигналов управления и питания (импульсные электромагнитные помехи, динамические изменения напряжения сети электропитания), качества экранирования (излучаемые радиочастотные электромагнитные помехи) и качества заземления (помехи, генерируемые электростатическими разрядами).

Проанализировать устойчивость ЭА к воздействию ЭМП можно двумя путями: путем постановки эксперимента (натурных испытаний) и путем математического моделирования.

Методика проведения испытаний на воздействие ЭМП и необходимое для этого оборудование подробно описаны в соответствующих ГОСТах и ОСТах. В общем случае для проведения испытаний опытный образец проектируемого изделия помещается в соответствующую электромагнитную обстановку (ЭМО), которая оказывает на него некоторое влияние. Целью испытаний является задача определить, может ли изделие функционировать надлежащим образом в соответствующей ЭМО.

Несомненным достоинством натурных испытаний на воздействие ЭМП является достоверность полученных результатов. В настоящее время только положительные результаты испытаний согласно ГОСТу в аттестованной государством лаборатории являются основанием для выдачи производителю изделия сертификата соответствия требованиям ЭМС.

Однако для решения комплексной задачи обеспечения стойкости проектируемой ЭА к электромагнитным воздействиям не достаточно лишь проведения испытаний на этапе опытного образца. Спектр электромагнитных воздействий при испытаниях может быть не совсем полным, не учитывать специфики конкретной ЭМО, в которой предполагается эксплуатировать изделие. К тому же испытания на стойкость к ЭМП в большинстве случаев выявляют несоответствие

проектируемой ЭА требованиям ГОСТа. Вследствие этого разработчикам приходится вносить соответствующие изменения в конструкцию либо электрическую схему изделия (зачастую и в конструкцию, и в электрическую схему), вновь изготавливать доработанный образец и подвергать его испытаниям. Такая процедура может повторяться не один раз, что приводит к очень большим затратам времени (до нескольких лет) и денежных средств (до нескольких миллионов рублей).

Альтернативой такому подходу является математическое моделирование паразитных электромагнитных процессов, происходящих в ЭА. Достоинствами математического моделирования являются прежде всего его дешевизна по сравнению с натурными испытаниями, ведь не нужно изготавливать опытный образец; скорость – вносить изменения в схему и конструкцию можно за несколько часов, ведь изменяется только модель; также возможно значительное сокращение персонала, занятого на испытаниях, – все работы по моделированию может выполнять один человек должной квалификации. Однако применение моделирования электромагнитных процессов требует очень тщательного выбора метода математического моделирования и программного обеспечения, его реализующего, и правильной постановки задачи. В случае неправильного выбора метода либо неправильной постановки задачи можно получить расхождение с экспериментом на несколько порядков.

В общем случае оценка влияния внешнего электромагнитного поля на исследуемое изделие сводится к решению граничных задач электродинамики – то есть задач о распространении электромагнитных волн в неоднородной среде.

На данный момент на мировом рынке представлено около 150 различных программ и программных комплексов, так или иначе решающих задачи электродинамики. Среди них имеются как узкоспециализированные инструменты, призванные решать конкретную задачу или класс задач (например, расчет антенн в программеMAGMAS 3D), так и поистине универсальные программные комплексы, охватывающие практически весь спектр задач электродинамики, вплоть до расчета заряженных частиц (CSTSTUDIOSUITE).

На нынешний день все четче отслеживается тенденция к сокращению количества узкоспециализированных программ, решающих

задачи электродинамики, к расширению спектра решаемых задач, к усложнению пользовательского интерфейса и, как следствие, существенному увеличению цены на программное обеспечение (ПО), а также значительному увеличению времени, необходимого инженеру, чтобы начать эффективно использовать тот или иной программный комплекс. Анализ существующих решений на рынке программного обеспечения также показал, что на данный момент отсутствуют программные комплексы, специализированные под задачи ЭМС.

Таким образом, актуальной становится задача создания программного комплекса, позволяющего на уровне пользователя-разработчика ЭА быстро решать наиболее распространенные задачи по обеспечению стойкости ЭА к внешним электромагнитным воздействиям, удобного в работе и простого в изучении, и оперативно в процессе разработки принимать решение о внесении изменений в конструкцию. В данной работе рассматривается методическое, лингвистическое и программное обеспечение, разработанное для решения задачи определения эффективности экранирования корпусом ЭА внешнего радиочастотного электромагнитного поля.

Для того чтобы решить эту задачу, необходимо создать модель, в которой бы нашли отражение все необходимые для электродинамического моделирования параметры реальной ЭА, такие как ее пространственная конструкция, электрофизические параметры материалов, из которых состоит ЭА, а также параметры воздействия и граничные условия. Затем необходимо произвести разбиение объема модели на конечные элементы с условием соответствия конечно-элементной модели исходной. На нынешний день не существует методики автоматизированного синтеза моделей ЭА для анализа эффективности экранирования. Все современные программные комплексы предлагают пользователю самостоятельно настраивать все параметры модели, что, с одной стороны, позволяет проводить более тонкую настройку, а с другой – для изучения всех возможных настроек и параметров требуется длительное время, что является серьезным недостатком.

Поэтому, для того чтобы написать эффективную программу для расчета экранов, необходимо сначала разработать методику создания модели ЭА, пригодной для анализа.

Методика создания модели ЭА.Эффективность экранирования электрического поля вычисляется с помощью следующей формулы:

$$S = 20\lg\frac{E_0}{E_Э}, \qquad (9.1)$$

где E_0 – напряженность электрического поля вне корпуса;

$E_Э$ – напряженность электрического поля внутри корпуса.

Аналогично определяется эффективность экранирования для магнитного поля. Таким образом, чтобы определить эффективность экранирования, необходимо найти напряженность электрического и магнитного полей вне и внутри пространства корпуса. Для решения такой задачи в трехмерной структуре необходимо использовать один из численных методов электродинамики. В данной работе применяется метод конечных элементов.

Применяющаяся в современной технике ЭА представляет собой довольно сложные конструкции (рис. 5.4), состоящие из двух и более крышек, имеющие скругления, ребра, отверстия произвольной формы, проушины для крепления.

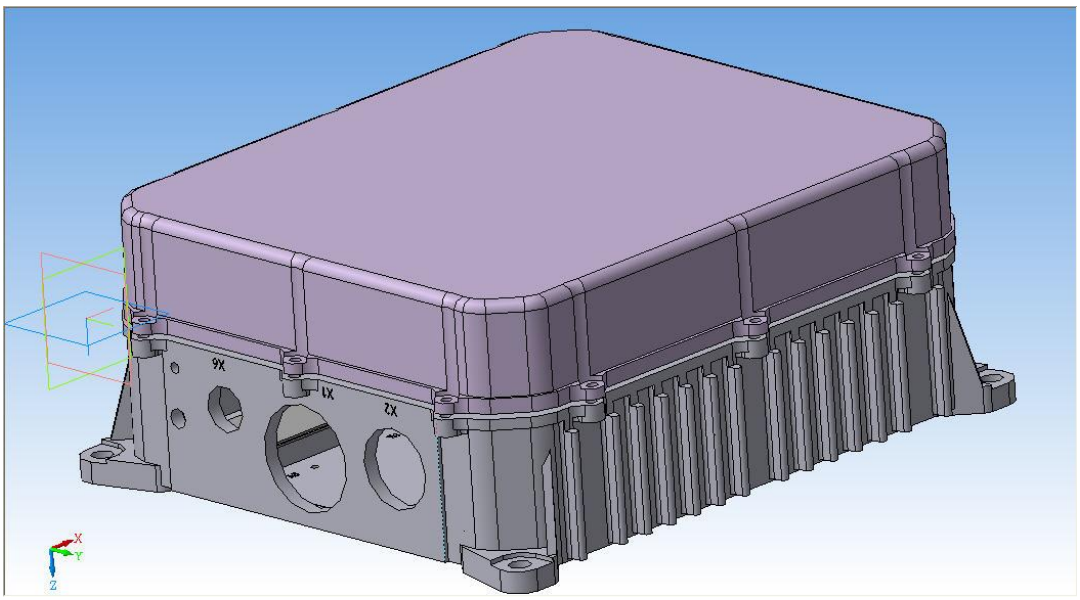


Рис. 5.4. Трехмерная модель корпуса ЭА

Такую модель очень проблематично использовать непосредственно для расчета, так как она содержит большое количество деталей, размер которых мал по сравнению с размером всей модели. Наличие таких деталей потребует огромного количества конечных элементов (порядка нескольких миллионов), что сделает невозможным расчет такой модели в приемлемые сроки на современных рабочих станциях. Поэтому перед инженером-расчетчиком стоит нетривиальная задача создания модели ЭА, пригодной для электрофизического моделиро-

вания, позволяющей с приемлемой точностью и в разумные сроки провести расчет результата электромагнитных воздействий на прибор. Такие модели не должны быть слишком детальными, а с другой стороны, не должны быть слишком упрощены, в этом случае результаты моделирования и натурного эксперимента могут значительно (на порядок или больше) различаться.

На основе требований, предъявляемых к моделям ЭА различными системами электрофизического моделирования и практическим наблюдениям, был разработан алгоритм преобразования трехмерной модели из конструкторской документации в модель, пригодную для расчета методом конечных элементов (рис. 5.5, 5.6).

Итак, первым шагом данного алгоритма является определение диапазона частот поля (f_{min} … f_{max}), воздействию которого будет подвергаться данный корпус. Диапазон частот воздействий при испытаниях на устойчивость к электромагнитному полю указан в соответствующих ГОСТах по ЭМС. Для каждого типа аппаратуры (оборудование информационных технологий или электроэнергетическое оборудование) и места ее применения (на подвижном объекте или стационарно) существует соответствующий стандарт, определяющий диапазон частот воздействующего электромагнитного излучения.

Вторым шагом является исключение из трехмерной модели корпуса выступающих частей. Такими частями обычно бывают ребра охлаждения, ручки для переноски, проушины для крепления и т. п. Выступающие части не оказывают влияния на поле внутри корпуса, поэтому их можно смело исключать из модели для уменьшения количества конечных элементов.

Третьим шагом является анализ несквозных отверстий и различных канавок на стенках корпуса. Если оставшаяся толщина стенки корпуса больше толщины скин-слоя (глубины проникновения поля в металл) на частотеf_{min}, то данное отверстие можно исключить из модели. Толщина скин-слояΔна частоте fопределяется по формуле

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}},$$

где μ и σ–абсолютные магнитная и удельная проводимость металла.

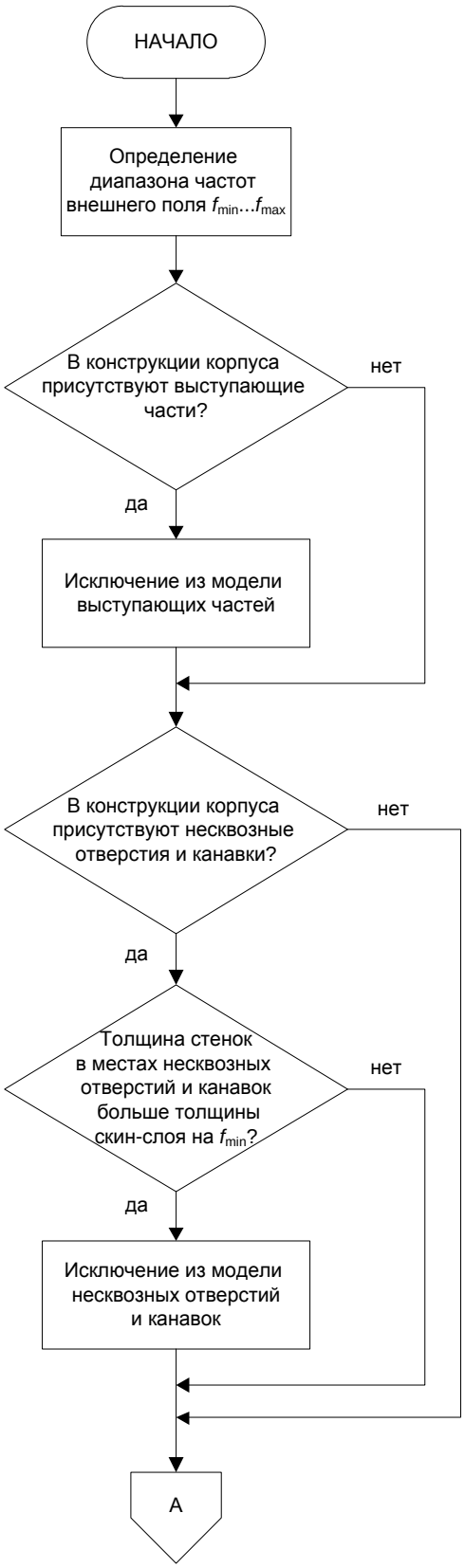


Рис. 5.5. Алгоритм создания модели корпуса ЭА, предназначенной для расчета эффективности экранирования электромагнитногополя методом конечных элементов (начало)

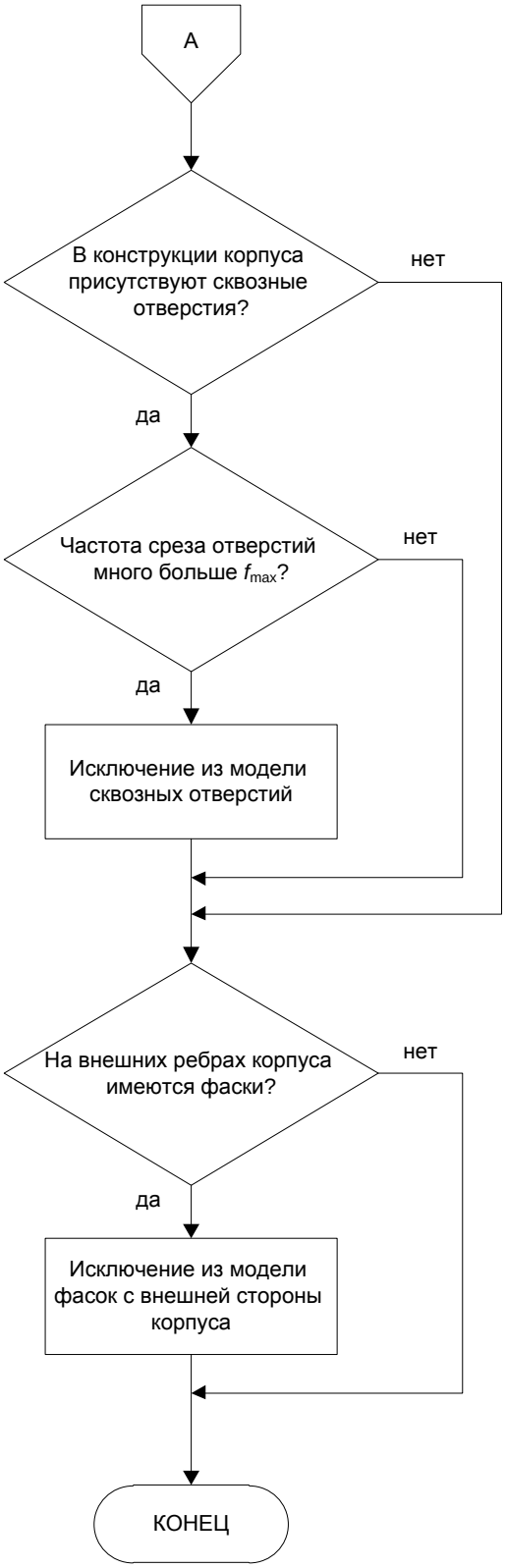


Рис. 5.6. Окончание

Затем проводится анализ сквозных отверстий в стенках корпуса. Отверстие в металлической стенке представляет собой волноводный фильтр с частотой среза (МГц), рассчитывающейся по формулам

$$f_{\text{ср}} = \frac{1{,}75 \cdot 10^5}{D}, \tag{9.2}$$

$$f_{\text{ср}} = \frac{1{,}5 \cdot 10^5}{W}. \tag{9.3}$$

С помощью (9.2) можно рассчитать частоту среза для круглого отверстия (D – диаметр отверстия), с помощью (9.3) – для прямоугольного (W – наибольший размер).

Если рассчитанная частота среза много больше$f_{\max}$, то отверстие можно исключить из модели, так как колебания с частотой ниже частоты среза значительно ослабляются и практически не влияют на картину поля внутри корпуса. Например, для круглого отверстия диаметром 5 мм частота среза будет равна 35 ГГц, что значительно превышает максимальную частоту воздействующего поля, которая обычно лежит в пределах 5 ГГц. Таким образом, это отверстие можно исключать из модели.

Если на ребрах исследуемого корпуса имеются фаски, как видно из рис. 5.4, то в модели, предназначенной для электромагнитного анализа, их делать не стоит, так как это потребует дополнительного числа конечных элементов, что приведет к необоснованному увеличению времени расчета без существенного увеличения точности.На рис. 5.7 показана трехмерная модель корпуса прибора, подготовленная к дальнейшим шагам по электродинамическому моделированию.

Также в трехмерную модель конструкции следует включить воздушное пространство как внутри корпуса, так и снаружи. Расстояние от стенок корпуса до границ окружающего воздушного пространства должно быть не менее 1/6λ на наименьшей частоте. Например, если частота падающей плоской волны равна 1 ГГц, тогда λ = 0,3 м, следовательно, расстояние до границы воздушного пространства должно составлять 0,05 м.

Следующим шагом по созданию электродинамической модели является назначение электрофизических свойств материалов объемам счетной области.

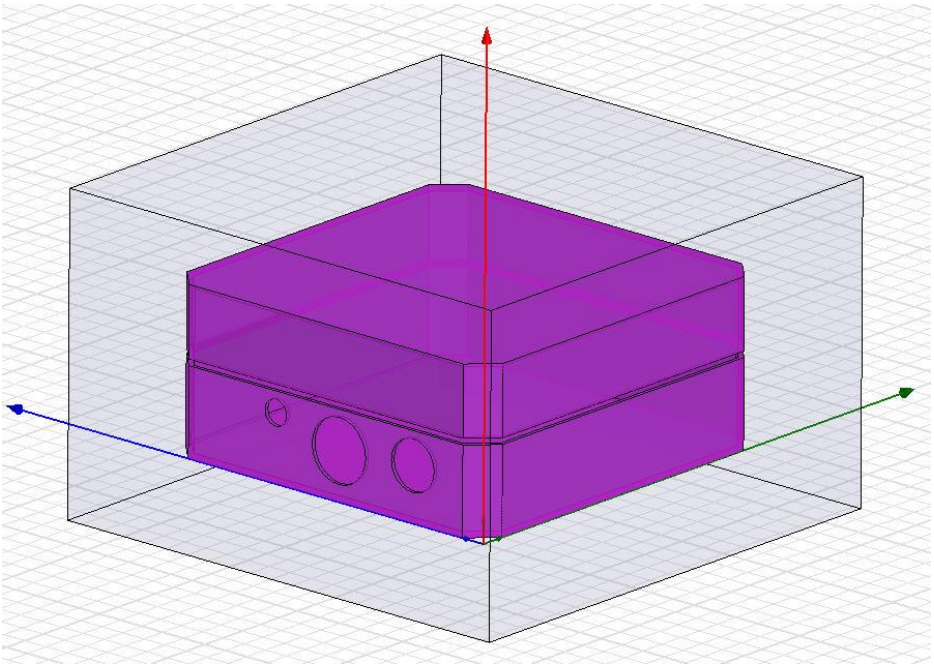


Рис. 5.7. Трехмерная модель корпуса прибора с окружающим пространством для конечно-элементного расчета

Назначение материалов.Для того чтобы решить граничную задачу электродинамики, то есть найти векторы $\vec{E}$, $\vec{H}$, удовлетворяющие в некоторой области уравнениям Максвелла и соответствующим граничным условиям, необходимо знать электрофизические параметры этой области (среды).

Из уравнений Максвелла видно, что в общем случае среда описывается четырьмя тензорами $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$. Тензор в данном случае – это матрица размерностью 3×3, связывающая компоненты векторов, определенных в трехмерном пространстве. Запись тензора зависит от того, в какой системе координат это делается. Наиболее распространена прямоугольная система координат с осями Ox, Oy, Oz. В этой системе компоненты тензора характеризуются индексами x, y, z, например:

$$\hat{\varepsilon}_a = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}.$$

Компоненты тензоров $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$ являются действительными числами, тогда как компоненты тензоров $\dot{\hat{\varepsilon}}_a$, $\dot{\hat{\mu}}_a$ уже комплексные числа. Мнимые части определяются тензорами электрической и маг-

нитной проводимостей. Они описывают свойство среды рассеивать электромагнитную энергию, то есть поглощать ее, преобразуя в тепловую энергию.

Обычно в программных продуктах, реализующих решение задач электродинамики, тензоры $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$ для различных материалов содержатся в специальной базе данных, из которой они потом берутся для расчета.

Таким образом, шаг назначения материалов в методике по созданию моделей для расчета эффективности экранирования является не чем иным, как заданием тензоров $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$ для соответствующих объемов, моделирующих тот или иной материал.

Поверхности и граничные условия на них. Для описания произвольной поверхности вводят локальную систему координат t, s, n (рис. 5.8).

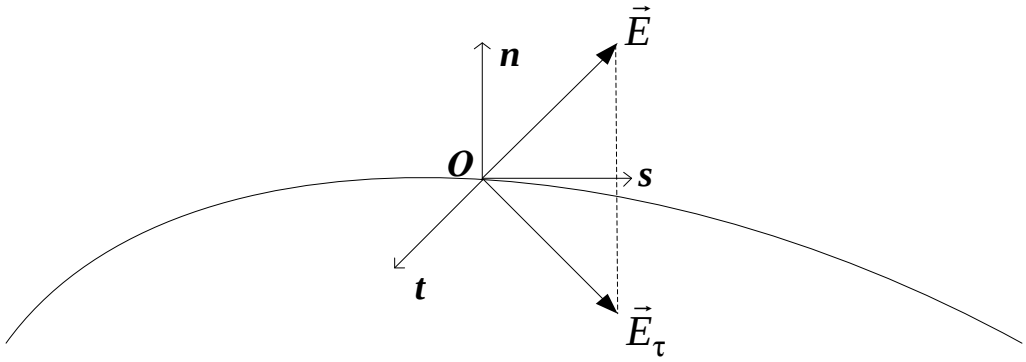


Рис. 5.8. Поверхность и локальная система координат

Тогда произвольный вектор $\vec{E}$ раскладывается на нормальную компоненту E_n и тангенциальный вектор $\vec{E}_\tau$, лежащий в плоскости tOs. Тангенциальный (касательный) вектор $\vec{E}_\tau$ имеет две компоненты E_τ, E_s. Граничные условия формулируются обычно для компонент E_τ, E_s и аналогично для касательных компонент магнитного поля.

Поверхность раздела двух сред. Граничные условия на поверхности раздела двух сред с разными диэлектрическими и магнитными свойствами, которые могут быть также анизотропными средами, имеют следующий вид:

$$\vec{E}_{\tau 1} = \vec{E}_{\tau 2},$$

$$\vec{H}_{\tau 1} = \vec{H}_{\tau 2}.$$

Индексы 1, 2 соответствуют полям по разные стороны от границы двух сред. Таким образом, касательные компоненты электромагнитного поля на границе раздела сред непрерывны.

Идеальная электрическая и идеальная магнитная стенки. В наиболее простой форме граничные условия записываются для идеализированных поверхностей: идеальной магнитной и идеальной электрической стенок. Идеальная электрическая стенка является моделью поверхности металла без потерь, то есть металла с бесконечной проводимостью. Для нее граничные условия имеют следующий вид:

$$\vec{E}_{\tau} = 0.$$

Идеальная магнитная стенка является еще более идеализированным объектом. С ее помощью можно было бы моделировать поверхность так называемого идеального магнитного проводника, который имеет бесконечную магнитную проводимость. Однако из-за отсутствия в природе магнитных зарядов магнитные проводникипока не известны. Тем не менее понятие магнитной стенки оказывается полезным при решении электродинамических задач.С ее помощью можно вводить плоскости симметрии модели, то есть считать поле только в одной половине (при центральной симметрии, например). Граничные условия на магнитной стенке имеют следующий вид:

$$\vec{H}_{\tau} = 0.$$

Особенностью идеальных проводников является то, что поле не проникает внутрь таких сред. Это приводит к тому, что поле при пересечении поверхности идеального проводника (и не только) терпит скачок (рис. 5.9).

На рис. 5.9 идеальные проводники располагаются слева. Хорошо видно, что на поверхности идеальной электрической стенки возникает скачок касательного магнитного поля, а касательное электрическое поле непрерывно из-за условий (9.4). Наоборот, на поверхности магнитного проводника разрывно касательное электрическое поле.

В электродинамике разрыв компонент поля эквивалентен появлению токов. В случае разрыва тангенциальных компонент возникают поверхностные токи. На электрической стенке текут электриче-

ские токи, а на магнитной – магнитные. Особенностью поверхностных токов является то, что они текут в бесконечно тонком слое, распределенном вдоль поверхности.

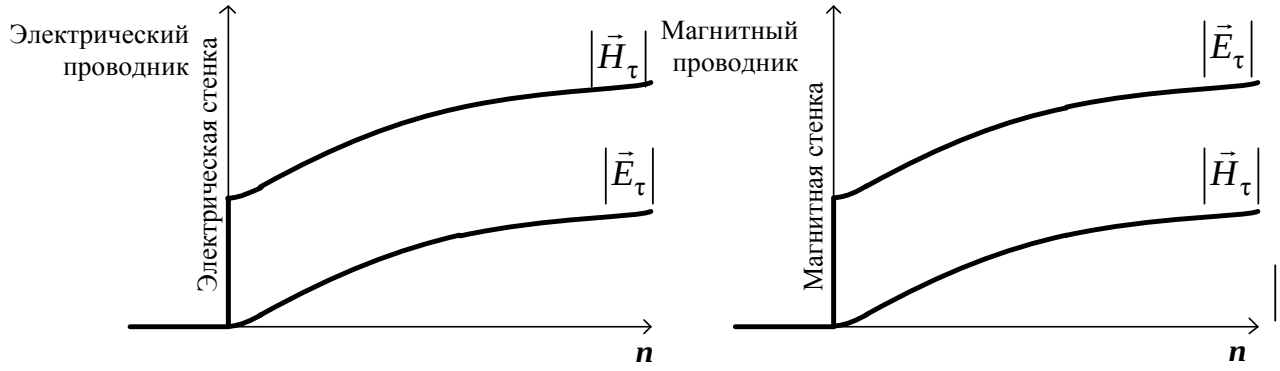


Рис. 5.9. Поля вблизи поверхности идеальных проводников

Поверхностные токи связаны с тангенциальными компонентами полей следующим образом:

$$\vec{j}^{\,e} = (\vec{n} \times \vec{H}_\tau),$$
$$\vec{j}^{\,m} = -(\vec{n} \times \vec{E}_\tau), \qquad (9.4)$$

где $\vec{j}^{\,e,m}$ – плотности поверхностных токов.

Идеально согласованные слои. Говоря о решении задачи нахождения величины поля, наведенного внешним источником в закрытых структурах, какими являются большинство корпусов ЭА, нельзя не упомянуть о проблеме излучения волн в свободное пространство. Дело в том, что число конечных элементов, применяемых в модели, ограничено, то есть невозможно напрямую смоделировать излучение волн в бесконечность. Поэтому широкое применение в численной электродинамике нашли такие граничные условия, которые поглощают излучаемые, а также переотраженные волны из счетной области. Такие условия получили название идеально согласованных слоев.

Источники возбуждения. В тот момент, когда построена трехмерная модель исследуемой области, назначены материалы и граничные условия, встает вопрос о передаче энергии электромагнитной волны в структуру, то есть о ее возбуждении. В вычислительной электродинамике существует несколько способов ввода энергии в вычислительный объем, зависящих от типа решаемой задачи: волно-

водный порт, дискретный порт, падающая волна, источник напряжения, источник тока, внутреннее поле смещения. В задачах нахождения наведенного поля внутри замкнутых структур, какими являются корпуса ЭА, используется только возбуждение падающей волной.

Падающая волна. Падающая (плоская) волна – это волна, которая распространяется в одном направлении и однородна в перпендикулярном направлении к его направлению распространения. Угол, под которым волна падает на структуру, называется углом падения. Уравнение падающей волны имеет следующий вид:

$$\boldsymbol{E}_{inc} = \boldsymbol{E}_0 e^{-jk_0(\hat{k}r)},$$

где $\boldsymbol{E}_{inc}$ – падающая волна;

$\boldsymbol{E}_0$ – вектор поляризации электрического поля;

$k_0 = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ – волновое число свободного пространства;

$\hat{k}$ – единичный вектор направления распространения;

$r = x\hat{x} + y\hat{y} + z\hat{z}$ – вектор позиции.

Дискретизация пространства счетной области. Как уже было сказано выше, для решения трехмерных задач электродинамики в данной работе взят метод конечных элементов. Основа метода состоит в том, что пространство разбивается на простейшие элементы, имеющие форму тетраэдров. Размер тетраэдра должен быть достаточно мал для того, чтобы поле в его пределах можно было описать простой функцией или набором функций с неизвестными коэффициентами (появление в счетной области ячеек с размерами большими λ/10 (λ – длина волны в среде, в которой ищется решение) нежелательно). Эти коэффициенты находятся из уравнений Максвелла и граничных условий. В результате электродинамическая задача сводится к системе линейных алгебраических уравнений относительно этих коэффициентов. Решение СЛАУ легко реализуется на ЭВМ. Однако в ходе разбиения форма отдельных элементов структуры искажается. Это относится, в первую очередь, к элементам, имеющим искривленную поверхность. Поэтому ограничения на размер тетраэдра накладывает не только точность определения поля, но и точность аппроксимации исходной структуры новой структурой, составленной из тетраэдров.

Чтобы получить оптимальную сетку, используется итерационный процесс, в котором шаг между ячейками автоматически умень-

шается в критических областях. На первом этапе для построения тетраэдров используются вершины объектов анализируемой структуры, которые играют роль вершин тетраэдров. Таким образом, создается начальное разбиение, для которого ищется грубое распределение поля. Анализ этого поля позволяет установить наличие областей, в которых поле имеет большую скорость изменения. После выявления таких областей осуществляется повторное разбиение, которое уже содержит ячейки меньшего размера в критических областях. При этом в качестве вершин новых тетраэдров используются узлы координатной сетки. Далее электродинамическая задача решается повторно для нового разбиения. Процедура повторяется до полной сходимости процесса.

На рис. 5.10 показан пример дискретизации пространства модели корпуса ЭА.

Таким образом, дискретизация пространства счетной области – самый сложный и ответственный шаг при создании модели для электродинамического анализа, при выполнении которого следует учитывать как геометрические свойства объектов в счетной области (сетка конечных элементов в областях, содержащих острые грани, должна быть плотнее), так и параметры воздействия (не должно быть элементов, размер которых превышает $\lambda/10$).

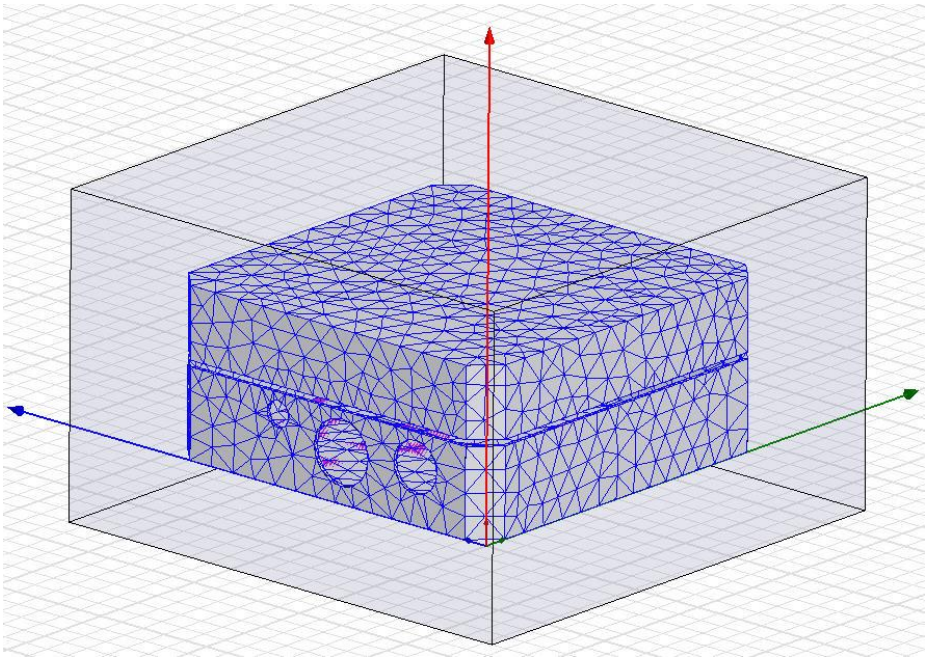


Рис. 5.10. Пример дискретизации пространства

Выполнение расчета. После разбиения модели на конечные элементы можно проводить расчет. В зависимости от количества ко-

нечных элементов в модели время расчета может составлять от нескольких минут до нескольких суток и более. Результатом выполнения расчета являются значения напряженности поля в узлах конечно-элементной сетки. Подставляя вычисленные значения напряженности поля для различных частот в формулу (9.1), получаем график зависимости эффективности экранирования от частоты падающей волны (рис. 5.11).

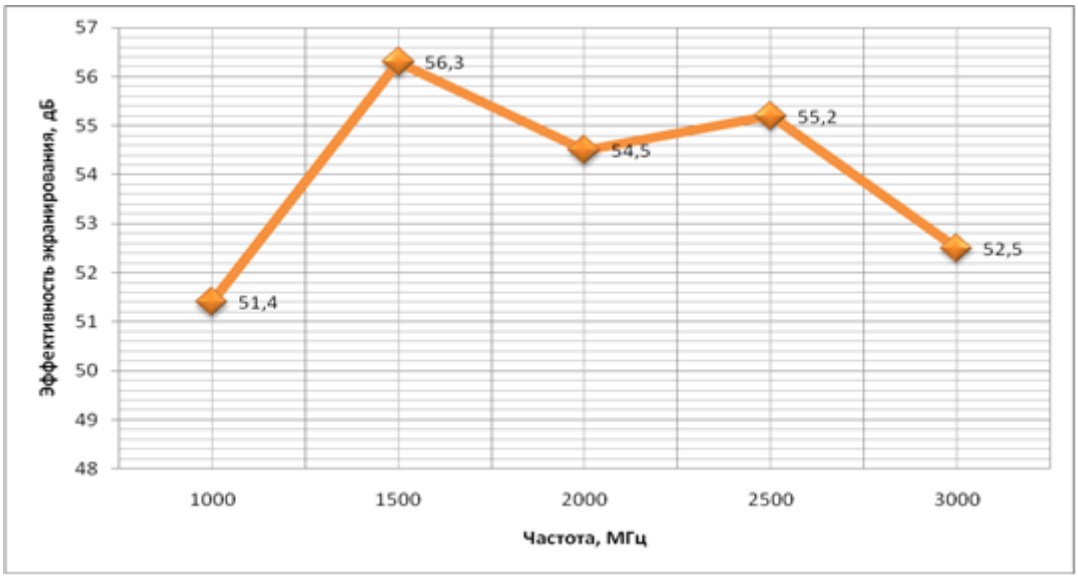


Рис. 5.11. Эффективность экранирования электрического поля корпусом ЭА

Автоматизация синтеза модели для расчета эффективности экранирования ЭА. Итак, методика создания модели ЭА для расчета эффективности экранирования состоит из следующих этапов:

1. Создание трехмерной твердотельной модели ЭА по приведенному выше алгоритму.

2. Назначение материалов деталям модели (задание тензоров $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$).

3. Назначение граничных условий на границах раздела сред, а также задание источников возбуждения структуры (в рассматриваемой задаче – плоской электромагнитной волны).

4. Дискретизация счетного пространства конечными элементами.

5. Запуск на расчет.

Каждый из этих этапов при ручном выполнении в программных комплексах электромагнитного моделирования занимает много времени даже у подготовленных специалистов и требует учета множества нюансов. Следовательно, необходимо максимально упростить и

автоматизировать процесс синтеза и оптимизации модели, для того чтобы рядовой инженер-конструктор, не знакомый с тонкостями электродинамического моделирования, мог провести анализ эффективности экранирования электромагнитного поля корпусом ЭА, а также визуально оценить распределение электромагнитного поля внутри корпуса и на основании этих данных провести оптимизацию конструкции. Предлагаемая схема взаимодействия конструктора с системой моделирования в процессе синтеза модели в терминологии лингвистического обеспечения систем автоматизированного проектирования представлена на рис. 5.12.

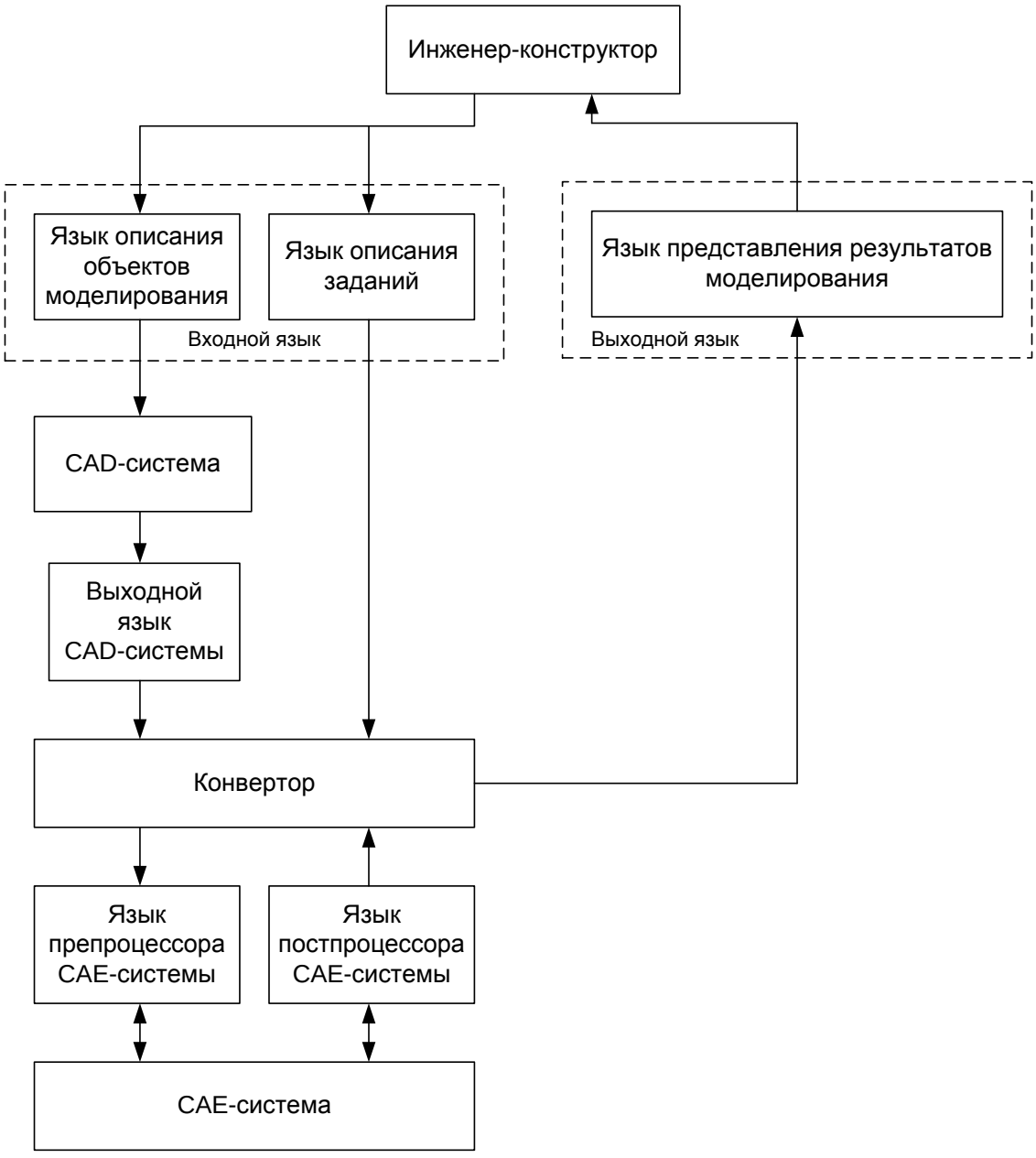


Рис. 5.12. Схема взаимодействия конструктора с системой моделирования электромагнитных процессов в процессе синтеза модели

Конструктор взаимодействует с конечноэлементной CAE-системой моделирования и CAD-системой проектирования посредством понятного ему языка проектирования. Язык проектирования включает в себя входной и выходной языки. Входной язык делится на язык описания объектов моделирования и язык описания заданий. При помощи языка описания объектов моделирования осуществляется ввод модели конструкции в CAD-систему, а язык описания заданий предназначен для задания параметров моделирования (диапазон частот, напряженность воздействующего поля, параметры сетки конечных элементов). Выходной язык используется для отображения результатов анализа электромагнитного процесса (график зависимости эффективности экранирования от частоты, картины распределения поля внутри корпуса).

Данные, вводимые конструктором на входном языке проектирования в CAD-систему, преобразуются с помощью программы-конвертора в данные, понятные программе-препроцессору CAE-системы. После проведения расчетов CAE-система формирует результаты, доступ к которым обеспечивается через встроенную программу-постпроцессор. Эти результаты преобразуются в данные, понятные проектировщику, для их анализа и принятия проектных решений.

Таким образом, обеспечивается полноценное взаимодействие конструктора с системами моделирования. Конструктор согласно данной схеме, не обладая знаниями, необходимыми для моделирования, управляет мощным математическим ядром CAE-системы на доступном ему языке, что повышает эффективность процесса проектирования.Приведенная выше методика автоматизации создания модели ЭА легла в основу подсистемы АСОНИКА-ЭМС.

Подсистема АСОНИКА-ЭМС. Подсистема трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС была создана в рамках автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА для решения задач замены натурных испытаний на устойчивость к электромагнитному полю электронных приборов и их систем на ранних стадиях проектирования. Вид главного окна программы представлен на рис. 5.13.

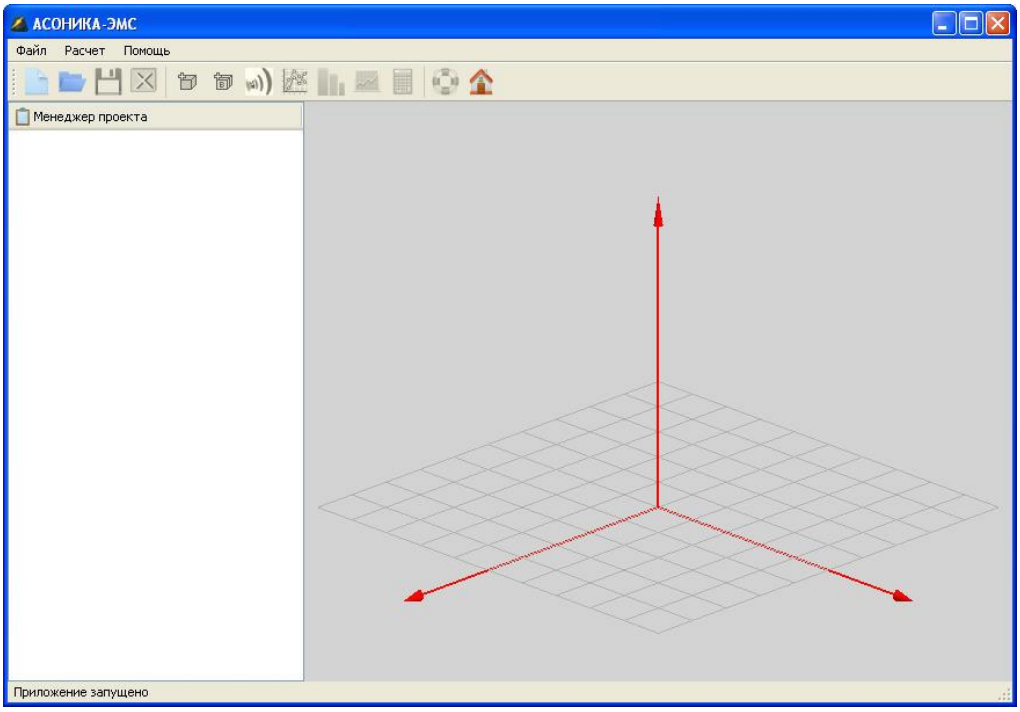


Рис. 5.13. Главное окно программы АСОНИКА-ЭМС

На данном этапе развития в АСОНИКА-ЭМС можно решать следующие задачи:

1. Расчет величин напряженности электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри типового корпуса электронного блока при воздействии электромагнитных волн.

2. Расчет величин напряженности электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри произвольного корпуса электронного блока (импорт файлов моделей из CAD-систем в формате *.SAT) при воздействии электромагнитных волн.

3. Расчет эффективности экранирования электрического и магнитного полей корпусом типового блока.

4. Расчет эффективности экранирования электрического и магнитного полей корпусом произвольного блока.

Система АСОНИКА-ЭМС состоит из трех подсистем: интерфейса пользователя, расчетного ядра и графической подсистемы (рис. 5.14).

Интерфейс пользователя решает следующие задачи: 1) ввод вручную геометрических параметров испытуемого типового изделия (блок, шкаф), загрузка модели нетиповой конструкции из файла, созданного в системах трехмерного проектирования; 2) задание параметров электромагнитного поля, воздействию которого подвергается изделие.



Рис. 5.14. Структура подсистемы трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС

Для того чтобы создать трехмерную модель типового блока, состоящего из верхней и нижней крышек, необходимо в меню «Расчет» выбрать подменю «Модель», а затем «Добавить модель типового блока». На экране отобразится диалоговое окно ввода параметров типового блока (рис. 5.15). Кроме геометрических размеров, в этом окне необходимо также определить материалы верхней и нижней крышек корпуса.

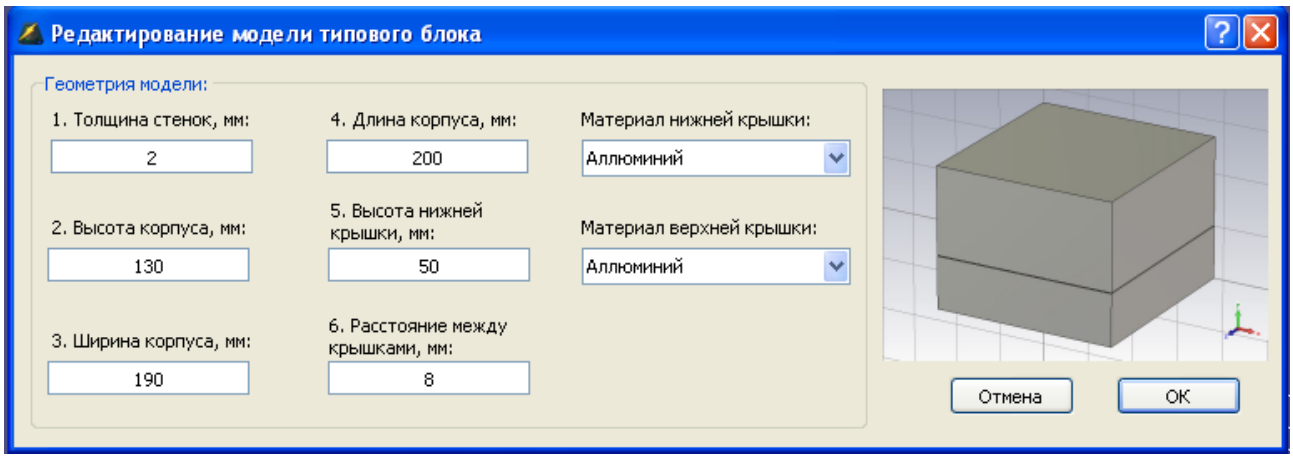


Рис. 5.15. Редактирование параметров модели типового блока

Кроме задания модели типового блока, возможно импортирование в программу моделей блоков произвольной формы, выполненных в CAD-системах, в формате *.SAT (рис. 5.16).

После того как трехмерная модель конструкции анализируемого корпуса введена в проект, необходимо задать параметры источника возбуждения (плоской электромагнитной волны). В программе АСОНИКА-ЭМС для этого есть специальный мастер, вызываемый из меню «Расчет», в котором необходимо выбрать подменю «Источник возбуждения», а в нем пункт «Плоская волна». Первое окно мастера настройки параметров источника возбуждения представлено на рис. 5.17.

В этом окне задается формат ввода векторов (декартовы или сферические координаты), а также позиция источника возбуждения. В зависимости от выбранного формата появляется окно задания параметров электромагнитной волны либо в декартовых (рис. 5.18), либо в сферических (рис. 5.19) координатах.

На последнем экране мастера задается тип плоской волны, а также параметры, зависящие от этого типа (рис. 5.20).

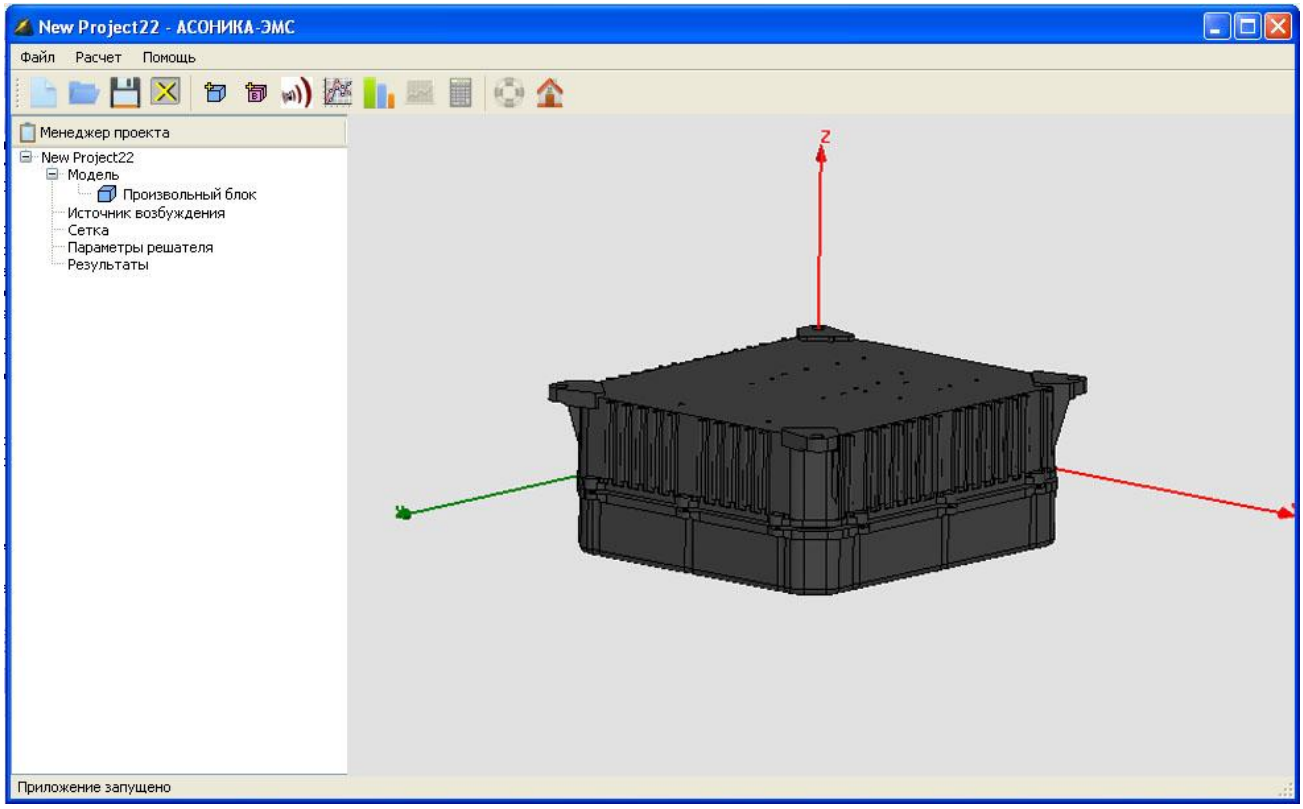


Рис. 5.16. Импортированная модель из формата *.SAT

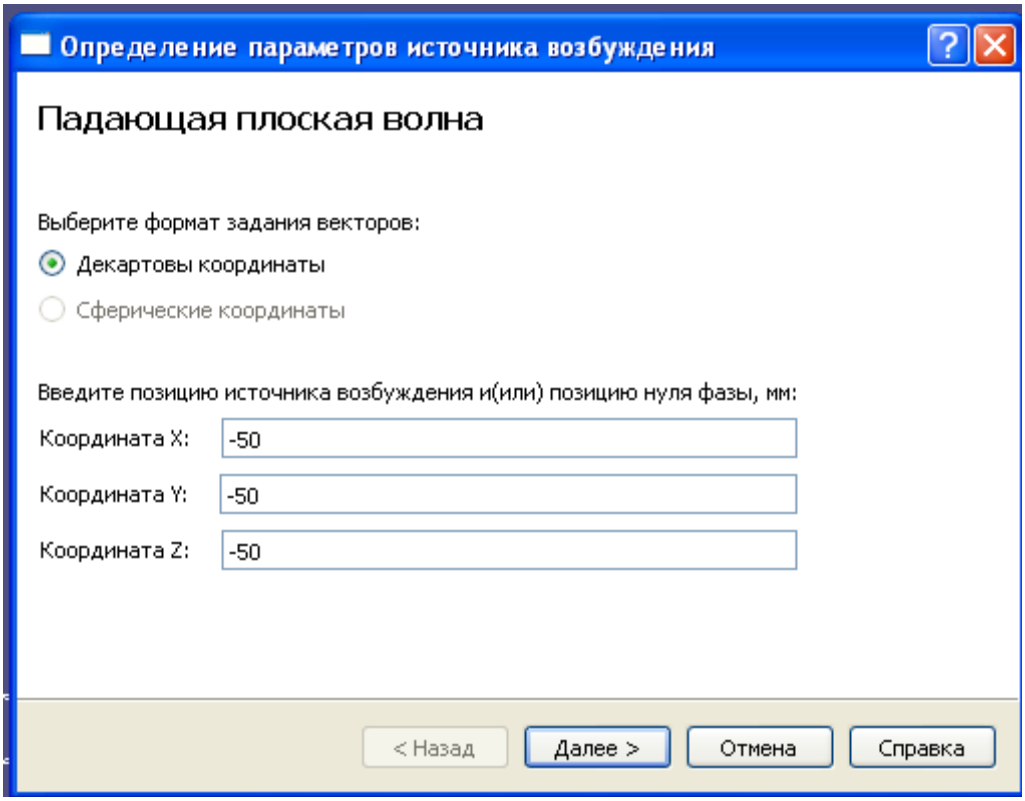


Рис. 5.17. Первое окно мастера настройки параметров источника возбуждения

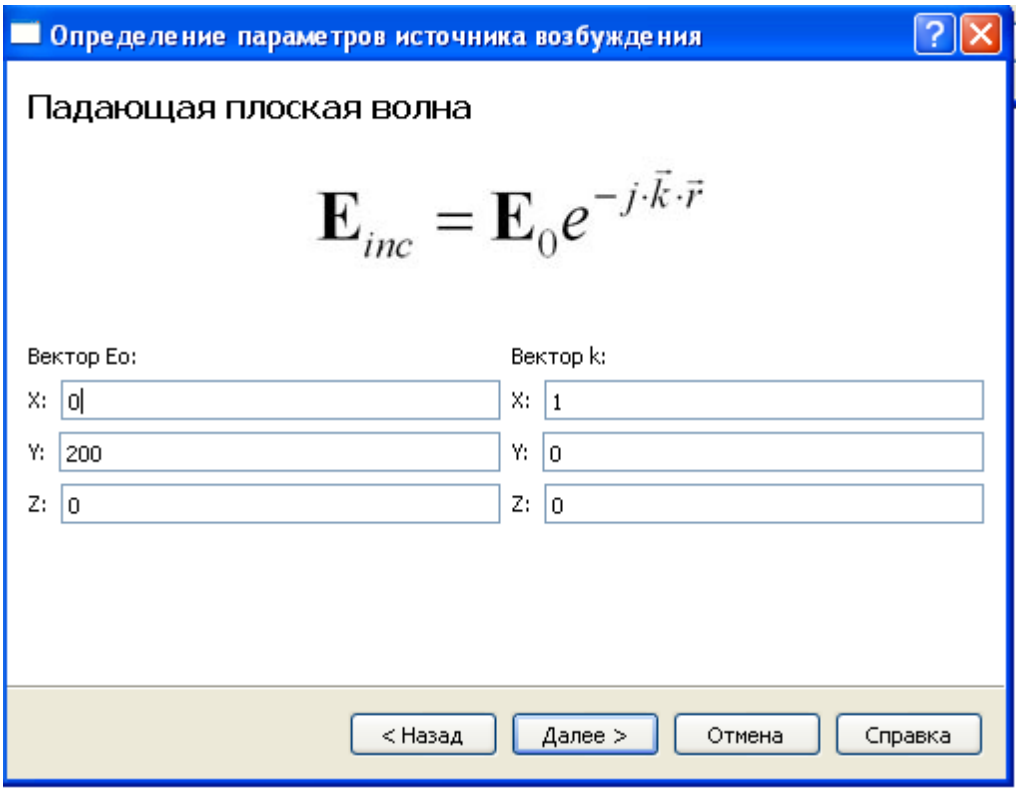


Рис. 5.18. Задание параметров плоской волны в декартовых координатах

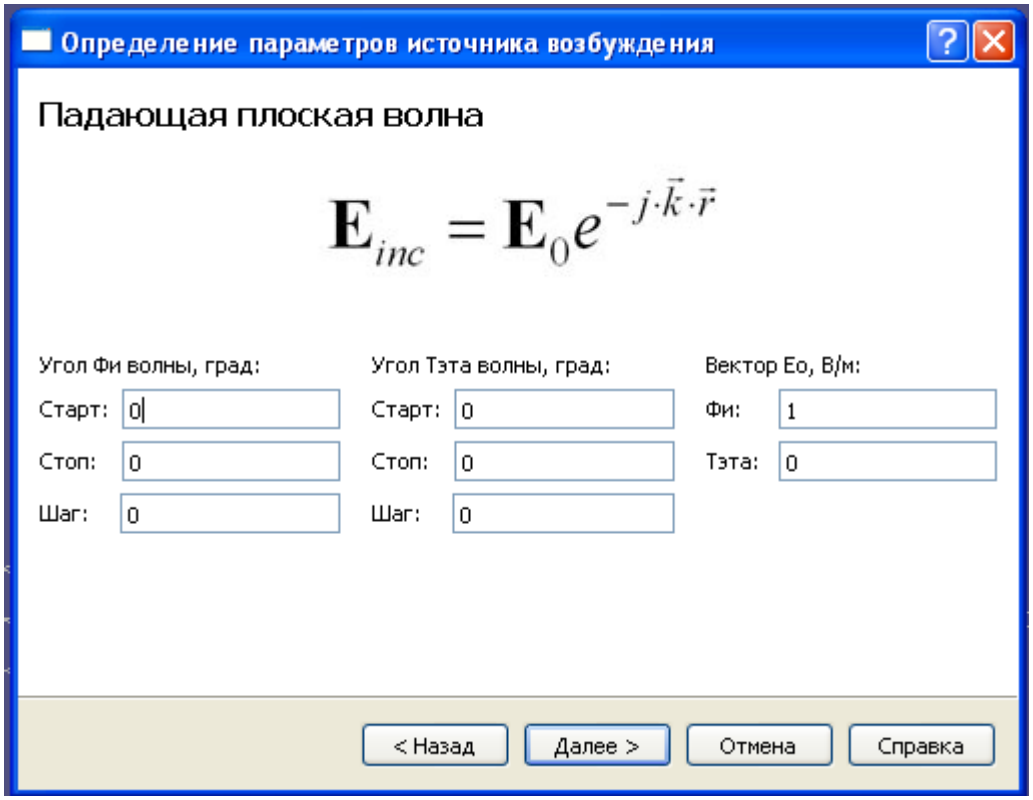


Рис. 5.19. Задание параметров плоской волны в сферических координатах

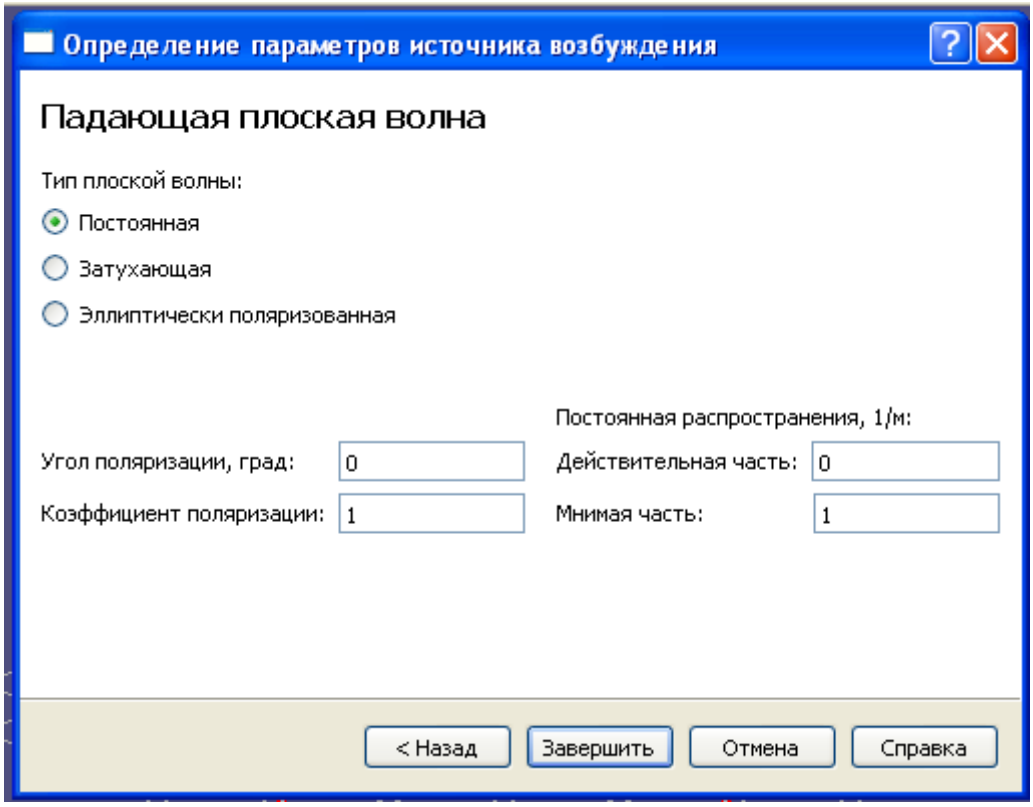


Рис. 5.20. Задание типа плоской волны

После того как заданы параметры источника возбуждения, необходимо настроить параметры конечно-элементной сетки, создаваемой решателем.

Между размером ячейки конечно-элементной сетки, желательным уровнем точности и имеющимися в наличии вычислительными ресурсами имеется противоречие. С одной стороны, точность решения зависит от того, насколько мала величина каждого из отдельных элементов (тетраэдров). Решения, которые используют большое количество элементов, более точны, чем решения, выполненные с помощью крупных ячеек, использующих относительно немного элементов. Самым правильным критерием для выбора размеров ячейки является критерий малой вариации поля в ее пределах. В этом случае поле может быть корректно аппроксимировано линейной функцией. Скорость изменения поля зависит от рабочей частоты и неоднородности среды.

С другой стороны, решение задачи при большом количестве ячеек требует применения быстродействующих процессоров и большого объема оперативной памяти. Поэтому необходимо искать компромисс между точностью решения и ресурсами, необходимыми для его реализации.Следует помнить, что появление в счетной области ячеек с размерами большими $\lambda/10$ (λ – длина волны в среде, в которой ищется решение) нежелательно. На рис. 5.21 показано диалоговое окно задания параметров сетки конечных элементов, с помощью которого можно задать ограничения на длину элементов или на их количество. Это окно вызывается с помощью меню «Расчет – Параметры сетки КЭ»

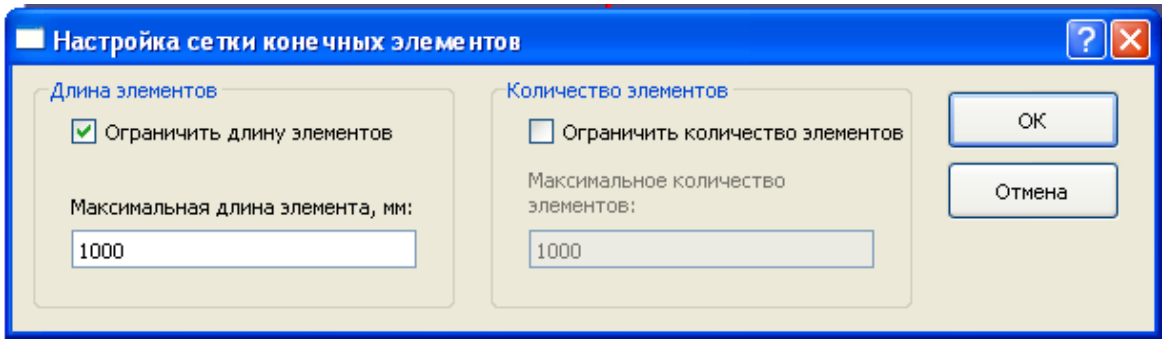


Рис. 5.21. Настройка сетки конечных элементов

После определения параметров конечно-элементной сетки необходимо задать частоту решения в диалоговом окне, вызываемом с помощью меню «Расчет – Настройка параметров реше-

ния» (рис. 5.22). Также в этом окне можно задать диапазон частот воздействий, которым подвергается испытуемая конструкция.

Следующим шагом будет указание результатов, которые программа должна будет вывести на экран по завершении расчетов. Диалоговое окно настройки параметров отображаемых результатов вызывается с помошью меню «Расчет – Настройка результатов» (рис. 5.23).

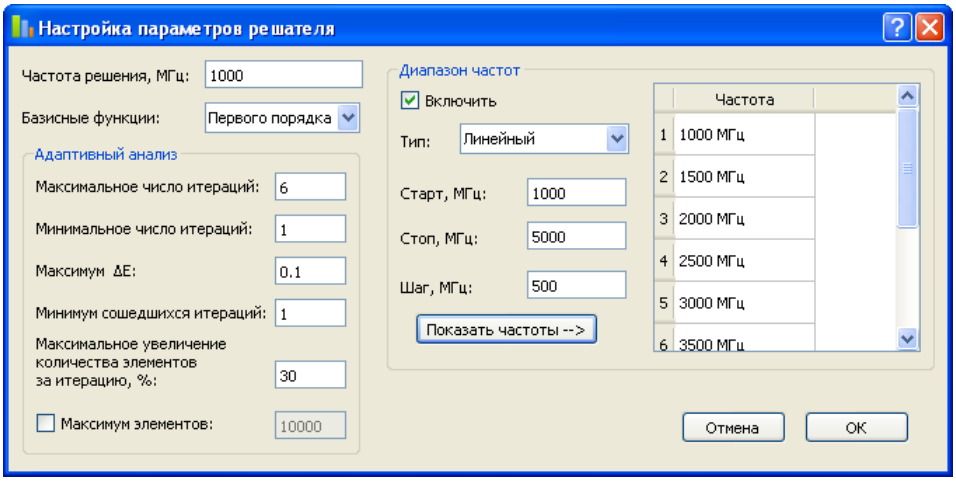


Рис. 5.22. Настройка параметров решателя

Затем можно запускать проект на расчет. Это делается с помощью пункта «Запуск на решение» в меню «Расчет». После завершения расчета в рабочей области программы отобразится распределение напряженности электрического поля внутри корпуса и в прилегающем пространстве (рис. 5.24). Значения напряженности в расчетных точках обозначены размером (чем больше размер, тем больше значение напряженности) и цветом (от фиолетового к красному). Интерфейс пользователя реализован с помощью свободнораспространяемого пакета библиотек Qt.

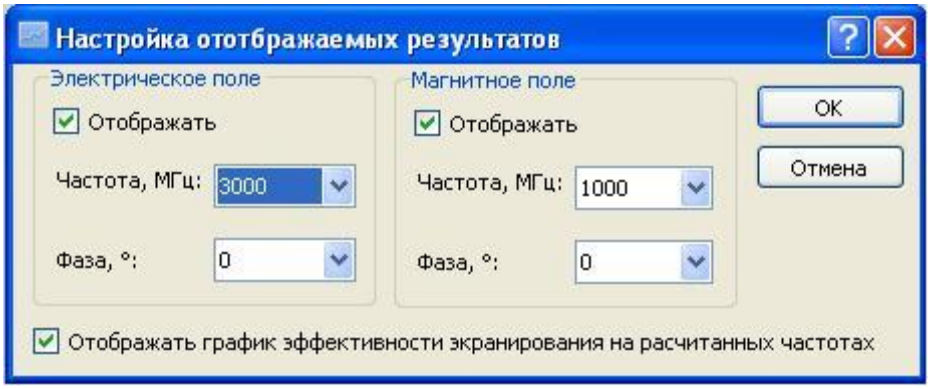


Рис. 5.23. Настройка отображаемых результатов

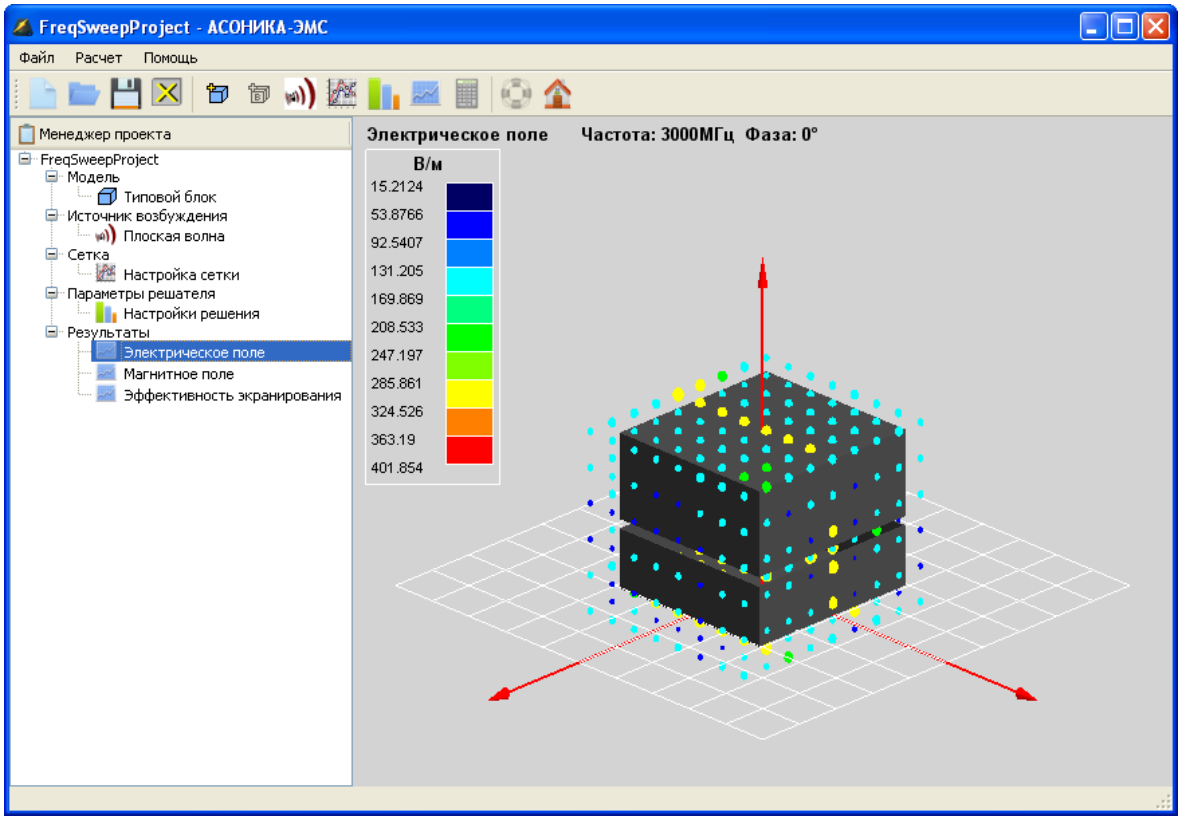


Рис. 5.24. Отображение результатов расчета

Чтобы вывести на экран график эффективности экранирования, необходимо щелкнуть мышью в дереве проекта пункт «Эффективность экранирования». График эффективности экранирования электрического и магнитного полей появится в отдельном окне (рис. 5.25).

Информация о модели, введенная с помощью интерфейса пользователя, передается программе-решателю, реализующей метод конечных элементов. Программа-решатель, в свою очередь, передает результаты (значения напряженностей полей в заданных точках пространства) обратно интерфейсу пользователя, который с помощью графической подсистемы отображает их на экране.

Графическая подсистема является универсальным постпроцессором, выполняющим задачи визуализации трехмерной модели и результатов расчета в удобном для пользователя виде. Графическая подсистема реализована с помощью APIOpenGL.

Система АСОНИКА-ЭМС является составной частью системы АСОНИКА, которая представляет собой целостное решение в области обеспечения качества аппаратуры на принципах CALS-технологий.

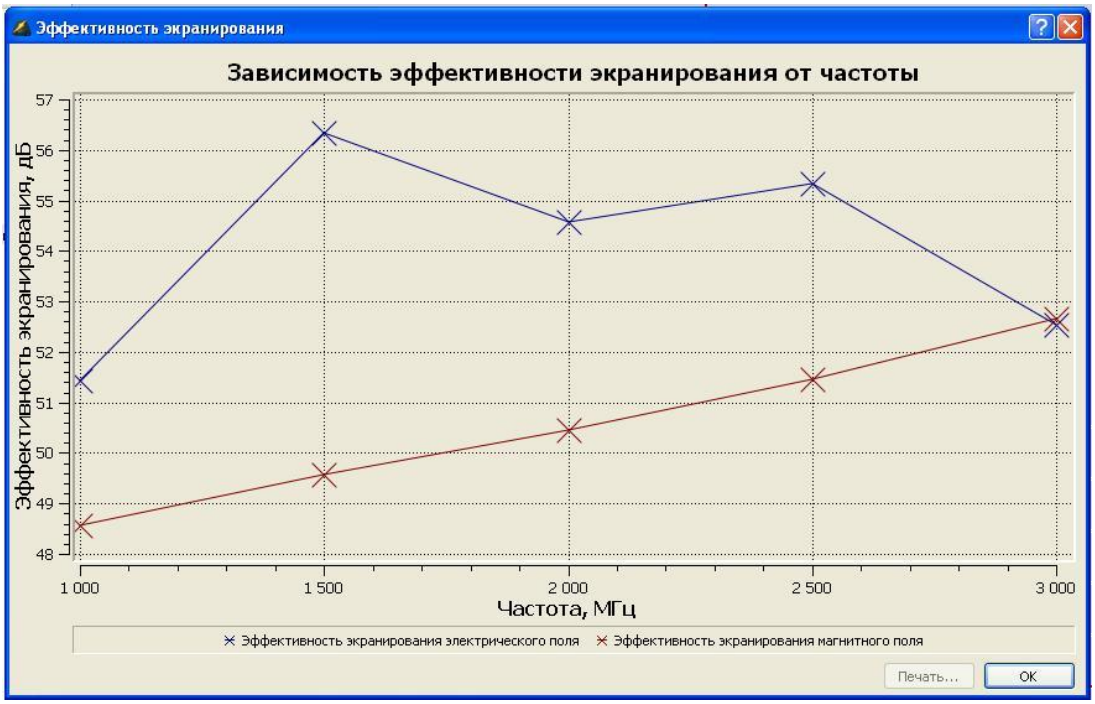


Рис. 5.25. График зависимости эффективности экранирования от частоты

Система АСОНИКА – это специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой РЭС, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, аэродинамические, 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).

Система трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС может использоваться на таких приоритетных направлениях развития науки, техники и технологий, как:

– информационно-телекоммуникационные системы;

– перспективные вооружения, военная и специальная техника;

– транспортные, авиационные и космические системы;

– энергетика и энергосбережение.

Во всех этих областях использование системы АСОНИКА-ЭМС в рамках системы АСОНИКА позволит добиться высоких показателей надежности и качества изделий, сократить сроки выхода нового продукта на рынок и, самое главное, снизить затраты на основных стадиях жизненного цикла изделия.

Система АСОНИКА-ЭМС имеет ряд преимуществ перед зарубежными аналогами. Самое существенное преимущество – этостоимость. Естественно, что предприятия стран СНГне могут позволить себе приобретать программные комплексы стоимостью несколько сот тысяч евро, поэтому ориентированная на потребителя в странах СНГ система АСОНИКА-ЭМС будет стоить на порядок дешевле.

В дальнейшем авторы планируют реализовать в АСОНИКА-ЭМС связь с общей базой данных системы АСОНИКА, в которой содержатся электрофизические параметры материалов, используемых в электронной промышленности. Также будет реализован вывод исходных данных и результатов расчета в текстовый процессор MicrosoftOfficeWord. Планируется разработка программного модуля расчета наведенных помех в кабелях, связывающих электронные устройства.

Таким образом, в добавлении этих, а также других возможностей системе и в ее сертификации и рекламе авторы видят направление дальнейшей работы.

5.2. Интегрированная база данныхэлектрорадиоэлементов иматериалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам (АСОНИКА-БД)

Система АСОНИКА развивается уже более 30 лет. Одним из важных направлений системы является развитие и совершенствование базы данных по электрорадиоэлементам (ЭРЭ) и материалам. В последнее время в системе АСОНИКА применяется база данных PostgreSQL как одна их лучших открытых клиент-серверных систем управления баз данных. Многие современные системы баз данных в настоящее время поддерживают технологию «клиент-сервер», которая позволяет редактировать данные с разных клиентских мест (при этом данные хранятся только на одном выделенном сервере).

Почему была выбрана именно эта система управления базами данных? Для этого были проанализированы мировые системы управления данными. Самыми известными коммерческими клиент-серверными мировыми системами являются Oracle, MSSQLServer, Informix, DB2, Interbase и некоторые другие. Есть также и свободные (с открытыми исходными кодами) системы управления базами данных, такие как PostgreSQL, MySQL, Firebird и др.

PostgreSQL – реляционная система управления базами данных, пришла из проекта Postgres Калифорнийского университета в Беркли. Профессор Майкл Стоунбрэкер основал проект в 1986 году, чтобы заменить стареющую базу данных Ingres RDBMS и DARPA. Этот проект был проспонсирован национальным научным фондом США, офисом исследований в армии США и ESL Inc. Известная как проект Postgres база данных выполняет различные функции в различных организациях (например,NASA), в том числе для отслеживания астероидов. PostgreSQL используется для финансового анализа и внедрена в области образования, науки и производства.Postgres изначально использовала язык PostQUEL для доступа к информации в базе данных. В 1994 AndrewYu и JollyChen добавили в PostgresSQL интерпретатор, изначально названный Postgres95. На Postgres95 была перезарегистрирована лицензия на правах Berkleysoftwarelicense (с открытыми исходными кодами и свободно распространяемая) и вскоре после этого она был переименован в PostgreSQL.

У СУБД PostgreSQL нет фирмы-владельца, но она имеет организационный комитет по разработке и развитию. Разработка и развитие осуществляются огромным числом разработчиков со всего мира (в том числе российскими). Существуют англо- и русскоязычные форумы поддержки СУБД PostgreSQL, на которых разработчики собственных систем бесплатно и оперативно получают ответы на интересующие их вопросы по PostgreSQL. Существует и платная поддержка с небольшой годовой оплатой (она прежде всего используется в практике больших корпораций).

Есть еще одна база данных MySQL, которая является свободной системой управления базами данных. В настоящее время MySQL является собственностью компании OracleCorporation, получившей ее вместе с поглощенной SunMicrosystems. MySQL является решением для малых и средних приложений.

MySQL и PostgreSQL используют различные лицензии, и понимание этого важно для внедрения этих продуктов в корпоративные проекты, в частности в систему АСОНИКА. Например, MySQL предлагает два типа лицензии для своей базы данных: GNUGeneralPublicLicense (GPL) для GPL-проектов и коммерческую (платную) лицензию.В соответствии с требованиями GPL лицензии необходимо распространять систему вместе с исходными кодами. Вторым типом лицензии является коммерческая лицензия. Пример использования это-

го типа лицензии – распространение системы без исходного кода приложения. Однако коммерческие лицензии стоят достаточно дорого (табл. 5.1). Поэтому если использовать коммерческую лицензию базы данных в своей системе, то это увеличит стоимость распространяемой системы на цену лицензии (лицензий) коммерческой БД.

СУБД PostgreSQL имеет гораздо более простую схему лицензирования. Она распространяется под лицензией Berkley (BSD-лицензия), которая позволяет любое использование, пока в продукт включается копия лицензии Berkley. Это означает, что можно продавать коммерческий продукт, который использует PostgreSQL или основывается на PostgreSQL, не прилагая исходные коды и не затрачивать средства на саму СУБД PostgreSQL (она распространяется бесплатно, это суть лицензии Berkley). Таким образом, если использовать СУБД с такой лицензией в основе распространяемой системы, то стоимость системы будет равна цене самой системы без стоимости СУБД.Снижение себестоимости системы позволит предлагать более привлекательные цены на нее, что в конечном счете приведет к увеличению объема продаж.

Таблица 5.1

Сравнение БД Oracle и PostgreSQL
по техническим и стоимостным характеристикам

Характеристика	PostgreSQL	Oracle
Максимальный размер БД	Неограниченно	Неограниченно
Максимальный размер таблицы, ТВ	32	0,004
Максимум полей в таблице	250–1600 (в зависимости от типа данных)	1000
Максимальный размер записи, ТВ	1,6	0,000008
Максимальный размер поля Текст/ Графика, ГБ	1/2	1/неограниченно
Максимальное количество символов в названии таблицы	63	30
Стоимость самой БД, тыс. долл.	0	~ 40 (вер. Enterprise)

С технической точки зрения, PostgreSQL имеет многие из функций Oracle, DB2 или MS-SQL, включая триггеры, представления, наследование, последовательности, хранимые процедуры, курсоры и

пользовательские типы данных. Разрабатываемая версия MySQL также поддерживает представления, хранимые процедуры и курсоры. Однако этот функционал слабее развит в MySQL.

СУБД PostgreSQL является высоконадежной базой данных. Согласно результатам автоматизированного исследования различного программного обеспечения на предмет ошибок, в исходном коде PostgreSQL было найдено 20 проблемных мест на 775 000 строк исходного кода (в среднем, 1 ошибка на 39 000 строк кода). Для сравнения: MySQL – 97 проблем (1 ошибка на 4 000 строк кода); FreeBSD (целиком) – 306 проблем (1 ошибка на 4 000 строк кода); Linux (только ядро) – 950 проблем (1 ошибка на 10 000 строк кода).

В табл. 5.1 приведено сравнение по техническим и стоимостным характеристикам базы данных PostgreSQL и самой известной коммерческойбазой данных Oracle.

Исходя из данных табл. 5.1 можно сделать вывод, что база данных PostgreSQL по некоторым характеристикам значительно превосходит известную коммерческую базу данных Oracle, которая по отзывам многих специалистов является одной из самых лучших в мире. Также следует отметить, что существующие и новые версии самой БД PostgreSQL являются официально бесплатными, что значительно снижает средства, вкладываемые в разрабатываемую систему АСОНИКА в будущем. Еще одним важным фактором является то, что база данных PostgreSQL может быть использована практически во всех существующих на данный момент операционных системах, таких как Windows, Linux, FreeBSD, Mac OS X, Solaris.

Следует также отметить, что эта база данных используется в известных поисковых серверах rambler.ru и google.com, что подчеркивает ее надежность и скорость обработки данных. Поэтому в основе системы АСОНИКА была выбрана именно база данных PostgreSQL.

Таким образом, система АСОНИКА использует в качестве СУБД свободную базу данных PostgreSQL как СУБД с открытыми исходными кодами, обладающую высокими скоростными характеристиками, огромным функционалом и возможностями, высокой надежностью, серьезной поддержкой со стороны разработчиков и отсутствием цены за ее использование.

Основная задача для любой БД – это наполнение ее непротиворечивыми данными.Данные, хранящиеся в БД системы АСОНИКА, должны быть достоверными. В СУБД АСОНИКА хранятся теплофи-

зические и физико-механические параметры ЭРЭ и материалов конструкций РЭС. Каждое значение этих параметров либо берется из справочников, либо берется по ТУ, либо идентифицируется. Сбор данных из этих источников в основном происходит за счет ручного ввода (редактирования данных). Это рутинная операция, без которой, конечно же, не обойтись. Однако данный процесс можно автоматизировать. Один из вариантов – это подготовка файла определенного формата (напримерexcel-файла), в который заносятся построчно данные о каждом ЭРЭ или материале по специально подготовленному шаблону, а затем специальная программа обрабатывает этот файл, занося данные в БД. Таким образом, уменьшается время на добавление новых ЭРЭ и материалов за счет отсутствия необходимости заполнять каждый новый ЭРЭ или материал с помощью непростого многостраничного интерфейса редактирования СУБД АСОНИКА.

Важно также развивать специальные утилиты, которые позволят проводить идентификацию физико-механических и теплофизических параметров конструкций РЭС. Это предоставит возможность заполнить СУБД АСОНИКА достоверными значениями этих параметров, что в итоге повысит точность моделирования.

Также необходимо развивать конверторы (утилиты), связывающие расчет электрических схем (например, система MentorGraphics) с подсистемами АСОНИКА-Т, АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ. Это поможет задать адекватные (точные) данные по мощностям тепловыделений ЭРЭ или блоков в целом для систем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-ТМ. В итоге данный подход поможет повысить точность и скорость проведения расчетов.

Система АСОНИКА является мощным средством виртуальных испытаний электронных макетов приборов. В то же время практическое использование системы показало, что эффективность использования системы ограничивается количественным и качественным наполнением прилагаемой базы данных электрорадиоизделий и материалов.

Справочная база данных электрорадиоизделий и материалов предоставляет информацию: 1) по параметрам материалов; 2) по параметрам ЭРИ. Справочная база данных состоит из основных и дополнительных таблиц. Основные таблицы содержат нижеследующую информацию:

1) параметры материалов печатных узлов, несущих конструкций, выводов ЭРИ и параметры лаков (клеев), применяемых при установки ЭРИ на печатную плату: справочные, механические, тепловые, допустимые, температурные зависимости;

2) оптические свойства материалов конструкций РЭС;

3) параметры ЭРИ: классы и группы ЭРИ; типы ЭРИ и технические условия; справочная информация; полные условные записи ЭРИ; параметры, входящие в полную условную запись, и их возможные значения; варианты установки ЭРИ на печатную плату; модели вариантов установки ЭРИ, позволяющие значительно сократить время на ввод ЭРИ в БД путем автоматизированного расчета параметров ЭРИ; геометрические параметры ЭРИ; механические параметры ЭРИ; тепловые параметры ЭРИ; допустимые параметры ЭРИ; изображения ЭРИ на плоскости и в пространстве.

Есть возможность создания дополнительных таблиц, которые могут содержать числовые, строковые, логические, текстовые, графические и функциональные зависимости параметров ЭРИ.

Справочная часть БД разрабатываемой подсистемы предназначена для хранения информации об ЭРИ и материалах конструкций, которая необходима для проведения моделирования физических процессов при комплексных внешних воздействиях.

Поэтому справочная часть БД должна содержать:

1) параметры материалов конструкций;

2) параметры моделей ЭРИ для тепловых и механических процессов;

3) предельно-допустимые значения ускорений и температур ЭРИ, а также максимальные допустимые напряжения материалов, на основе которых может быть принято проектное решение;

4) параметры выводов ЭРИ для разных вариантов установки ЭРИ на печатную плату для расчета усталостных характеристик;

5) информацию об условном графическом изображении ЭРИ на плоскости и в пространстве для придания реалистичности отображения ПУ;

6) полные условные записи ЭРИ для быстрого поиска ЭРИ.

Кроме этого, СУБД должна обеспечивать:

максимально быстрый ввод параметров ЭРИ и материалов. Для этого основу БД должны составить модели вариантов установки ЭРИ, на основе которых, используя минимум параметров (размеры поса-

дочного места и корпуса ЭРИ, сечения корпуса и выводов, параметры материалов выводов, клея или лака), автоматически рассчитываются остальные параметры (координаты установки выводов, длины участков выводов, площадь поверхности, тепловое сопротивление крепления, теплоемкость элемента и т. д.);

возможность создания дополнительных таблиц, содержащих, например, электрические, надежностные и прочие параметры ЭРИ без участия программиста.

Основу БД составляют базовые таблицы, содержащие информацию обо всех необходимых параметрах ЭРИ и материалов для проведения моделирования конструкций РЭС на комплексные воздействия и принятия решения об обеспечении стойкости РЭС к внешним воздействиям.

Ниже приведено описание базовых таблиц (табл. 5.2–5.7). На рис. 5.26 представлена структура БД. Для описания типов полей использованы следующие обозначения:

– *Integer* – 32-разрядный целочисленный тип;
– *Short* – 16-разрядный целочисленный тип;
– *Double* – вещественный тип;
– *Char(N)* – строковый тип размеров в *N* символов;
– *Boolean* – логический тип;
– *Graphic* – графический тип в формате *.bmp.

Таблица 5.2

Содержание таблицы ERIGroup
(таблица групп ЭРИ по классам)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIKind	Integer	Индекс класса ЭРИ
ERIGroup	Integer	Индекс группы ЭРИ
ERIGroupName	Char(255)	Название группы ЭРИ

Таблица 5.3

Содержание таблицы ERIKind(таблица классов ЭРИ)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIKind	Integer	Индекс класса ЭРИ
ERIKindName	Char(48)	Название класса ЭРИ

Таблица 5.4

Содержание таблицы ERIKindChar
(таблица возможных обозначений ЭРИ по классам)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIKind	Integer	Индекс класса ЭРИ
ERIKindChar	Char(3)	Возможное обозначение ЭРИ

Таблица 5.5

Содержание таблицы ERIParamCode(таблица параметров,
входящих в полную условную запись ЭРИ по классам)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIKind	Integer	Индекс класса ЭРИ
ERIParamCode	Integer	Код параметра
ERIParamName	Char(64)	Название параметра

Таблица 5.6

Содержание таблицы ERIParamValue (таблица возможных значений
параметров, входящих в полную условную запись ЭРИ)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIKind	Integer	Индекс класса ЭРИ
ERIParamCode	Integer	Код параметра
ERIParamValue	Char(16)	Возможное значение параметра

Таблица 5.7

Содержание таблицы ERIMounting
(таблица вариантов установки ЭРИ по классам)

Наименование	Тип поля	Описание
ERIMModel	Integer	Номер варианта установки ЭРИ
ERIMNote	Char(64)	Описание варианта установки
ViewL	Graphic	Вид слева
ViewU	Graphic	Вид сверху

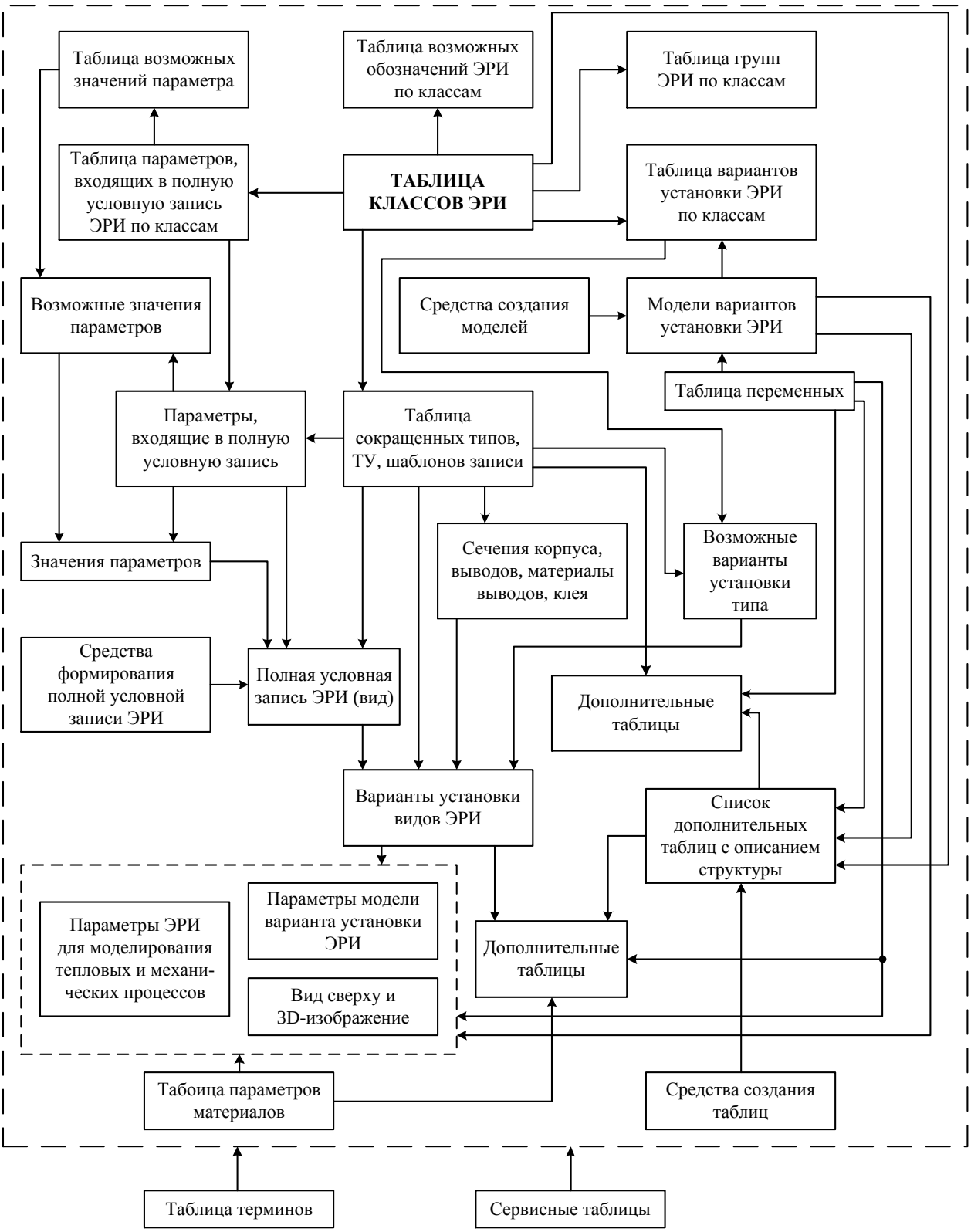


Рис. 5.26. Структура БД

Параметры ЭРИ и материалов для всех подсистем системы АСОНИКА считываются из базы данных.

Для редактирования параметров по нормативной документации электрорадиоизделий используется приложение dbEditor32.exe (рис. 5.27):

– «Справочники» – создание и редактирование дополнительных справочников;

– «Таблицы» – создание и настройка таблиц дополнительных параметров ЭРИ и материалов;

– «Редактор вариантов установки ЭРИ» – инструмент создания моделей вариантов установки ЭРИ на плате;

– «Карты рабочих режимов» – база данных подсистемы автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий АСОНИКА-Р;

– «Настройка» – настройка пути размещения таблиц и выбор принципа формирования полной условной записи (по шаблону или без шаблона);

– «Синхронизация СБД» – синхронизация двух баз данных ЭРИ для подсистем АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р; при этом осуществляется синхронизация по полным условным записям ЭРИ, всем параметрам, формулам, графикам и таблицам, выдается отчет по синхронизации;

– «Менеджер моделей вариантов установки ЭРИ» – осуществляется просмотр моделей вариантов установки ЭРИ, записанных в СБД, а также просмотр их параметров и описания;

– «Свернуть»;

– «Закрыть».

В «Формирование полной условной записи» (рис. 5.28) выбирается «По шаблону», если полная условная запись содержит помимо типа ЭРИ номер ТУ и различные параметры (например, емкость для конденсаторов, сопротивление для резистора и т. д.). Если указывается только тип ЭРИ (обычно, для импортных ЭРИ), то выбирается «Без шаблона».

В прил. 1 приведены отдельные фрагменты БД.

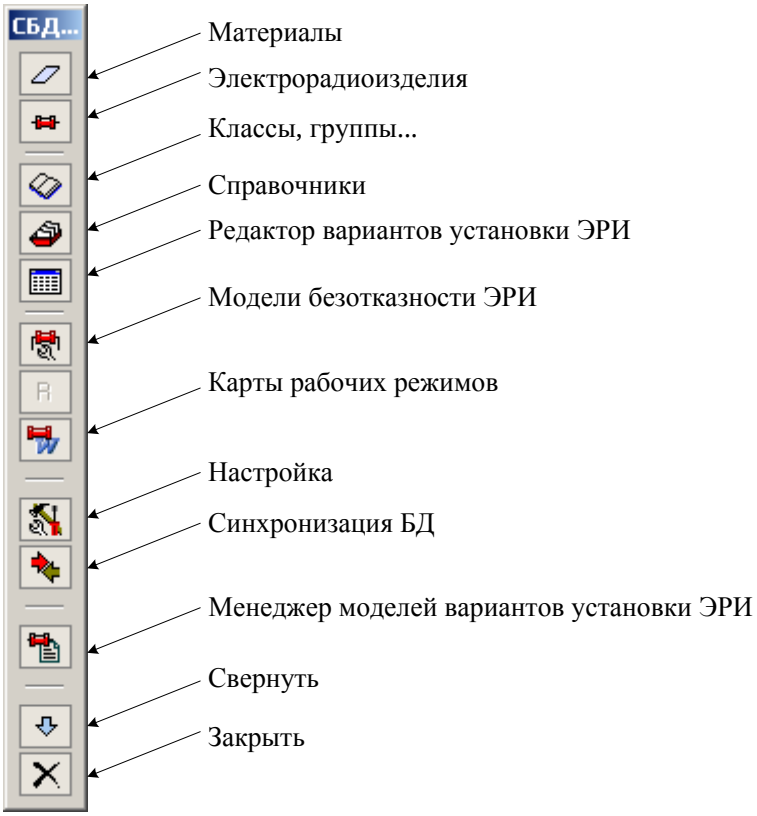


Рис. 5.27. Главное окно СБД

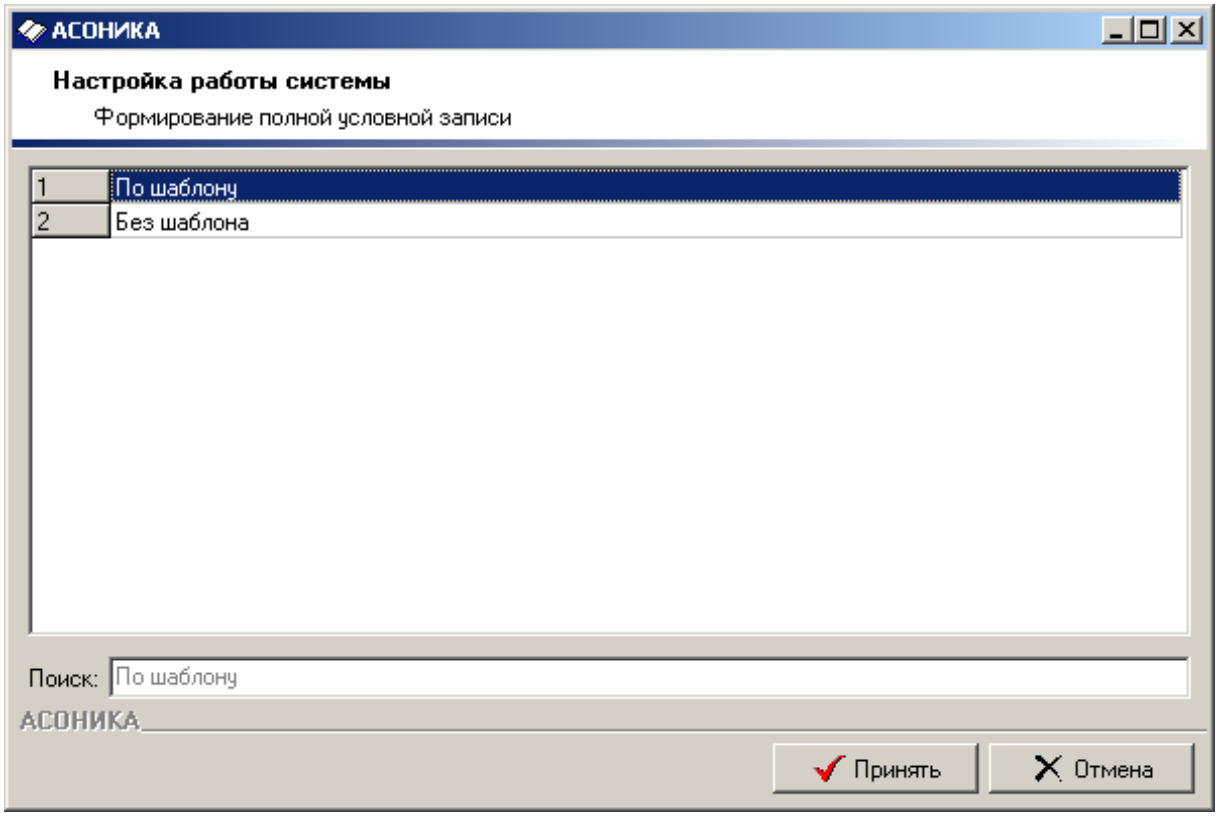


Рис. 5.28. Настройка формирования полной условной записи

5.3. Управление моделированием РЭС при проектировании (АСОНИКА-УМ)

5.3.1. Назначение и структура подсистемы АСОНИКА-УМ

Подсистема АСОНИКА-УМ – подсистема управления моделированием радиоэлектронных средств – предназначена для сбора в интегрированной базе данных инженерных данных, возникающих в процессах проектирования, производства и эксплуатации РЭС, обеспечивая создание обширных электронных моделей этих РЭС.

Подсистема АСОНИКА-УМ интегрирована с моделирующими подсистемами системы автоматизированной оценки надежности и качества РЭС – АСОНИКА, а также с CAD-системами КОМПАС и SolidWorks.

Подсистема АСОНИКА-УМ обеспечивает формирование комплексного критерия оценки соответствия полученного технического решения требованиям технического задания на проектирование, и на основе этого критерия и ряда прототипов изделий – организацию управления получением нового технического решения, сформулированную как задача управления моделированием.

Интеграция АСОНИКА-УМ с внешними приложениями обеспечивает хранение их проектов в БД АСОНИКА-УМ, контекстный запуск соответствующего приложения, целостность проектной информации.

Подсистема АСОНИКА-УМ имеет механизм встраивания plug-ins модулей сторонних разработчиков в свой интерфейс. Встраивание основано на использовании шаблона нового plug-in модуля и реализации механизма его использования.

Для обеспечения использования механизмов подсистемы АСОНИКА-УМ при создании внешних и встраиваемых приложений разработана широкая номенклатура API-функций ActiveX.

Ядро подсистемы АСОНИКА-УМ, обеспечивающее реализацию интегрированной базы данных, имеет следующую функциональность:

– взаимодействие с другими автоматизированными системами;

– управление различными нормативно-справочными разделами базы данных, системами классификации и перечнями предметов;

– управление версиями изделий;

– управление вариантами состава изделия;

– управление конфигурацией изделия;

– управление характеристиками объектов БД;

– хранение различных документов (комплектов документов);

– управление изменениями;

– регистрация статусов (утверждений) документов и других информационных объектов;

– ведение организационной структуры и управление ролями сотрудников;

– управление технологическими данными;

– управление потоками работ (WorkFlowManagement);

– управление описанием экземпляров и партий изделий;

– поиск объектов БД по различным критериям;

– управление разграничением доступа к объектам БД;

– генерация отчетов.

В качестве основы модели данных, обеспечивающей представление самых различных данных об изделии, выбран международный CALS-стандарт – ISO 10303 – STEP (ГОСТ Р ИСО 10303). Стандарт регламентирует логическую структуру БД, номенклатуру информационных объектов, хранимых в БД, их атрибуты и связи.

База данных подсистемы АСОНИКА-УМ реализована в СУБД Microsoft SQLServer 2000, обеспечивающей хорошую масштабируемость и высокую устойчивость к различным сбоям.

Подсистема АСОНИКА-УМ может быть инсталлирована как в десктопном варианте, так и в сетевом. Вариант инсталляции основан на инсталляции десктопного или сетевого (в том числе корпоративного уровня) экземпляра сервера БД СУБД Microsoft SQL Server 2000.

Для обеспечения эффективного распределения вычислительной нагрузки при одновременной работе большого числа пользователей и низких требованях к программно-аппаратному оснащению пользовательских мест АСОНИКА-УМ имеет двухуровневую сетевую архитектуру, состоящую из сетевого и клиентского приложений.

Сетевое приложение обеспечивает интерфейс администратора подсистемы АСОНИКА-УМ со справочными таблицами (словарями) БД.

Клиентское приложение обеспечивает интерфейс пользователей с функционалом подсистемы АСОНИКА-УМ.

5.3.2. Интерфейс и базовые функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ

Для настройки информационного пространства в подсистеме АСОНИКА-УМ реализованы следующие возможности:

– организация структуры рабочих групп (она может соответствовать структуре подразделений предприятия);

– организация структуры категорий информационных объектов;

– организация характеристик информационных объектов и единиц измерения;

– определение типов документов;

– определение статусов;

– определение ролей сотрудников;

– определение контекстов продуктов;

– создание сортаментов и профилей применяемых материалов;

– определение перечня технологических операций, переходов и предметов труда.

За исключением структуры рабочих групп, вся эта информация должна соответствовать существующим нормативным актам (ГОСТам, ОСТам, стандартам предприятия, руководящим документам и т. д.) и заноситься в базу данных однократно при настройке системы на конкретном предприятии.

Интерфейс главного окна модуля настройки информационного пространства («Настройка словарей БД АСОНИКА-УМ») приведен на рис. 5.29.

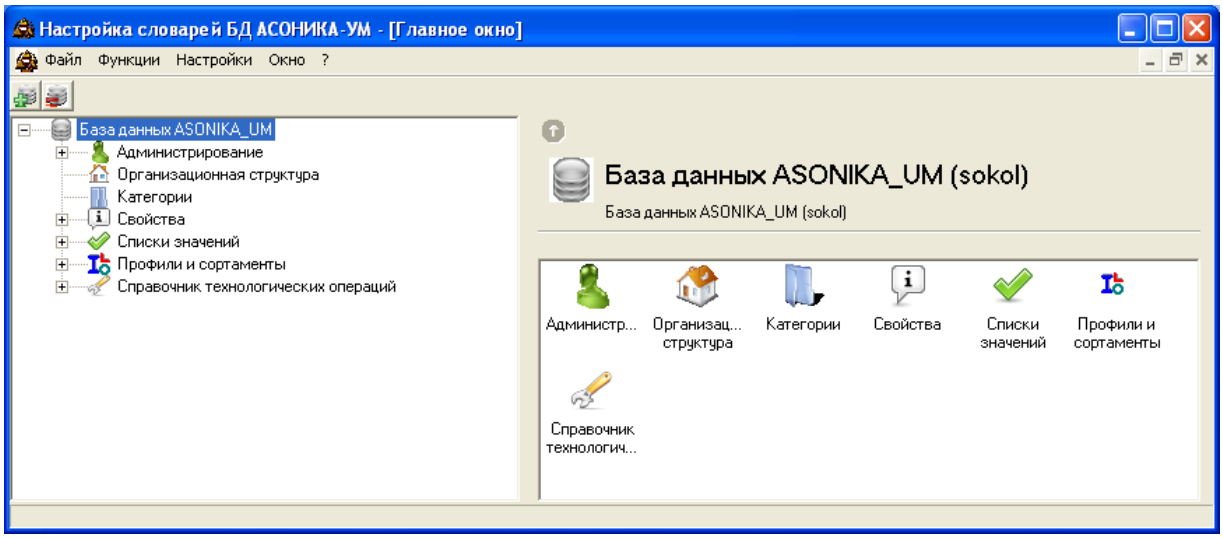


Рис. 5.29. Интерфейс главного окна модуля настройки информационного пространства («Настройка словарей БД АСОНИКА-УМ»)

Ниже приведено краткое описание возможностей и интерфейса части функций по настройке информационного пространства подсистемы АСОНИКА-УМ.

Создание организационной структуры рабочих групп становится доступным при нажатии на пиктограмму «Организационная структура» в окне, представленном на рис. 5.30.

Структура рабочих групп может быть иерархической. На рис. 5.31 видно, что здесь доступно создание описаний рабочих групп, создание описаний сотрудников и удаление этих описаний из БД или удаление описаний из рабочей группы (при этом удаляемое описание перемещается в рабочую группу, стоящую выше по иерархии).

Внешний вид окна для описания сотрудника представлен на рис. 5.32.

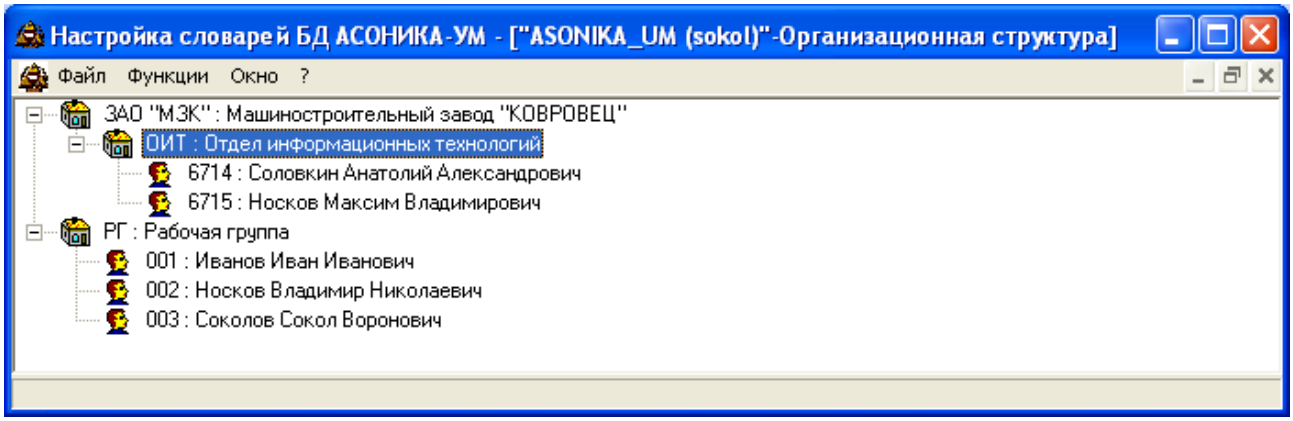


Рис. 5.30. Создание организационной структуры рабочих групп

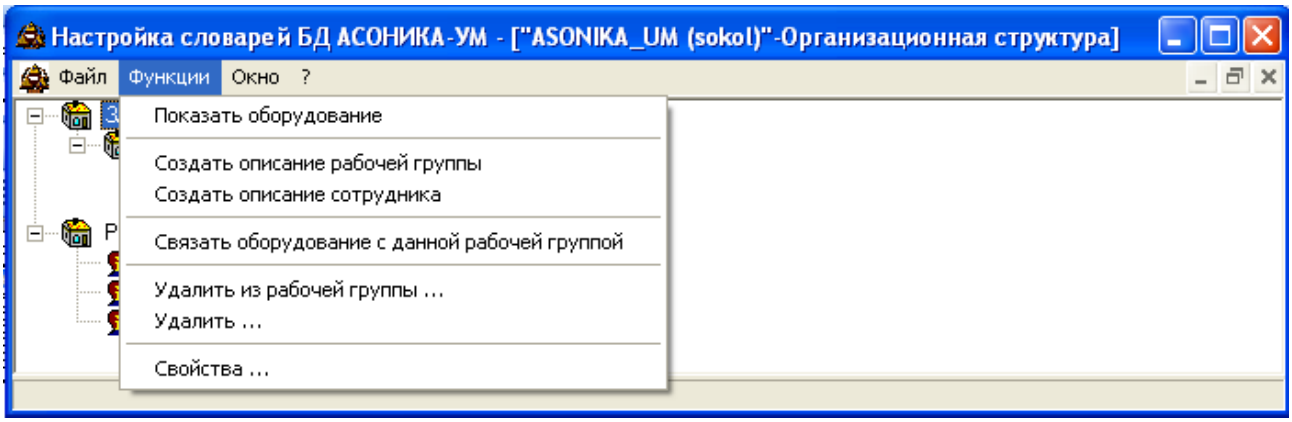


Рис. 5.31. Создание описаний рабочих групп и сотрудников

Выполняемые сотрудником роли должны быть выбраны из списка возможных ролей, формирование которого доступно в справочнике ролей (Главное окно – Списки значений –Роли).

Подсистема АСОНИКА-УМ позволяет создавать неограниченное количество систем классификаций информационных объектов БД. Реализуются эти системы классификаций созданием категорий. Например, категория может представлять организацию, информация об изделиях которой представлена в БД АСОНИКА-УМ. В категориях можно отразить классификацию, например, стандартных изделий, покупных комплектующих, материалов и т. д. (рис. 5.33).

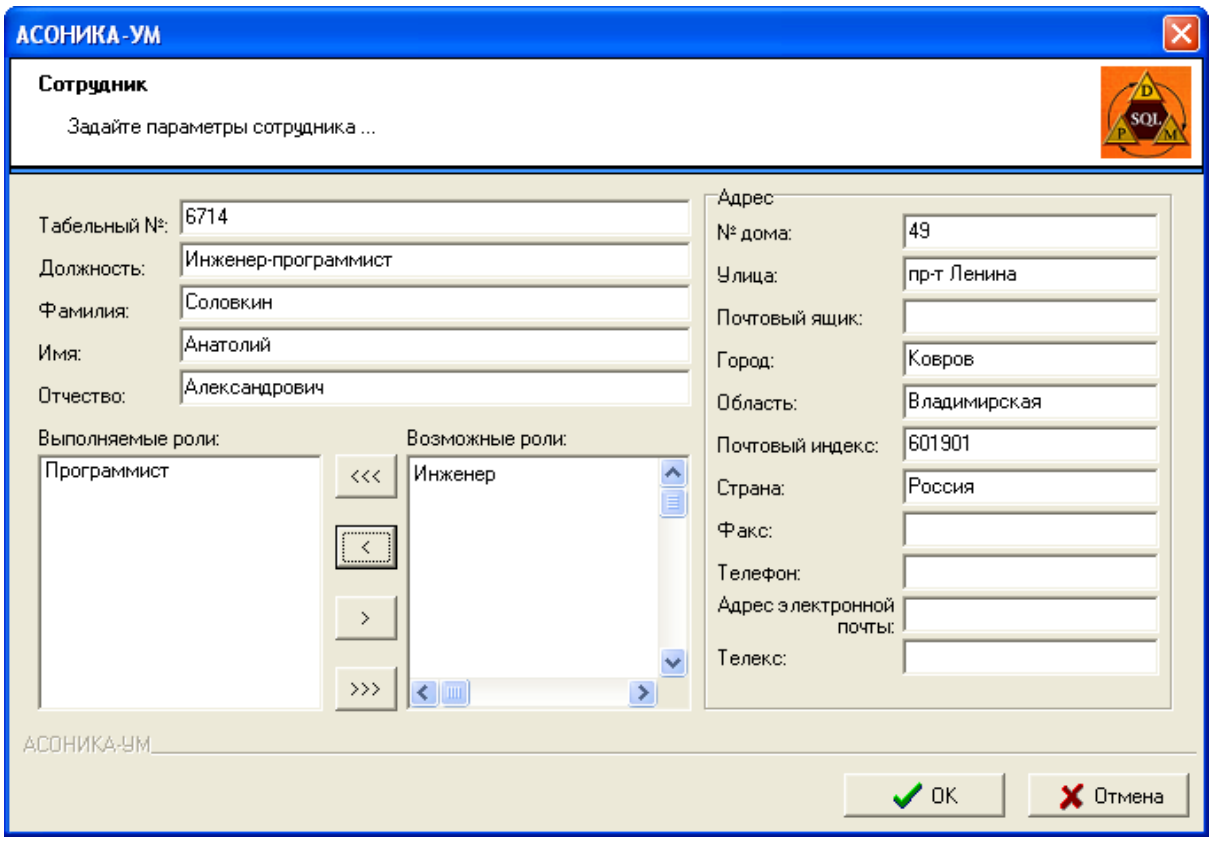


Рис. 5.32. Задание параметров сотрудника

С информационными объектами БД АСОНИКА-УМ, такими как «Изделие», «Материал», «Документ» и т. д., может ассоциироваться набор характеристик.Характеристики в БД АСОНИКА-УМ представлены объектами «Характеристика» и «Группа характеристик».Перечень возможных характеристик может легко дополняться (рис. 5.34).

Важным атрибутом характеристики является «тип», с помощью которого одна и та же характеристика может присоединяться к изделию на разных стадиях жизненного цикла. Например, при получении

технического задания на разработку к изделию может быть присоединена характеристика «Ресурс» с типом «Требуемая», при выполнении проверочного расчета – с типом «Расчетная», а после испытаний опытного образца – с типом «Измеренная».

Характеристики, представляющие тайну, могут быть доступны только конкретным сотрудникам (для этого используется функция разграничения доступа). Для легитимности характеристик им могут назначаться статусы.

Для удобства работы с набором характеристик, часто применяемых совместно, можно использовать информационный объект «Группа характеристик» (рис. 5.35).

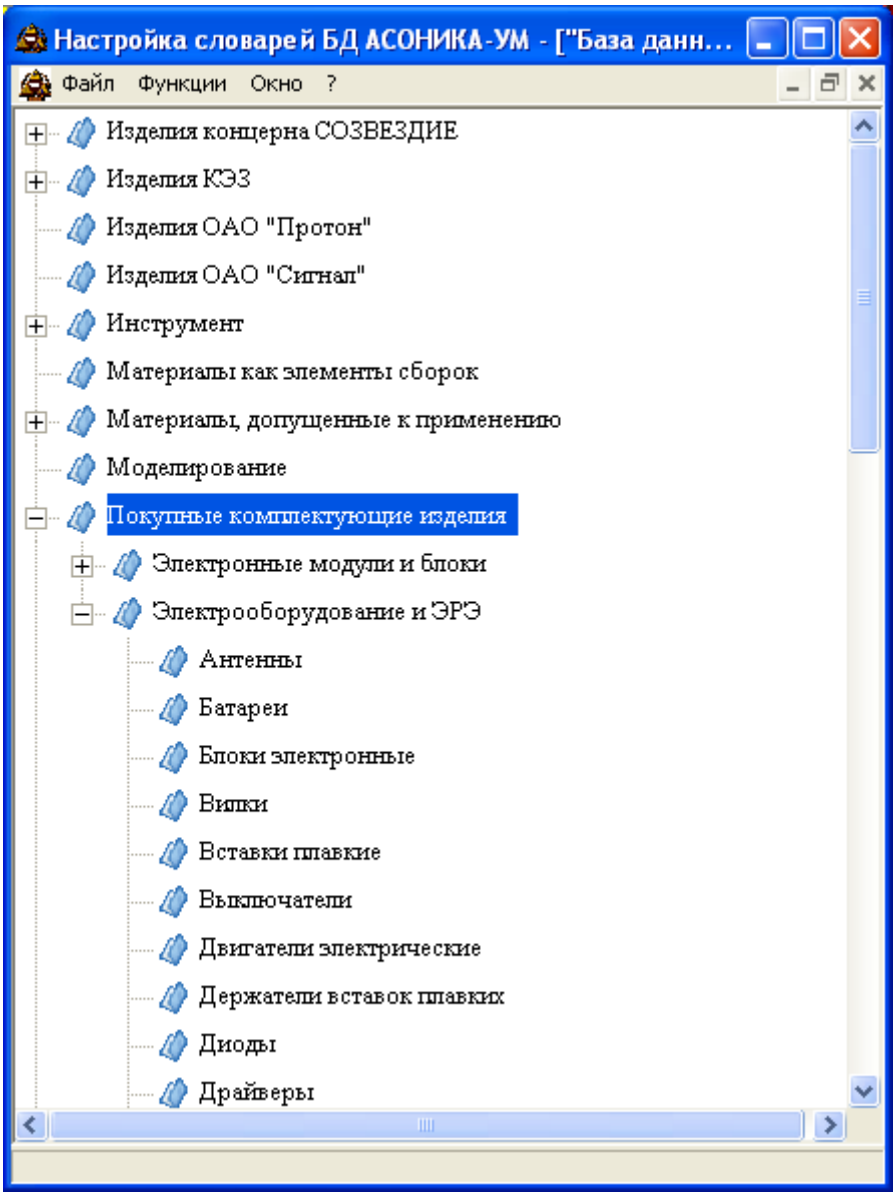


Рис. 5.33. Организация структуры категорий информационных объектов

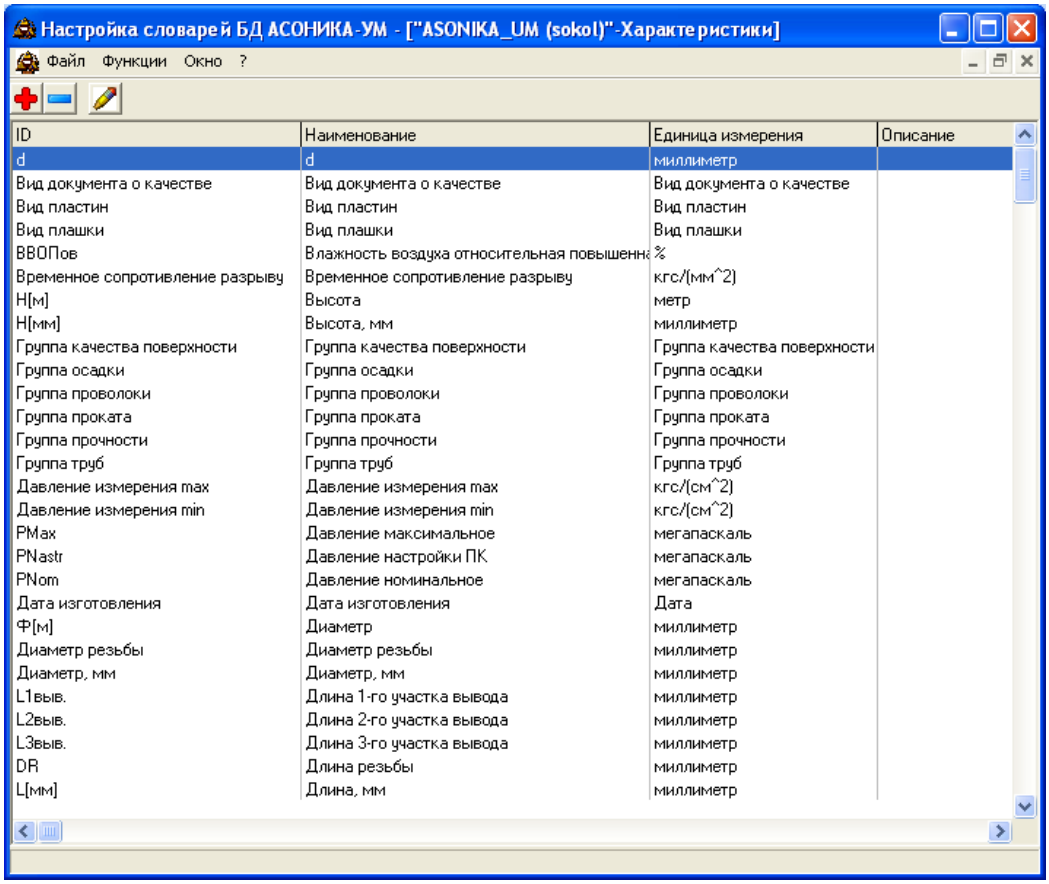


Рис. 5.34. Окно настройки словарей БД АСОНИКА-УМ
в режиме редактирования характеристик

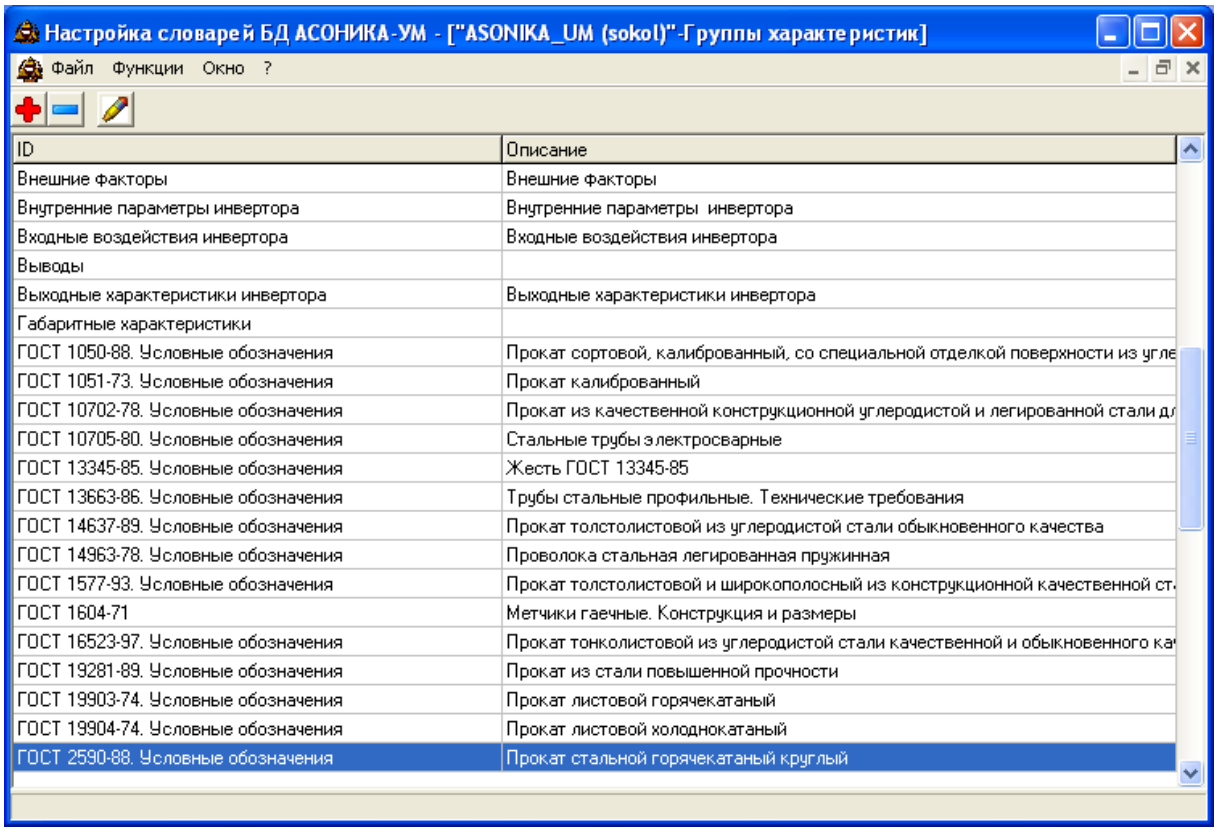


Рис. 5.35. Информационный объект «Группа характеристик»

При организации группы характеристик «Внешние факторы», например, окно будет выглядеть, как показано на рис. 5.36.

Единицы измерения – понятие, описывающее характеристику или определяющее возможные значения характеристики. АСОНИКА-УМ позволяет создавать следующие единицы измерения:

– «Единица измерения СИ» – базовая единица измерения СИ с префиксом (например, километр, микрограмм и т. д.);

– «Контекстно-зависимая единица измерения» – нестандартная единица измерения, размерность которой раскладывается по базису (метр, грамм, секунда, ампер, кельвин, моль, люмен). Пример создания контекстно-зависимой единицы измерения приведен на рис. 5.37;

– «Производная единица измерения» – единица измерения, полученная умножением другой единицы измерения на число (например, 1 час = 3 600 секунд);

– «Вычисляемая единица измерения» – единица измерения, полученная произведением других единиц измерения в задаваемых степенях (например, километр в час = километр^{1}·час$^{-1}$);

– «Заданная списком значений единица измерения» – значение характеристики, описываемой данной единицей измерения, – одно из возможных значений, заданных в единице измерения;

– «Описательная единица измерения» – значение характеристики, описываемой данной единицей измерения, – строка;

– «Денежная единица измерения» – единица измерения, описывающая денежные характеристики;

– «Точка во времени» – значение характеристики, представленное в виде конкретной даты и времени суток;

– «Табличная единица измерения» – единица измерения, структура которой представлена в виде таблицы, столбцами которой являются другие, уже имеющиеся, единицы измерения (например, табличная единица измерения, состоящая из двух столбцов: «время» (ед. измерения – «Точка во времени»); «описание отказа» (ед. измерения – «Описательная единица измерения»), для задания характеристики «Журнал отказов»).

Окно создания / редактирования единиц измерения приведено на рис. 5.38.

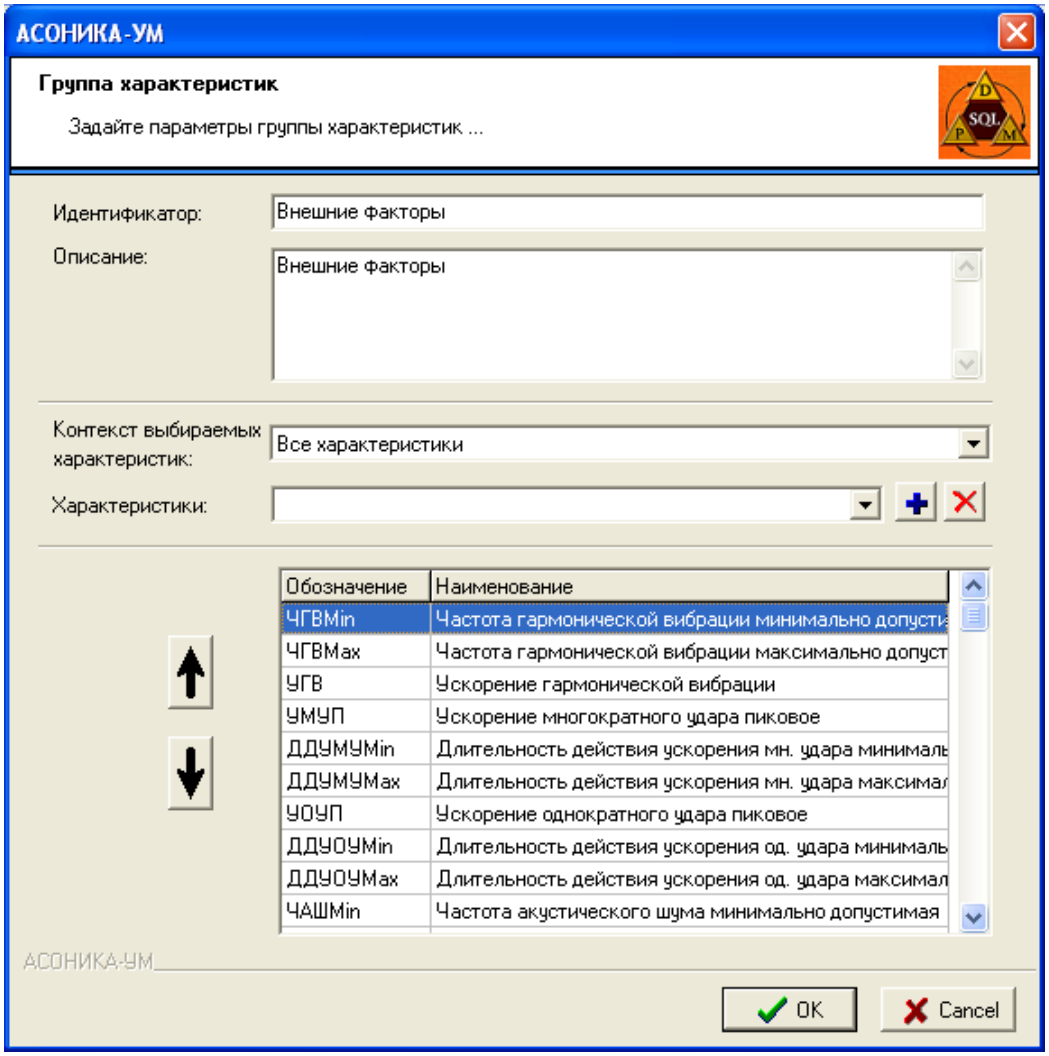


Рис. 5.36. Окно создания новой характеристики

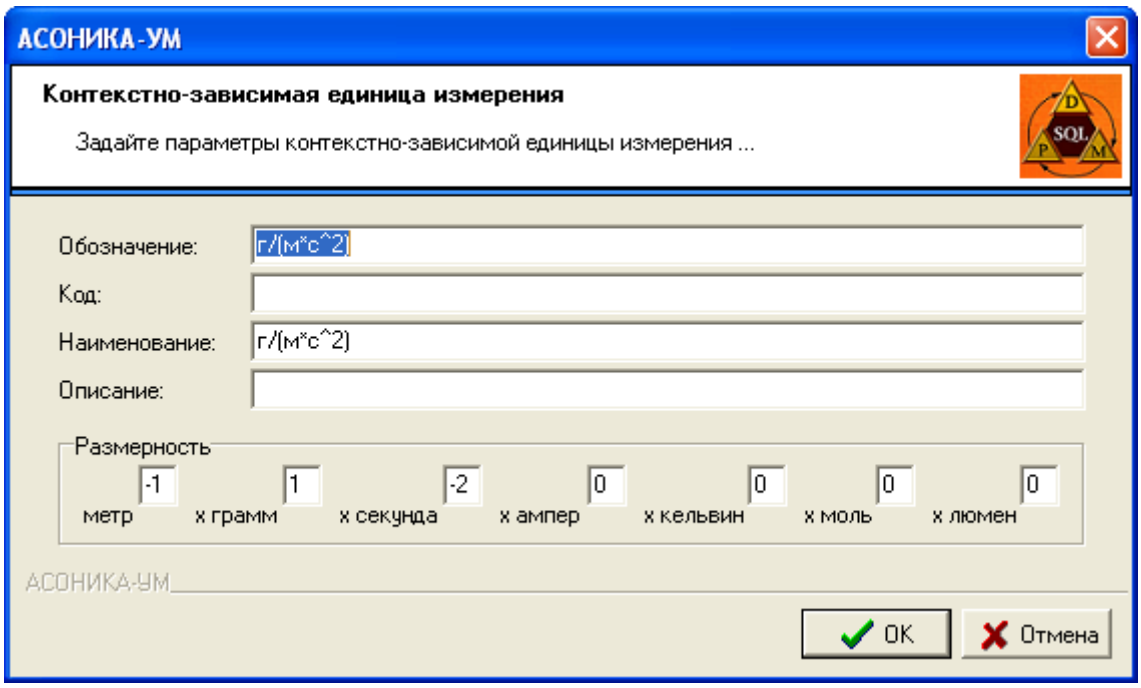
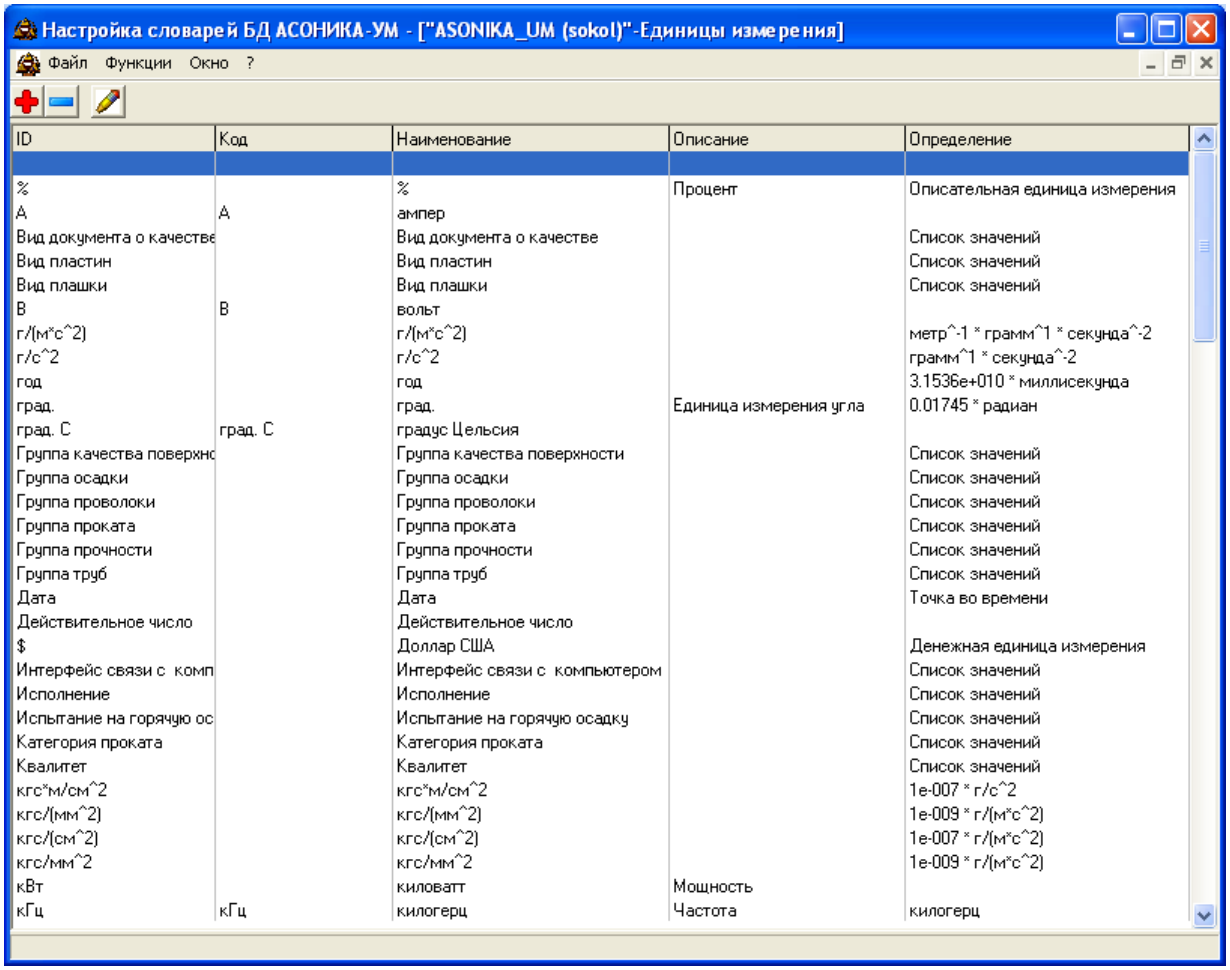


Рис. 5.37. Пример создания контекстно-зависимой единицы измерения



ID	Код	Наименование	Описание	Определение
%		%	Процент	Описательная единица измерения
A	A	ампер		
Вид документа о качестве		Вид документа о качестве		Список значений
Вид пластин		Вид пластин		Список значений
Вид плашки		Вид плашки		Список значений
B	B	вольт		
г/(м*с^2)		г/(м*с^2)		метр^-1 * грамм^1 * секунда^-2
г/с^2		г/с^2		грамм^1 * секунда^-2
год		год		3.1536e+010 * миллисекунда
град.		град.	Единица измерения угла	0.01745 * радиан
град. С	град. С	градус Цельсия		
Группа качества поверхно		Группа качества поверхности		Список значений
Группа осадки		Группа осадки		Список значений
Группа проволоки		Группа проволоки		Список значений
Группа проката		Группа проката		Список значений
Группа прочности		Группа прочности		Список значений
Группа труб		Группа труб		Список значений
Дата		Дата		Точка во времени
Действительное число		Действительное число		
$		Доллар США		Денежная единица измерения
Интерфейс связи с комп		Интерфейс связи с компьютером		Список значений
Исполнение		Исполнение		Список значений
Испытание на горячую ос		Испытание на горячую осадку		Список значений
Категория проката		Категория проката		Список значений
Квалитет		Квалитет		Список значений
кгс*м/см^2		кгс*м/см^2		1e-007 * г/с^2
кгс/(мм^2)		кгс/(мм^2)		1e-009 * г/(м*с^2)
кгс/(см^2)		кгс/(см^2)		1e-007 * г/(м*с^2)
кгс/мм^2		кгс/мм^2		1e-009 * г/(м*с^2)
кВт		киловатт	Мощность	
кГц	кГц	килогерц	Частота	килогерц

Рис. 5.38. Окно создания / редактирования единиц измерения

АСОНИКА-УМ позволяет хранить различные типы электронных документов. Это могут быть конструкторские документы (например, спецификация, чертеж, сборочный чертеж и т. д.) либо технологические (например, маршрутная карта, операционная карта, ведомость расцеховки, отчеты по НИОКР, отчеты по расчетам изделий и т. д.).

Особым типом документа, связанным с интеграцией АСОНИКА-УМ с расчетными подсистемами системы АСОНИКА, является документ типа «Проект <Имя подсистемы>», который представляет собой архивированный составной документ, состоящий из всех файлов проекта соответствующей расчетной подсистемы (рис. 5.39).

При назначении материала для изготовления изделия технолог назначает ГОСТ на марку (химический состав) материала и выбирает сортамент (указывает профиль и типоразмер), в котором должен поставляться материал.В результате появится окно создания / редактирования профилей (рис. 5.40), окно создания / редактирования сортаментов (рис. 5.41).

Для облегчения проектирования технологического процесса в АСОНИКА-УМ существует «Технологический справочник», в котором собрана информация обо всех операциях, переходах, предметах производства по многим известным видам обработки (рис. 5.42). Вся информация в «Технологическом справочнике» по каждому виду обработки структурирована согласно ГОСТу на соответствующий вид обработки. С каждой технологической операцией справочника пользователь может ассоциировать оборудование (из организационной структуры предприятия), на котором возможно выполнение данной операции.

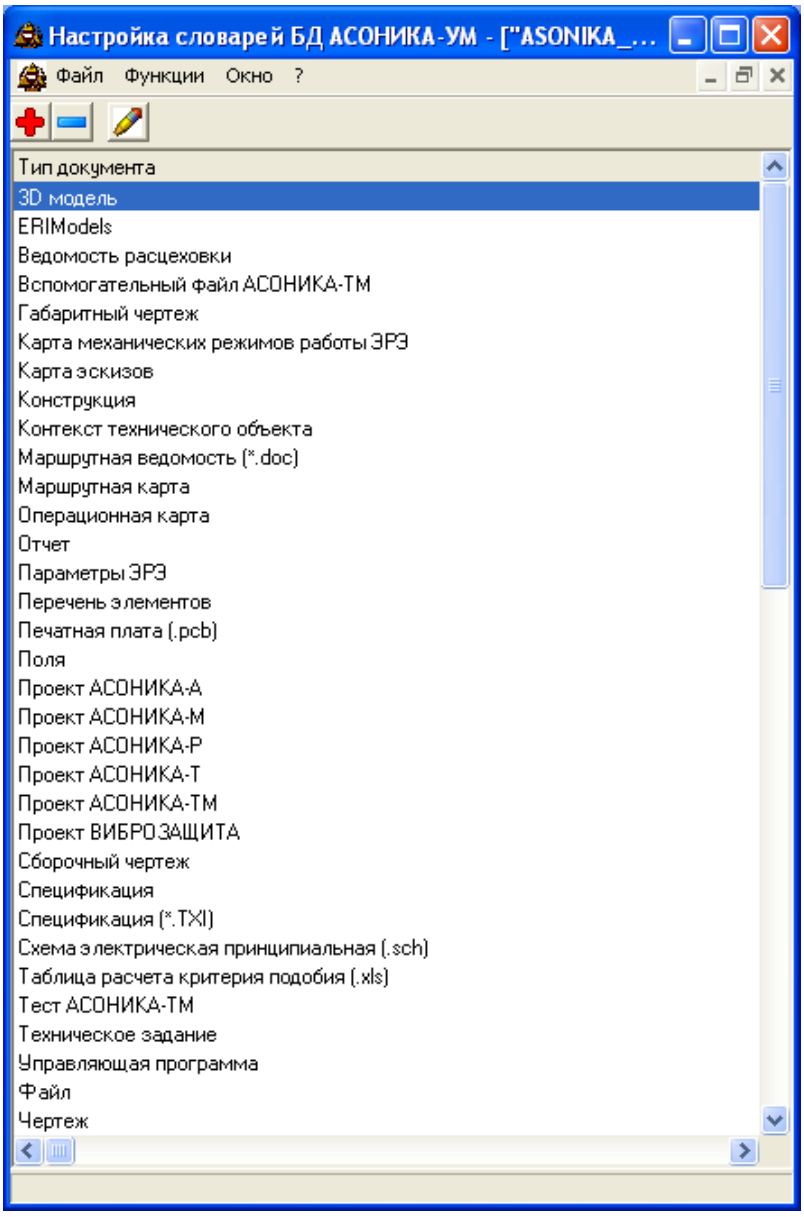
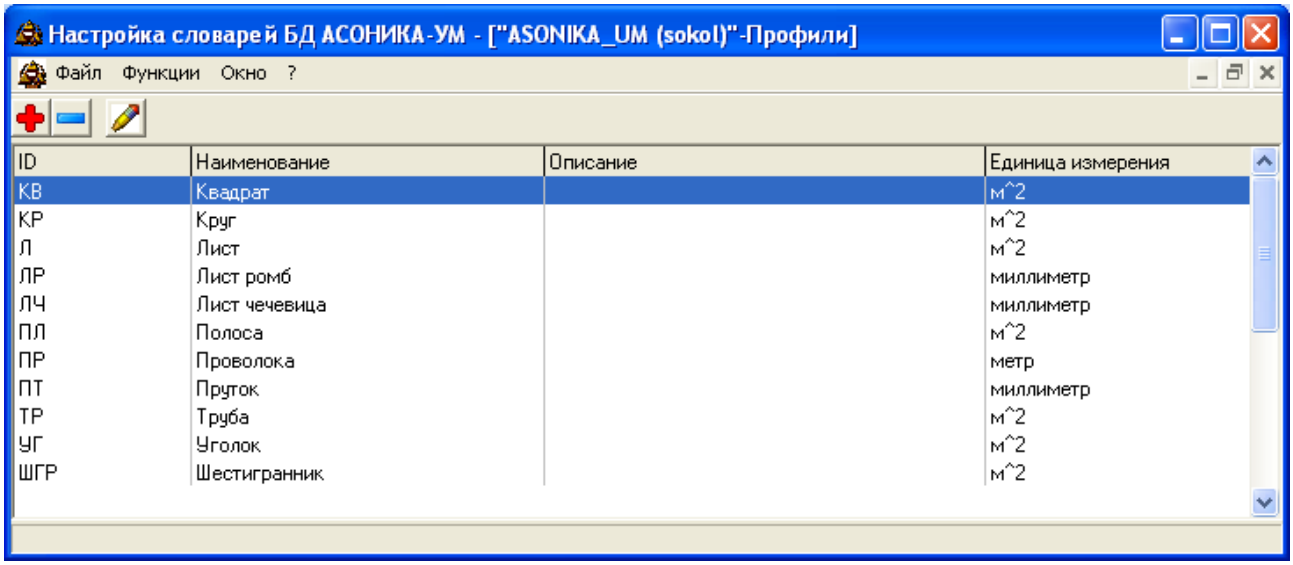
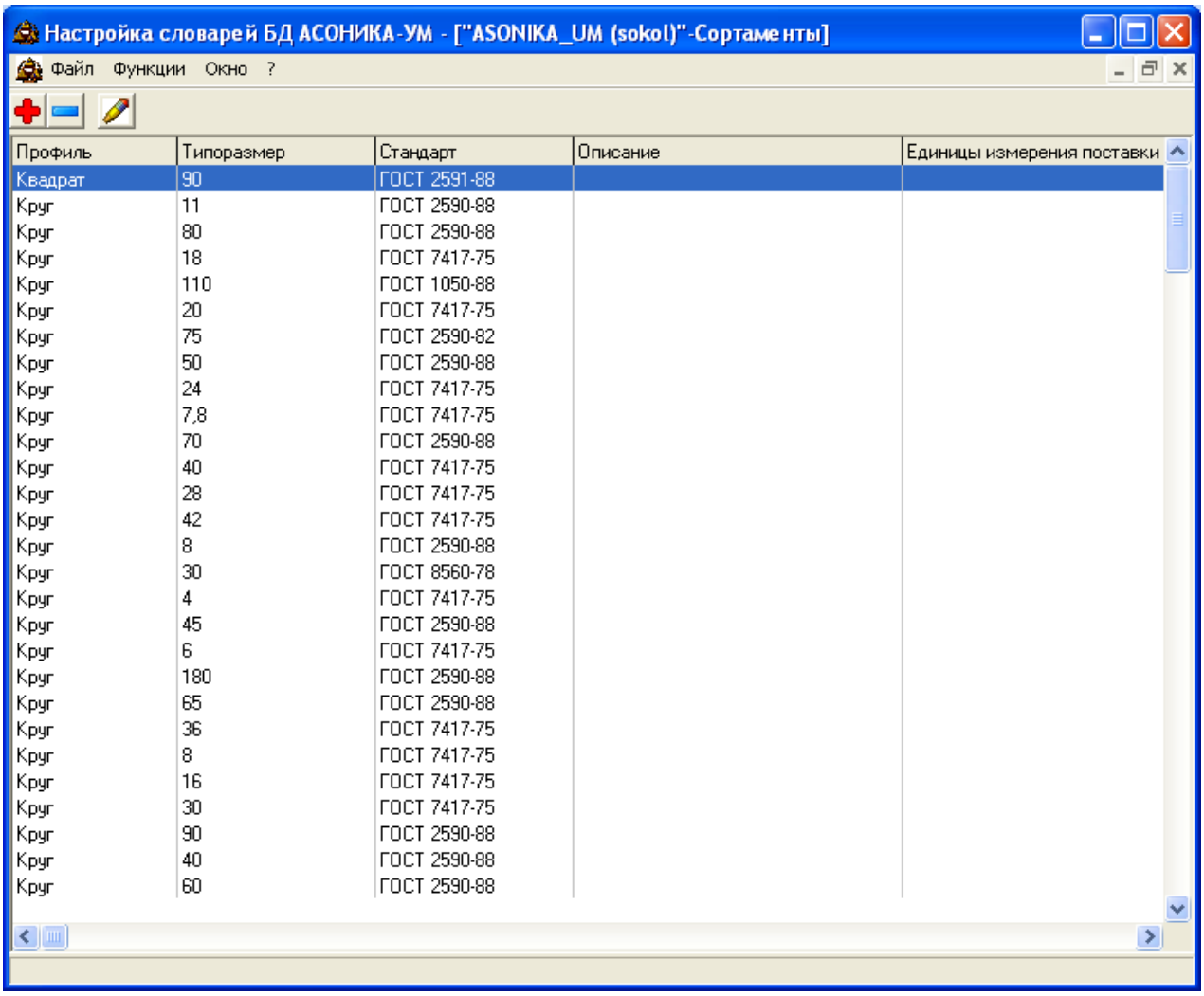


Рис. 5.39. Определение типов документов



ID	Наименование	Описание	Единица измерения
КВ	Квадрат		м^2
КР	Круг		м^2
Л	Лист		м^2
ЛР	Лист ромб		миллиметр
ЛЧ	Лист чечевица		миллиметр
ПЛ	Полоса		м^2
ПР	Проволока		метр
ПТ	Пруток		миллиметр
ТР	Труба		м^2
УГ	Уголок		м^2
ШГР	Шестигранник		м^2

Рис. 5.40. Создание / редактирование профилей



Профиль	Типоразмер	Стандарт	Описание	Единицы измерения поставки
Квадрат	90	ГОСТ 2591-88		
Круг	11	ГОСТ 2590-88		
Круг	80	ГОСТ 2590-88		
Круг	18	ГОСТ 7417-75		
Круг	110	ГОСТ 1050-88		
Круг	20	ГОСТ 7417-75		
Круг	75	ГОСТ 2590-82		
Круг	50	ГОСТ 2590-88		
Круг	24	ГОСТ 7417-75		
Круг	7,8	ГОСТ 7417-75		
Круг	70	ГОСТ 2590-88		
Круг	40	ГОСТ 7417-75		
Круг	28	ГОСТ 7417-75		
Круг	42	ГОСТ 7417-75		
Круг	8	ГОСТ 2590-88		
Круг	30	ГОСТ 8560-78		
Круг	4	ГОСТ 7417-75		
Круг	45	ГОСТ 2590-88		
Круг	6	ГОСТ 7417-75		
Круг	180	ГОСТ 2590-88		
Круг	65	ГОСТ 2590-88		
Круг	36	ГОСТ 7417-75		
Круг	8	ГОСТ 7417-75		
Круг	16	ГОСТ 7417-75		
Круг	30	ГОСТ 7417-75		
Круг	90	ГОСТ 2590-88		
Круг	40	ГОСТ 2590-88		
Круг	60	ГОСТ 2590-88		

Рис. 5.41. Свойства сортамента

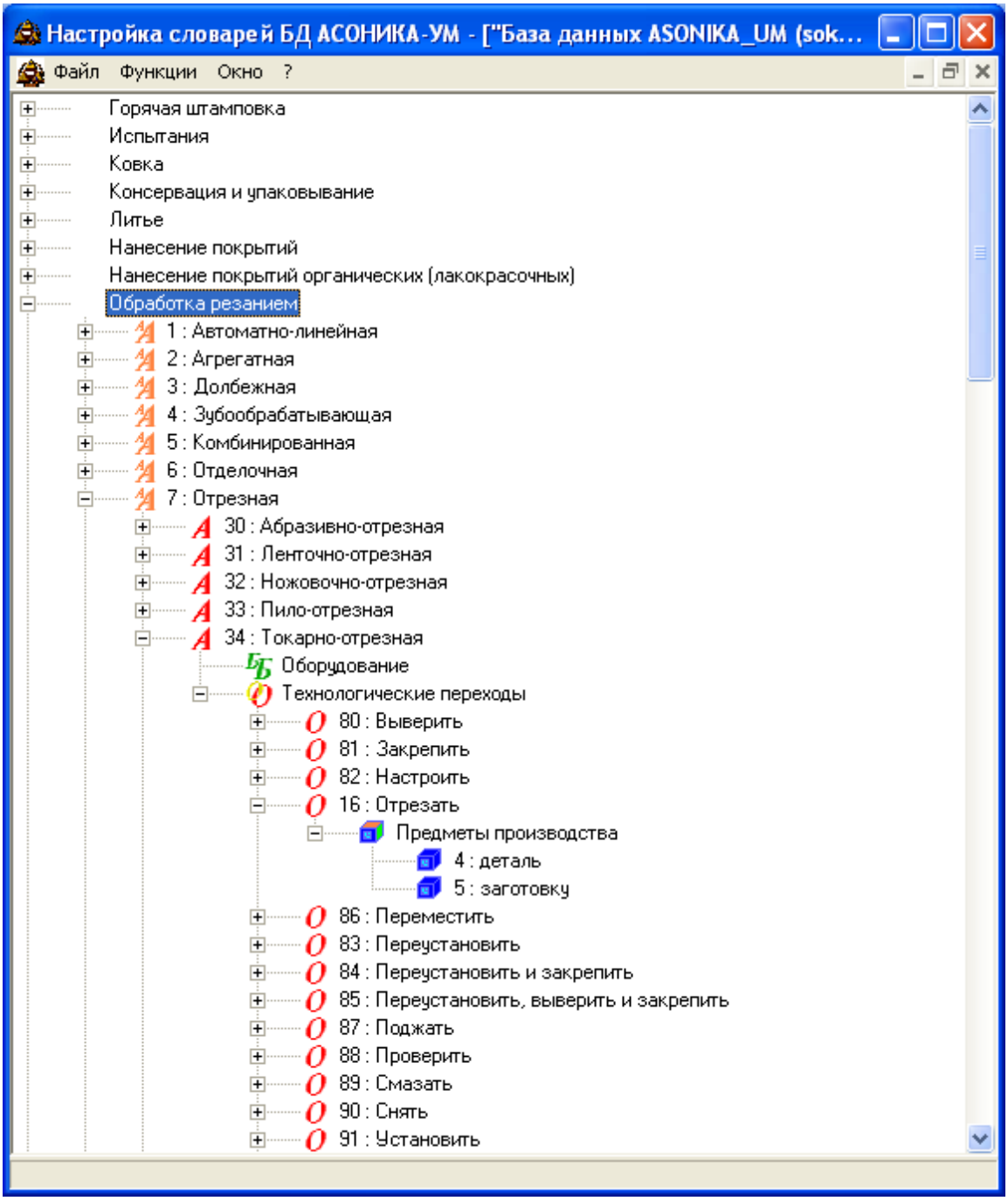


Рис. 5.42. Перечень технологических операций, переходов и предметов труда

5.3.3. Интерфейс и функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по созданию электронных моделей изделий

Для создания электронных моделей изделий в подсистеме АСОНИКА-УМ реализованы следующие возможности:

– аутентификация пользователя;
– создание и изменение изделий;
– управление версиями изделий;
– управление справочниками и классификаторами изделий;

– управление вариантами состава изделия;

– управление изменениями в составе изделия;

– управление конфигурацией изделия;

– управление документами и их изменениями;

– управление характеристиками объектов БД;

– управление статусами объектов БД;

– работа с экземплярами изделий;

– поиск объектов БД по различным критериям;

– разграничение доступа к объектам БД;

– импорт и экспорт данных.

Интерфейс главного окна модуля создания электронных моделей изделий («АСОНИКА-УМ клиент») приведен на рис. 5.43.

Главное окно модуля создания электронных моделей изделий условно можно разбить на области:

– главное меню;

– панель инструментов;

– многооконная область дерева объектов;

– панель навигатора. Панель отображает большую часть информации о выделенном объекте.

Модуль предоставляет два способа просмотра ассоциированной с объектом информации: непосредственно в дереве объектов (в многооконной области) и при помощи специального окна «Панель навигатора». Это окно содержит большую часть информации о выбранном объекте. Для отображения панели навигатора необходимо в главном меню установить флажок «Вид –Панель навигатора».

Панель навигатора состоит из вкладок, показывающих информацию различного рода. Одна вкладка отображает один тип информации (объекты одного типа). Информация во вкладке представлена в виде таблицы, столбцы которой содержат свойства объекта, а строки – перечень объектов. В зависимости от выбранного объекта состав вкладок может меняться. Например, при выборе версии изделия в панели навигатора имеет место следующий состав вкладок:

– описание объекта;

– состав;

– документы;

– заменяющие;

– где используется.

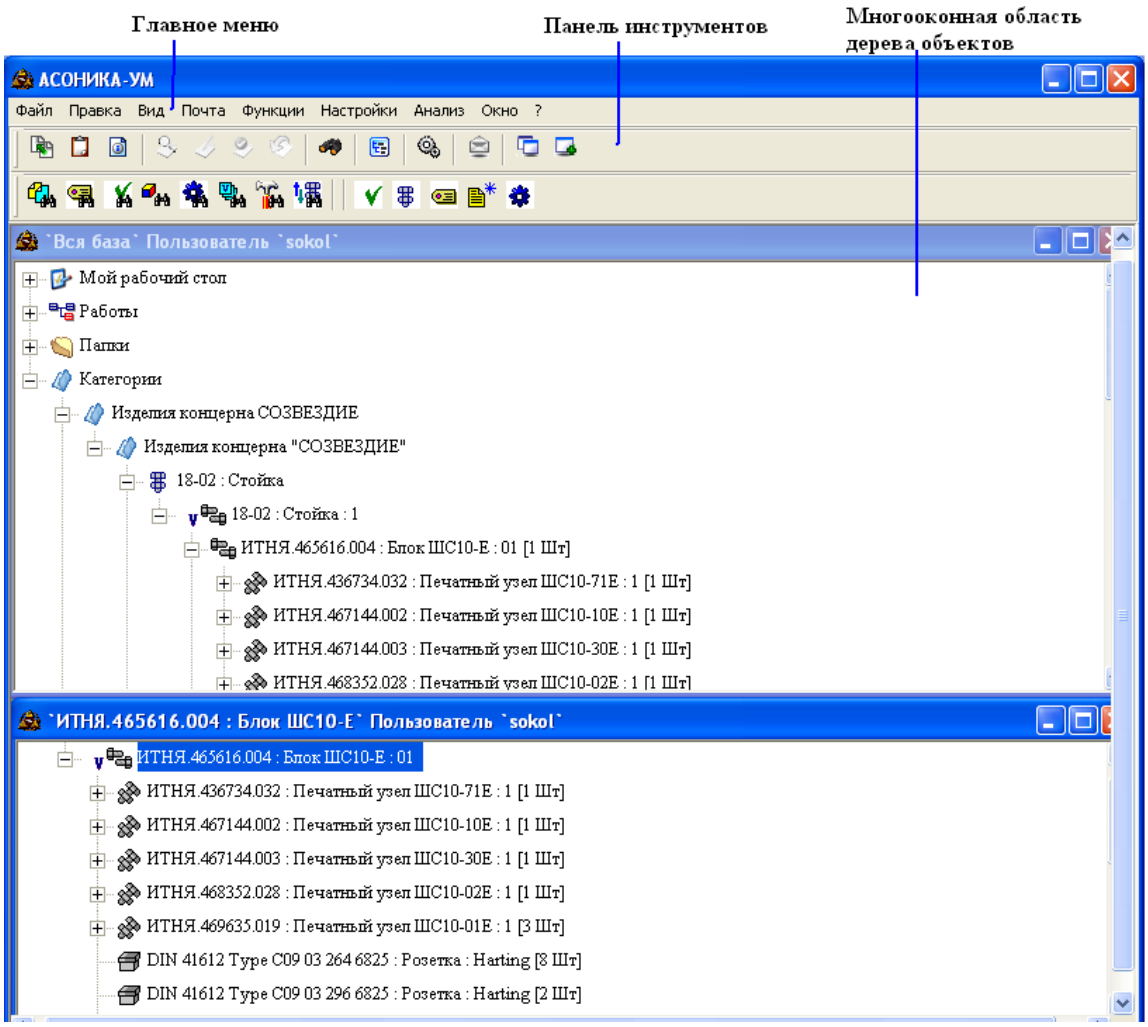


Рис. 5.43. Главное окно модуля создания электронных моделей изделий

Внешний вид окна «Панель навигатора» представлен на рис. 5.44.Состав изделий собственного производства в модуле создания электронных моделей изделий отображается в виде дерева (рис. 5.45). Изделие отображается как элемент категории иконкой .Изделие имеет версии, отображаемые иконкой . Версии изделия могут принимать следующие значения:

– деталь ();
– ЭРЭ ();
– сборочная единица ();
– печатный узел ();
– комплект ();
– комплекс ();
– материал ( ).

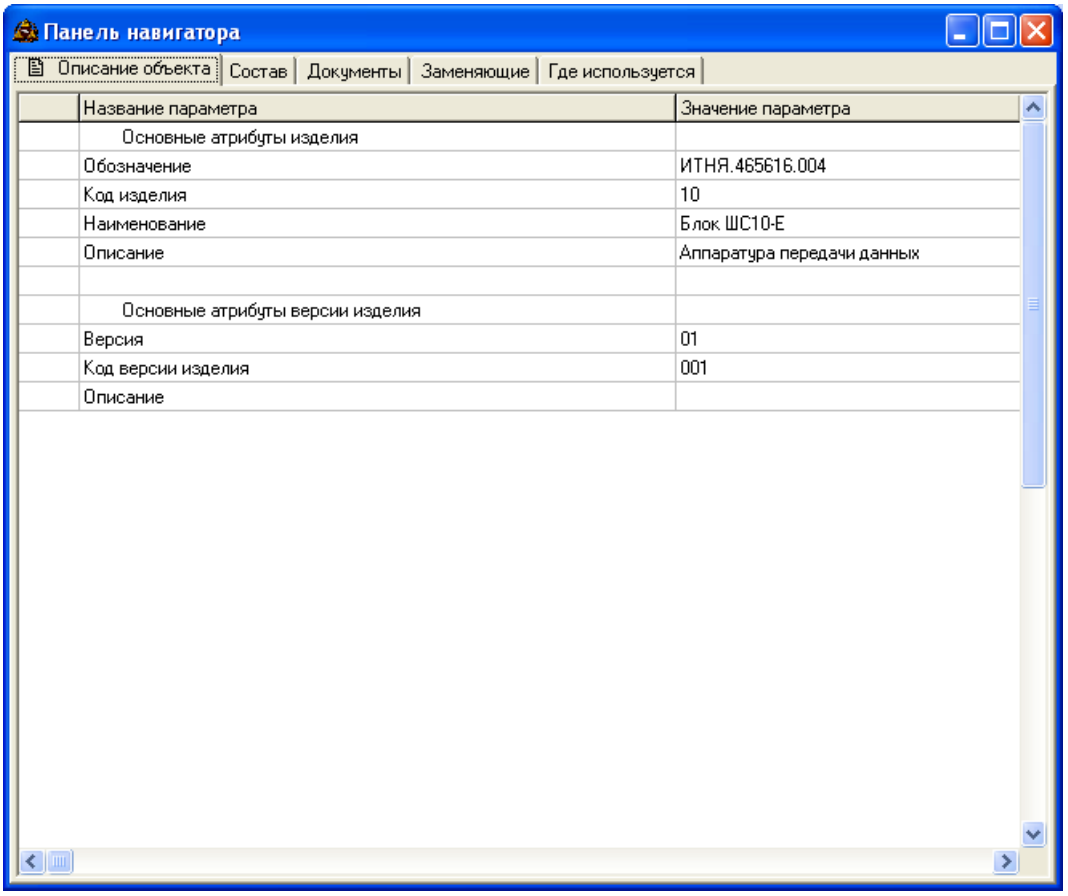


Рис. 5.44. Внешний вид окна «Панель навигатора»

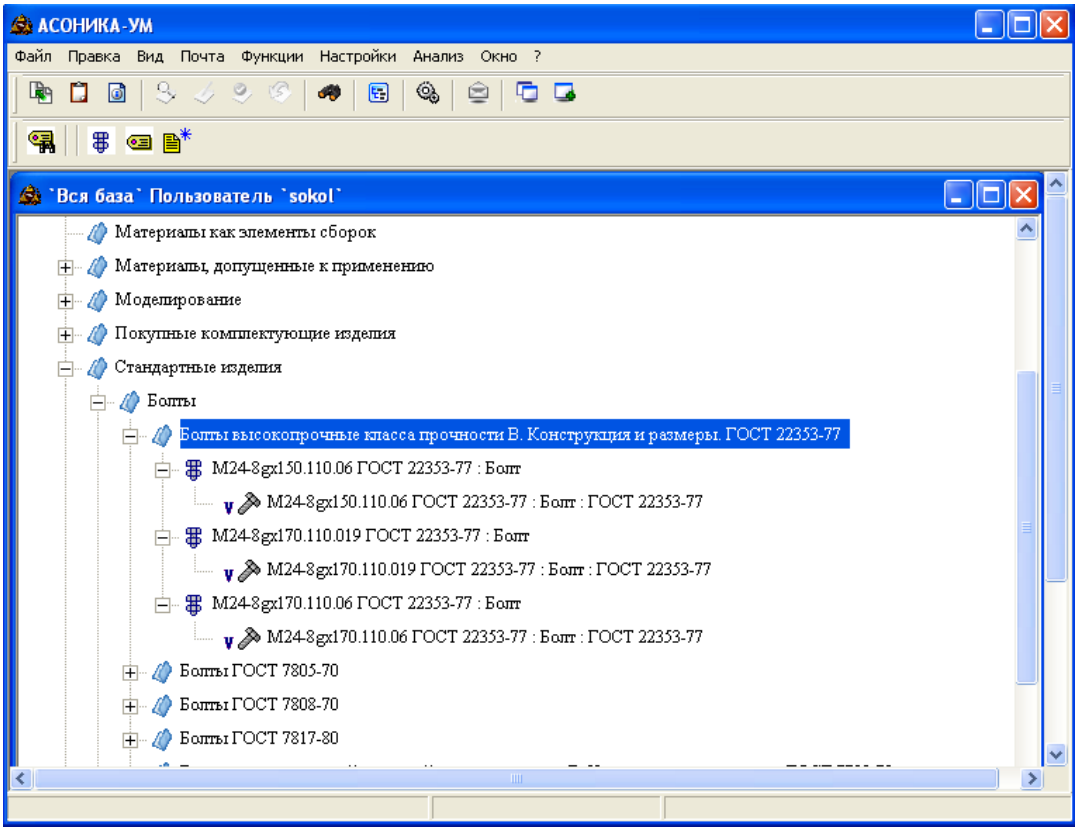


Рис. 5.45. Состав изделий собственного производства

Таким образом, фрагмент состава изделия, например, «АЮ-ИЖ.435331.015 Блок инвертора БИ», выглядит, как показано на рис. Рис. 5.46. Здесь же приведен функционал и интерфейс контекстных меню для работы с версиями изделий.

В состав изделия собственного производства часто включаются стандартные изделия. Стандартные изделия в БД АСОНИКА-УМ должны предварительно заноситься в категорию «Стандартные изделия». Попадать в состав вводимого изделия они должны операциями копирования и вставки.

Заполняться категория «Стандартные изделия» должна персоналом, имеющим права на ведение этого раздела БД, обычно – это персонал, ответственный за стандартизацию на предприятии.

Большая часть стандартных изделий – крепеж. В нашем случае – это болты, винты, гайки, шайбы и т. д., изготовляемые по различным ГОСТам.

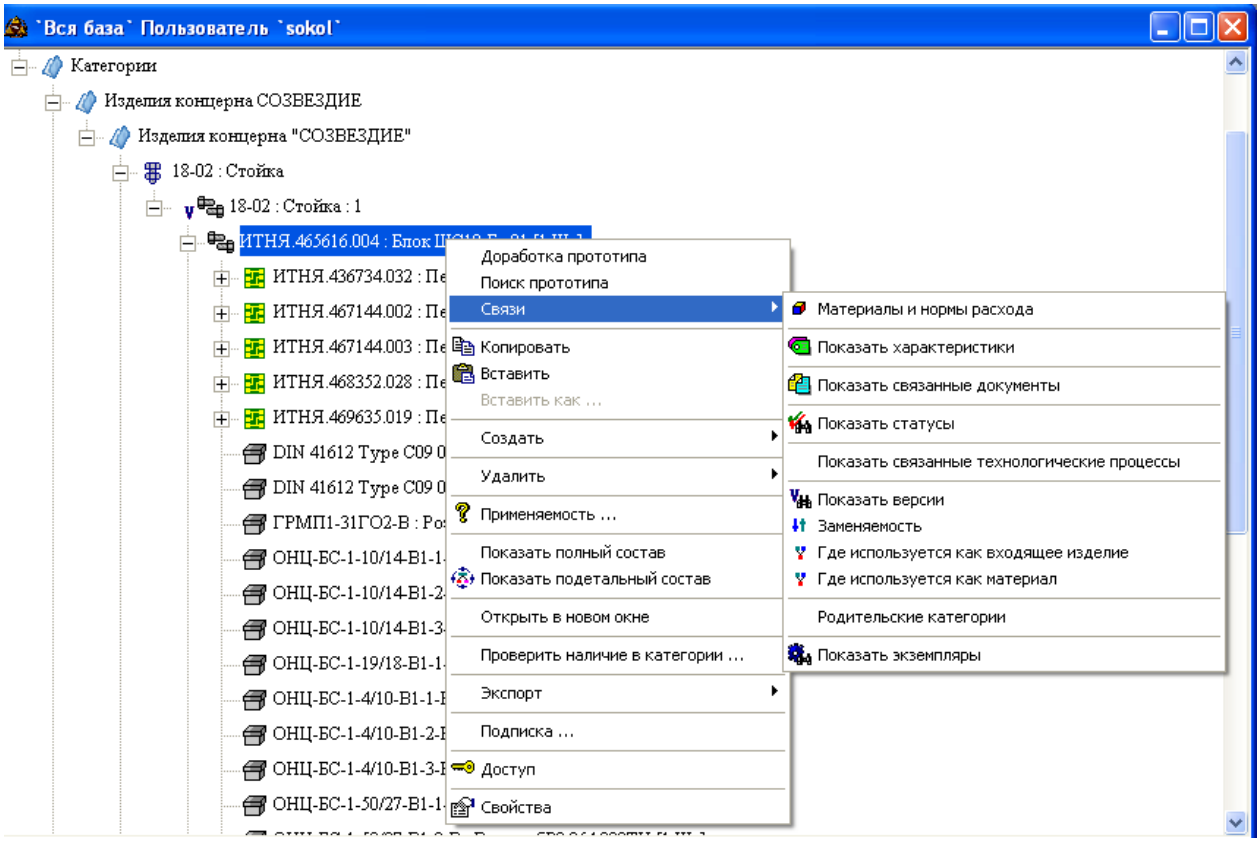


Рис. 5.46. Фрагмент состава изделия

Целесообразно в категории «Стандартные изделия» создать внутреннюю классификацию по типам стандартных изделий, например: «Болты», «Винты», «Втулки», «Гайки», «Заклепки» и т. д. Внут-

ри этих категорий придется создать еще один уровень категорий, соответствующий различным ГОСТам.

В состав изделия собственного производства часто включаются покупные комплектующие, не относящиеся к разряду стандартных. В изделиях радиоэлектронной аппаратуры это в основном электрорадиоэлементы и электронные модули и блоки.

В БД АСОНИКА-УМ для ЭРЭ и электронных модулей и блоков целесообразно создать соответствующие структуры категорий (например, как показано на рис. 5.47). Вести эти категории должны уполномоченные сотрудники предприятий.Например, для резисторов это может выглядеть, как показано на рис. 5.48.

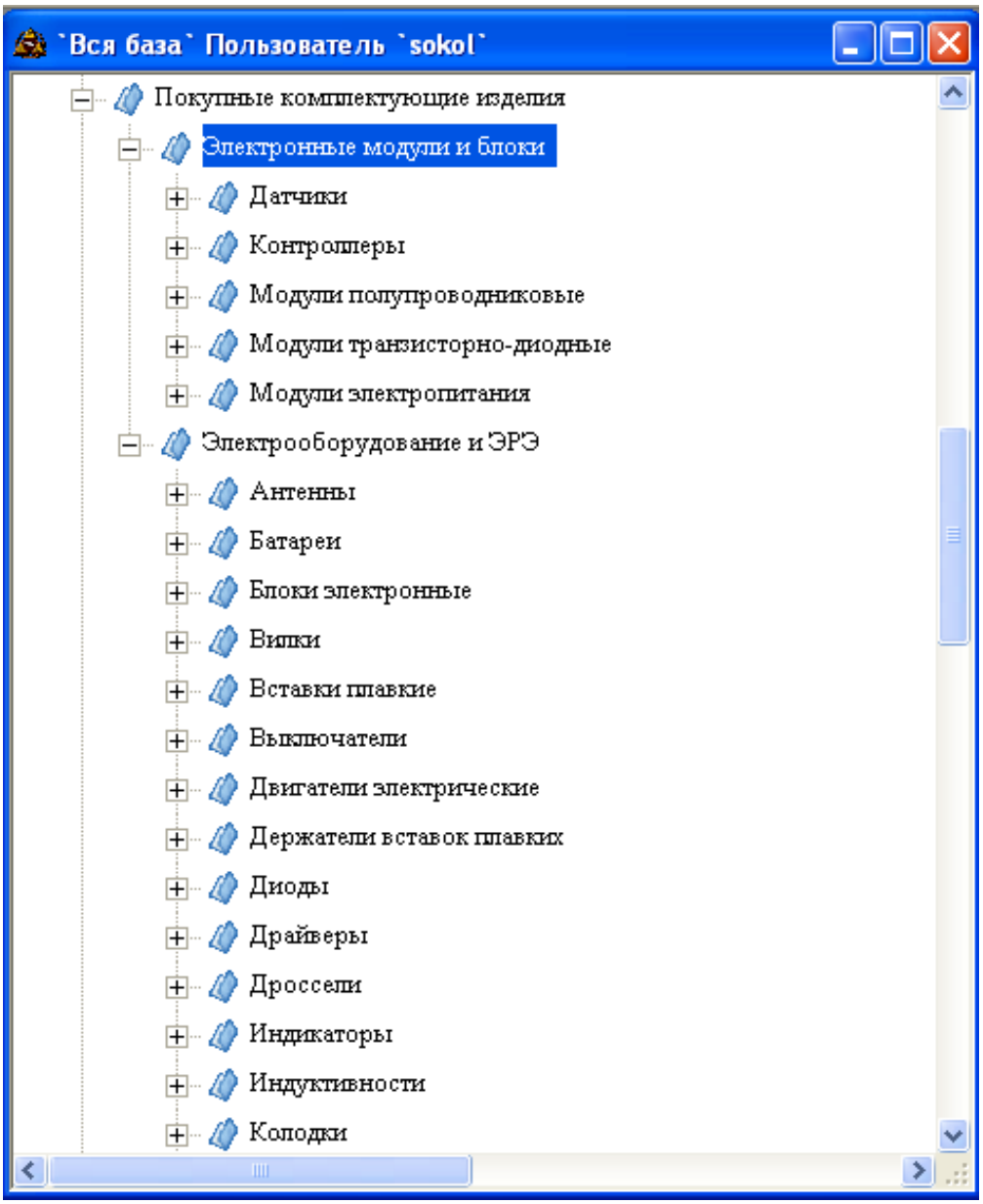


Рис. 5.47. Создание соответствующих структур категорий

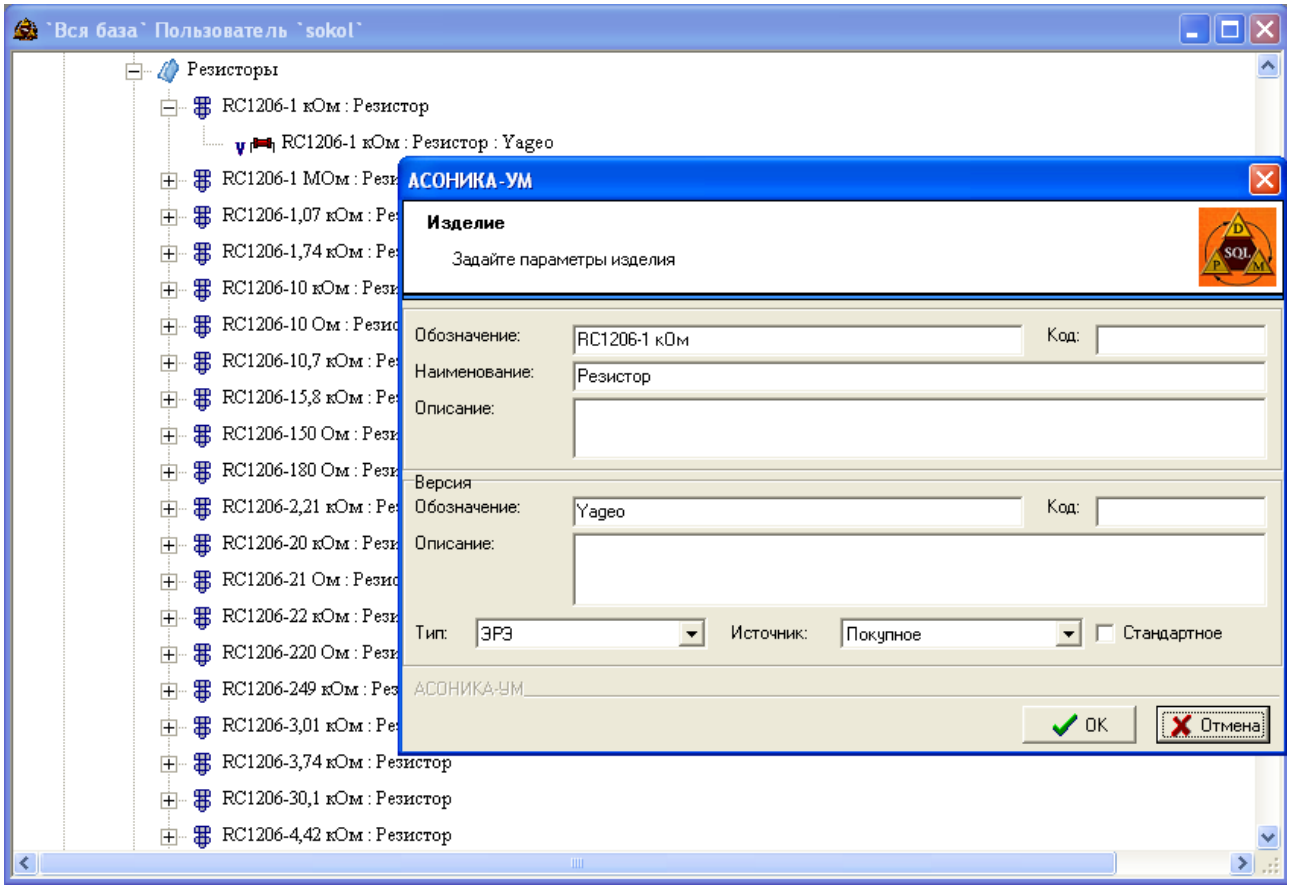


Рис. 5.48. Задание параметров изделия

Вариант организации информационного пространства АСОНИКА-УМ для работы с материалами, позволяющий представлять их характеристики в объектном виде, может состоять из следующих этапов:

– создание структуры категорий, соответствующих различным типам конструкционных материалов (рис. 5.49);

– создание групп характеристик на сортамент и марки материалов по соответствующим ГОСТам (рис. 5.50);

– создание информационных объектов, соответствующих конкретным конструкционным материалам (рис. 5.51).

Кроме характеристик, входящих в условную запись материалов, можно организовать хранение в БД АСОНИКА-УМ элементного состава и механических свойств материалов (рис. 5.52).

В БД АСОНИКА-УМ с изделием могут ассоциироваться несколько вариантов технологических процессов, что позволяет хранить альтернативные технологии изготовления.

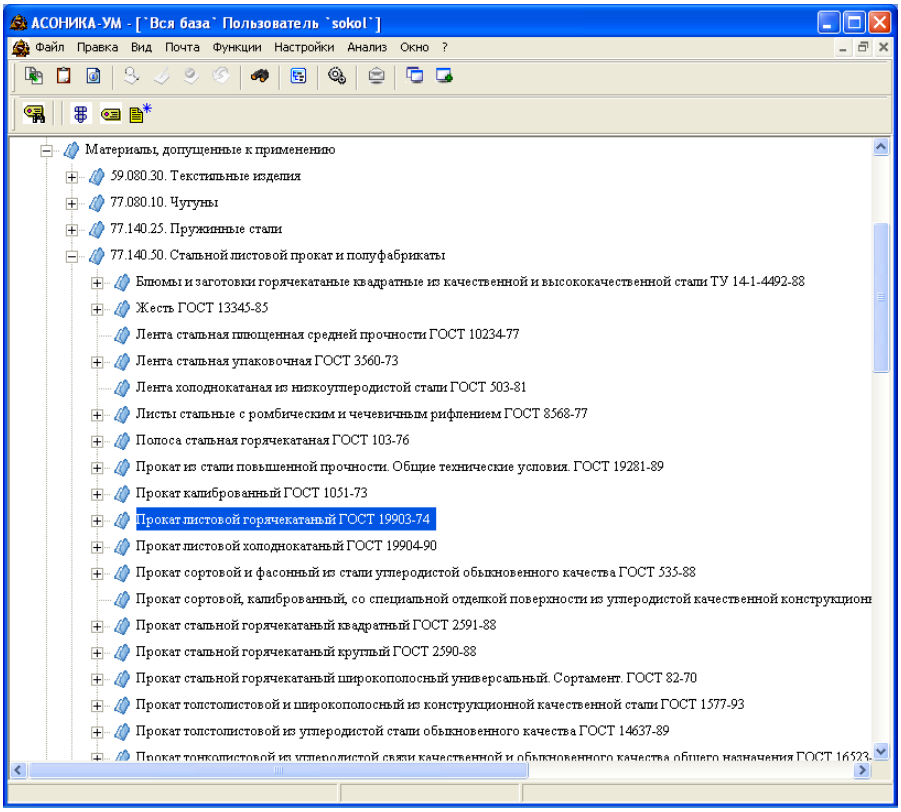


Рис. 5.49. Создание структуры категорий, соответствующих различным типам конструкционных материалов

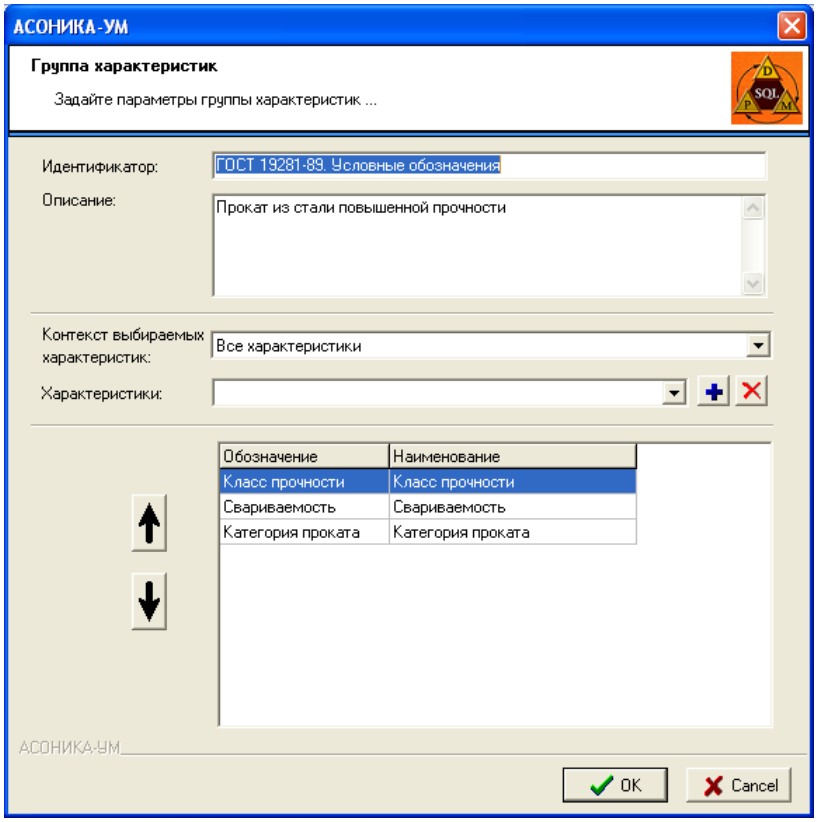


Рис. 5.50. Создание групп характеристик на сортамент и марки материалов по соответствующим ГОСТам

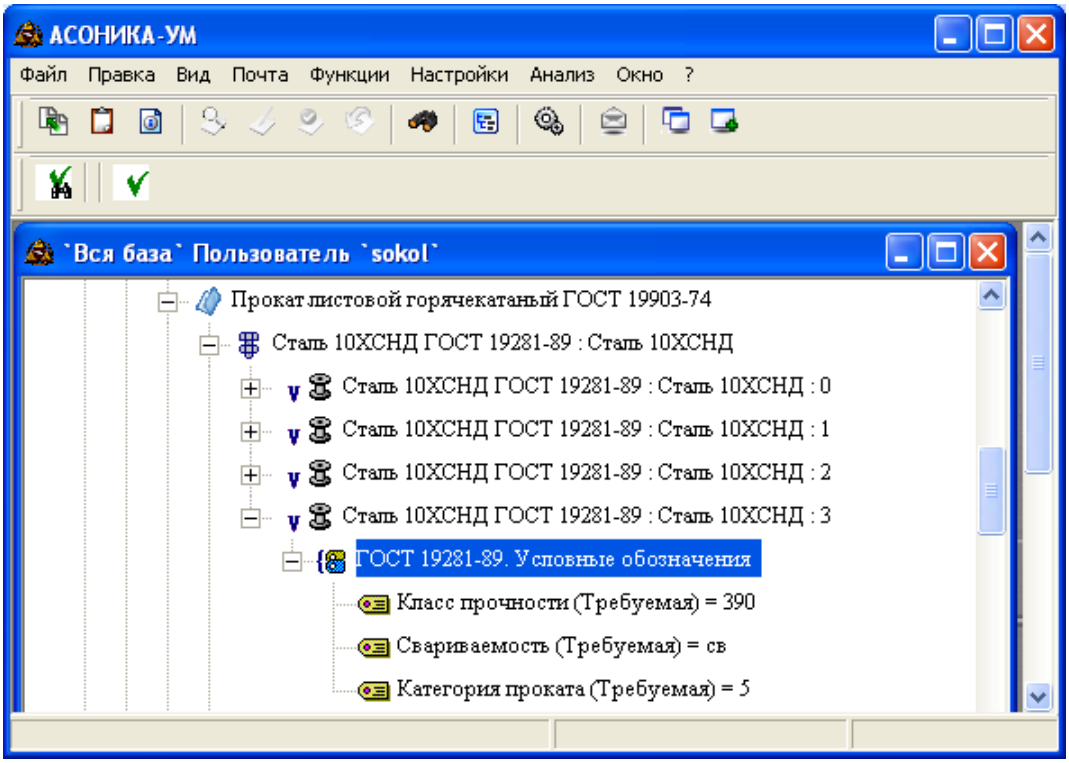


Рис. 5.51. Создание информационных объектов, соответствующих конкретным конструкционным материалам

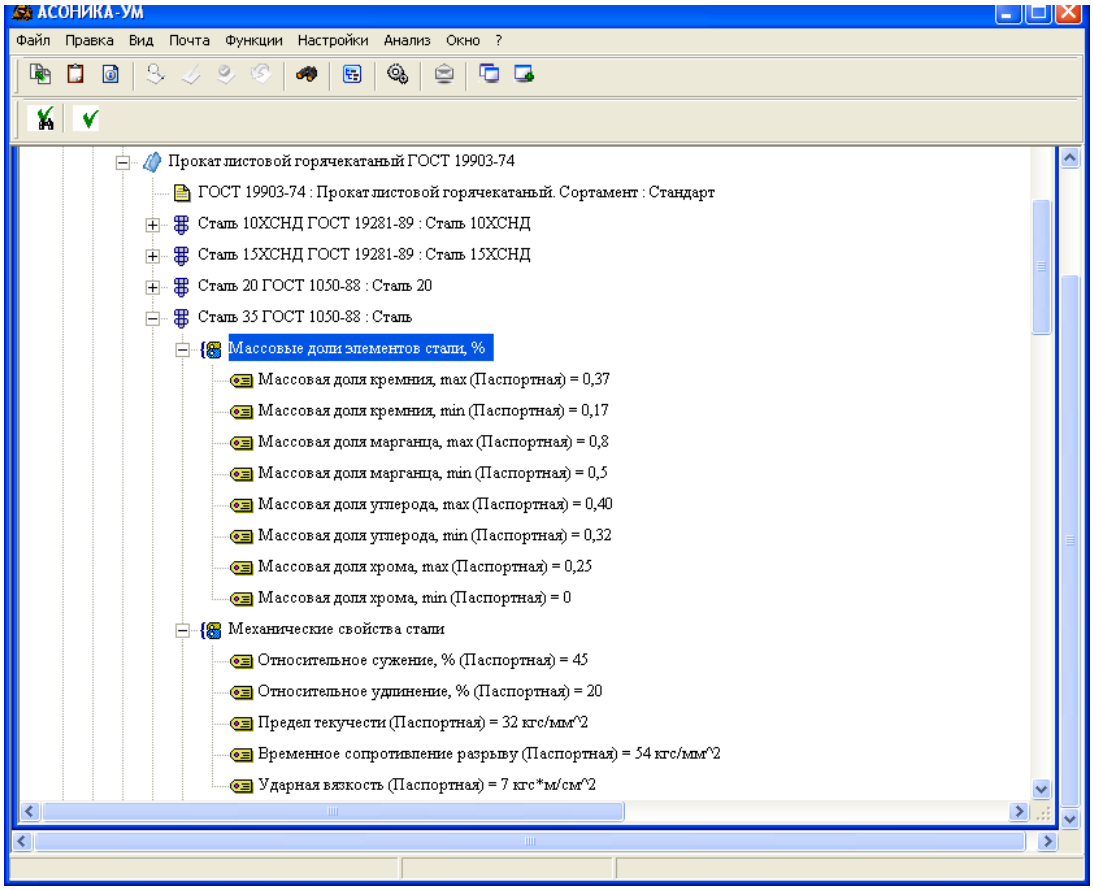


Рис. 5.52. Хранение в БД АСОНИКА-УМ элементного состава и механических свойств материалов

Для описания технологических процессов в АСОНИКА-УМ введены объекты «версия технологического процесса», «технологическая операция», «технологический переход».

Для каждого технологического процесса может задаваться заготовка (рис. 5.53).

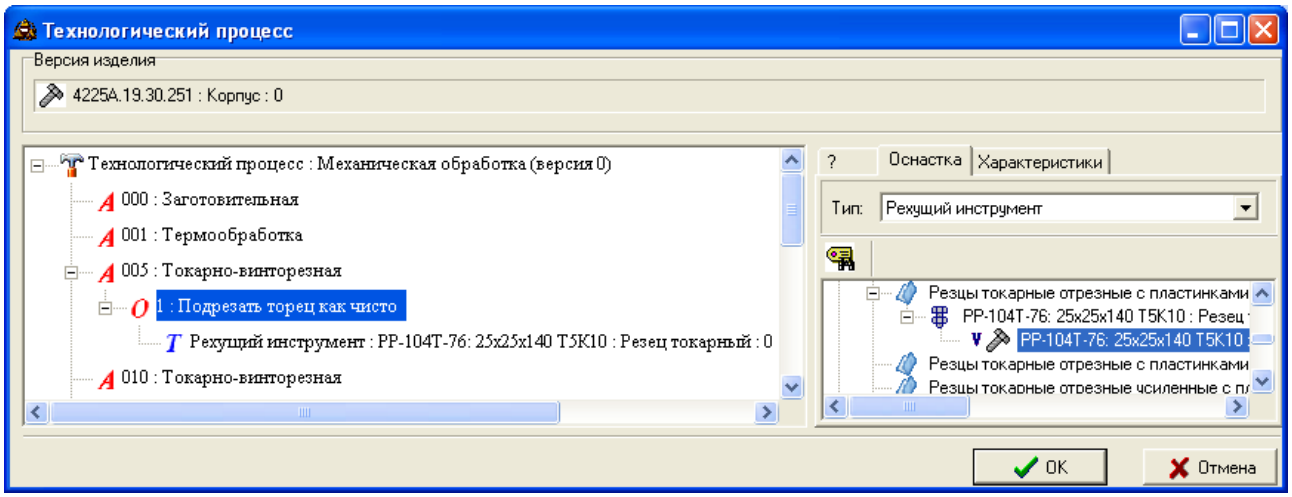


Рис. 5.53. Создание объектного представления технологических процессов

Для каждой технологической операции могут задаваться:

– цех, в котором производится данная технологическая операция;

– оборудование.

Для каждого технологического перехода могут задаваться:

– материалы (вспомогательные, драгметаллы и др.);

– оснащение (оснастка, инструмент и др.);

– людские ресурсы и др.

Свойства технологических операций и технологических переходов можно описывать при помощи характеристик, например, по ЕСТД – код операции, норма времени, разряд рабочего и др.

Для облегчения проектирования технологического процесса в АСОНИКА-УМ существует «Технологический справочник», в котором собрана информация обо всех операциях, переходах, предметах производства по многим известным видам обработки. Вся информация в «Технологическом справочнике» по каждому виду обработки структурирована согласно ГОСТу на соответствующий вид обработки.

С каждой технологической операцией справочника пользователь может ассоциировать оборудование (из организационной структуры предприятия), на котором возможно выполнение данной операции.

Возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по созданию электронных моделей изделий значительно шире, чем приведенные выше. Неполный перечень и краткое описание вышеприведенных возможностей объясняются ограничением размера главы.

5.3.4. Интерфейс и функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по интеграции подсистем системы АСОНИКА

Подсистема управления моделированием АСОНИКА-УМ интегрирована с моделирующими подсистемами АСОНИКА-М, АСОНИКА-Т, АСОНИКА-ТМ, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-В, АСОНИКА-Б, а также с CAD-системами КОМПАС и SolidWorks.

Интеграция позволяет сохранять проекты моделирующих подсистем в АСОНИКА-УМ в виде предопределенных типов документов: «Проект АСОНИКА-М», «Проект АСОНИКА-Т», «Проект АСОНИКА-ТМ», «Проект АСОНИКА-Р», «Проект Виброзащита», «Проект АСОНИКА-Б» (рис. 5.54).

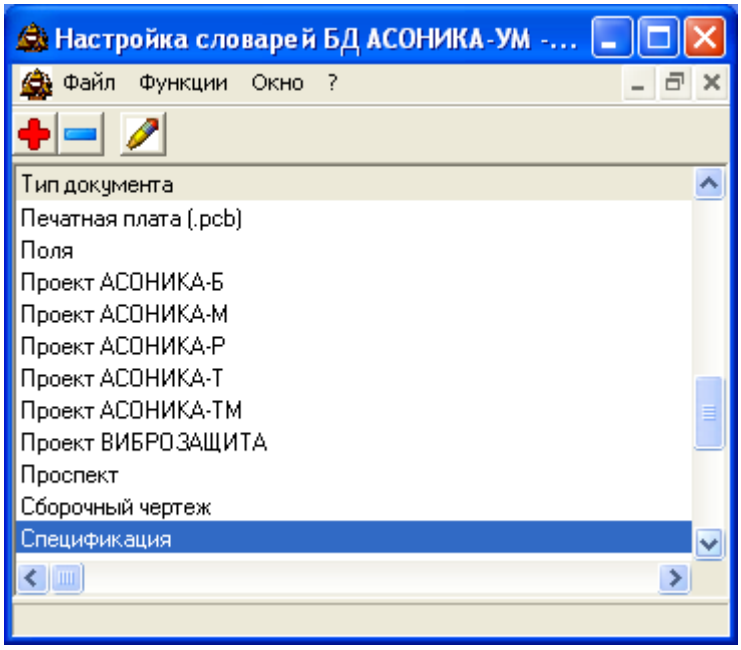


Рис. 5.54. Сохранение проектов моделирующих подсистем в АСОНИКА-УМ в виде предопределенных типов документов

Интеграция АСОНИКА-УМ с моделирующими подсистемами возможна, если в настройках дополнений АСОНИКА-УМ (рис. 5.55) добавить библиотеку «ASONIKA.dll» (рис. 5.56).

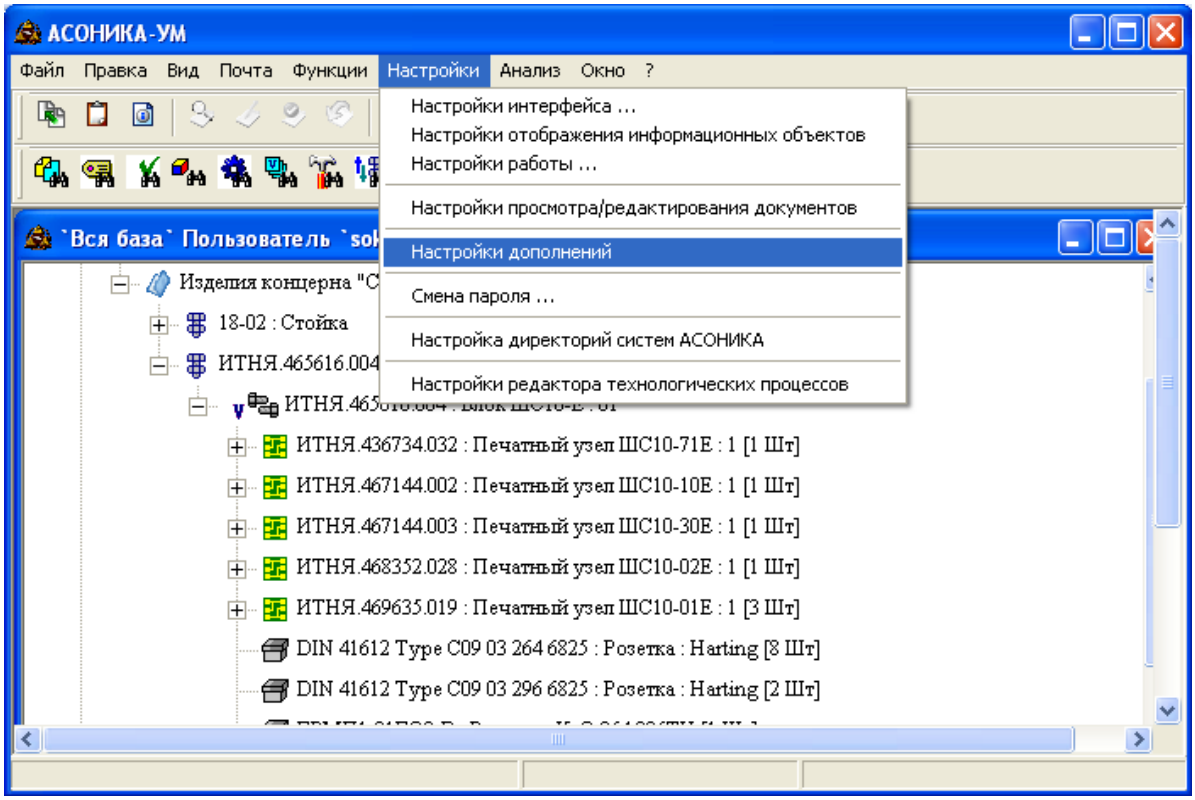


Рис. 5.55. Настройки дополнений АСОНИКА-УМ

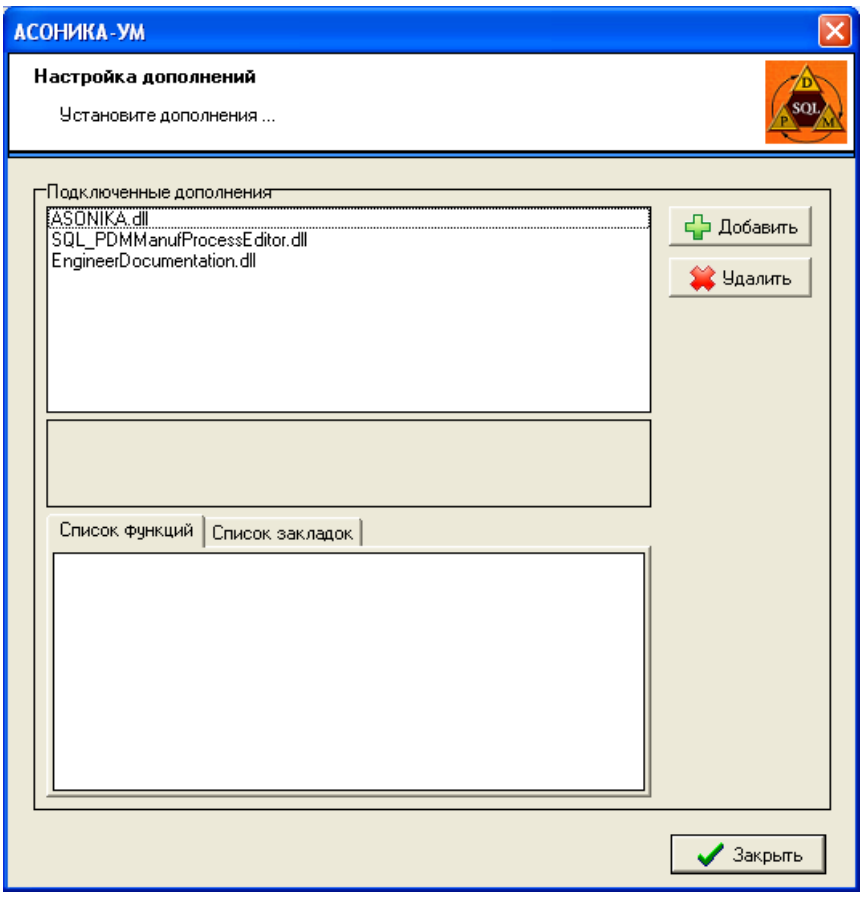


Рис. 5.56. Добавление библиотеки «ASONIKA.dll»

Указание директорий размещения моделирующих подсистем производится из пункта меню «Настройки –Настройка директорий систем АСОНИКА» (рис. 5.57). В данном случае для подсистемы АСОНИКА-М директория размещения – «c:\ASONIKA43\ASONIKA-M», для подсистем АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р – «c:\ASONIKA43\ASONIKA-TM-P», для подсистемы АСОНИКА-Т – «c:\ASONIKA43\ASONIKA-T», для подсистемы АСОНИКА-В – «c:\ASONIKA43\ASONIKA-V», для подсистемы АСОНИКА-Б – «c:\ASONIKA43\ASONIKA-B».

Проект подсистемы АСОНИКА-М состоит из главного файла проекта с расширением *.rea, например «shs10e.rea», и одноименной директории с дополнительными файлами (рис. 5.58).

Сохраняется проект подсистемы АСОНИКА-М в БД АСОНИКА-УМ командой «Создать связанный документ» (рис. 5.59).При этом после указания типа документа, в данном случае «АСОНИКА-М», АСОНИКА-УМ будет предлагать для выбора только главные файлы проектов подсистемы АСОНИКА-М (рис. 5.60).При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-М» АСОНИКА-УМ заархивирует все файлы проекта и подкрепит его к указанному изделию, причем будет иметь версии и итерации (рис. 5.61).

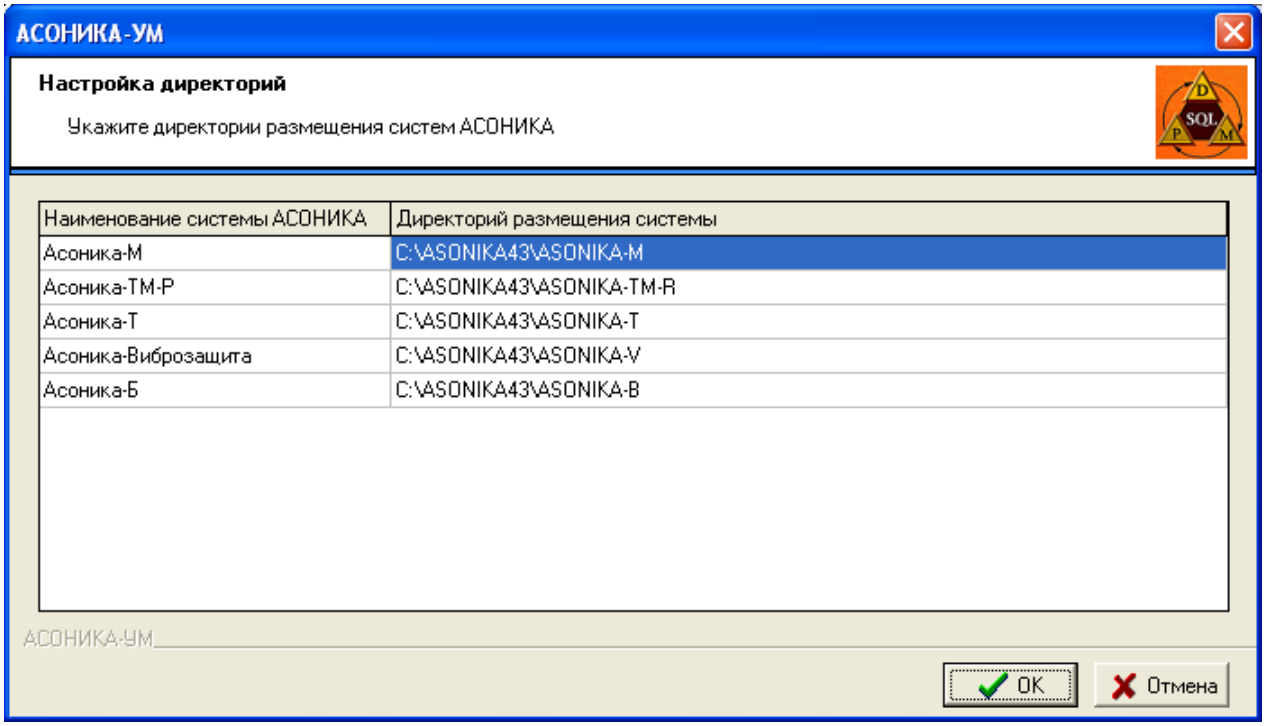


Рис. 5.57. Указание директорий размещения моделирующих подсистем

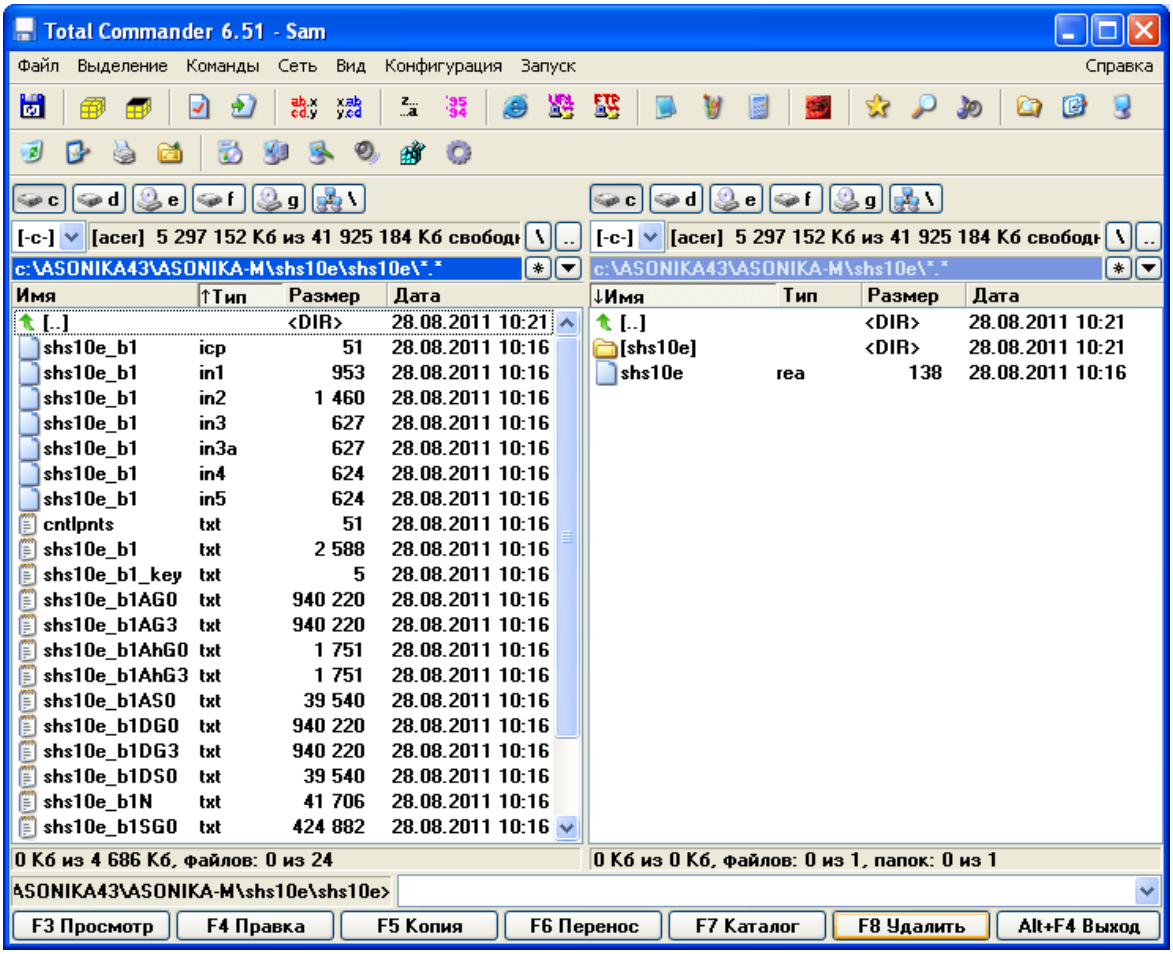


Рис. 5.58. Проект подсистемы АСОНИКА-М

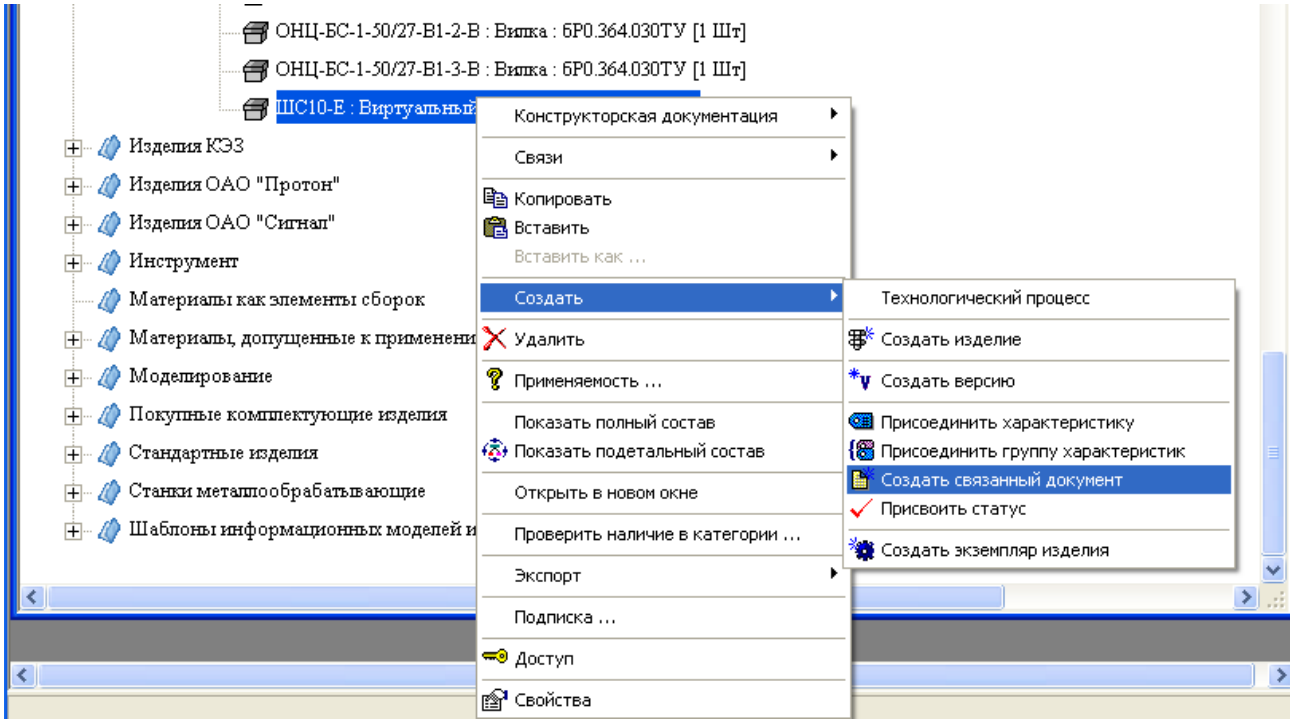


Рис. 5.59. Сохранение проекта подсистемы АСОНИКА-М в БД АСОНИКА-УМ

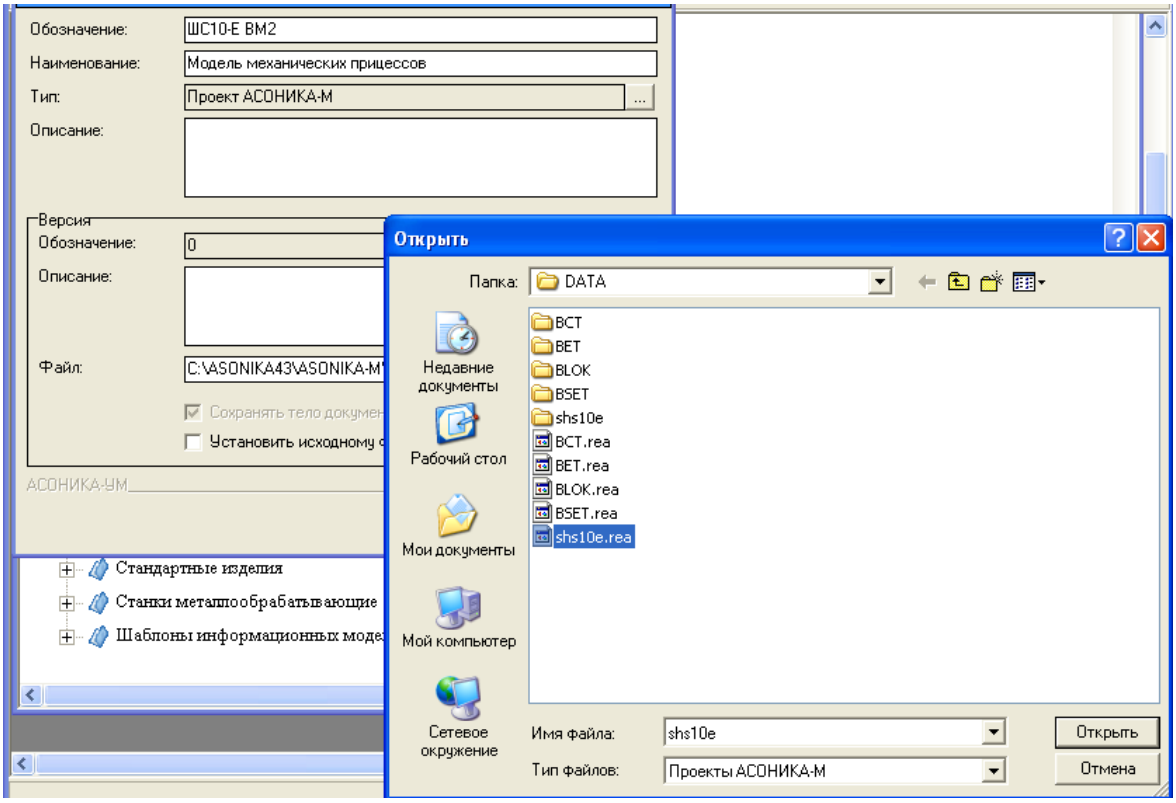


Рис. 5.60. Выбор только главных файлов проектов подсистемы АСОНИКА-М

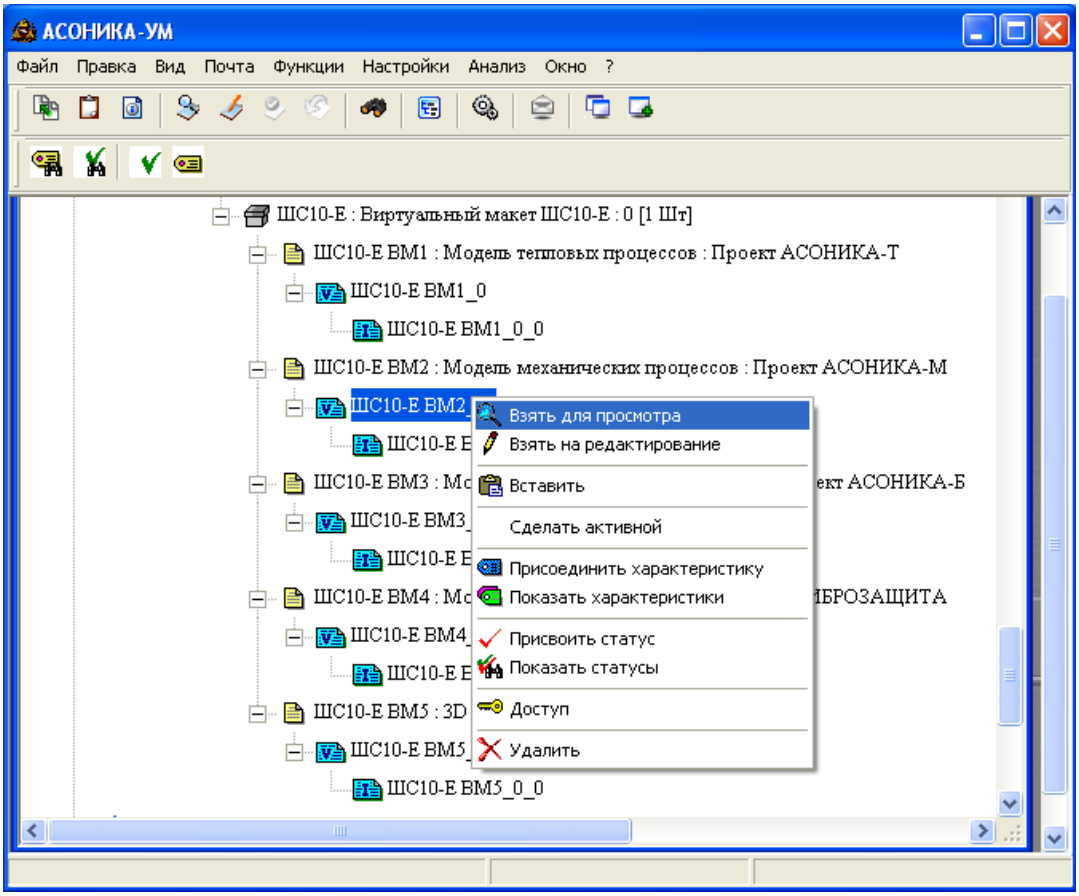


Рис. 5.61. Взятие для просмотра

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-М» с соответствующим проектом (рис. 5.62).Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

Проект подсистемы АСОНИКА-Т состоит из главного файла проекта с расширением *.dat, например «shs10e.dat», и группы дополнительных файлов(рис. 5.63).

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Т» АСОНИКА-УМ заархивирует все файлы проекта и подкрепит его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования (рис. 5.64) АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Т» с соответствующим проектом (рис. 5.65).Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

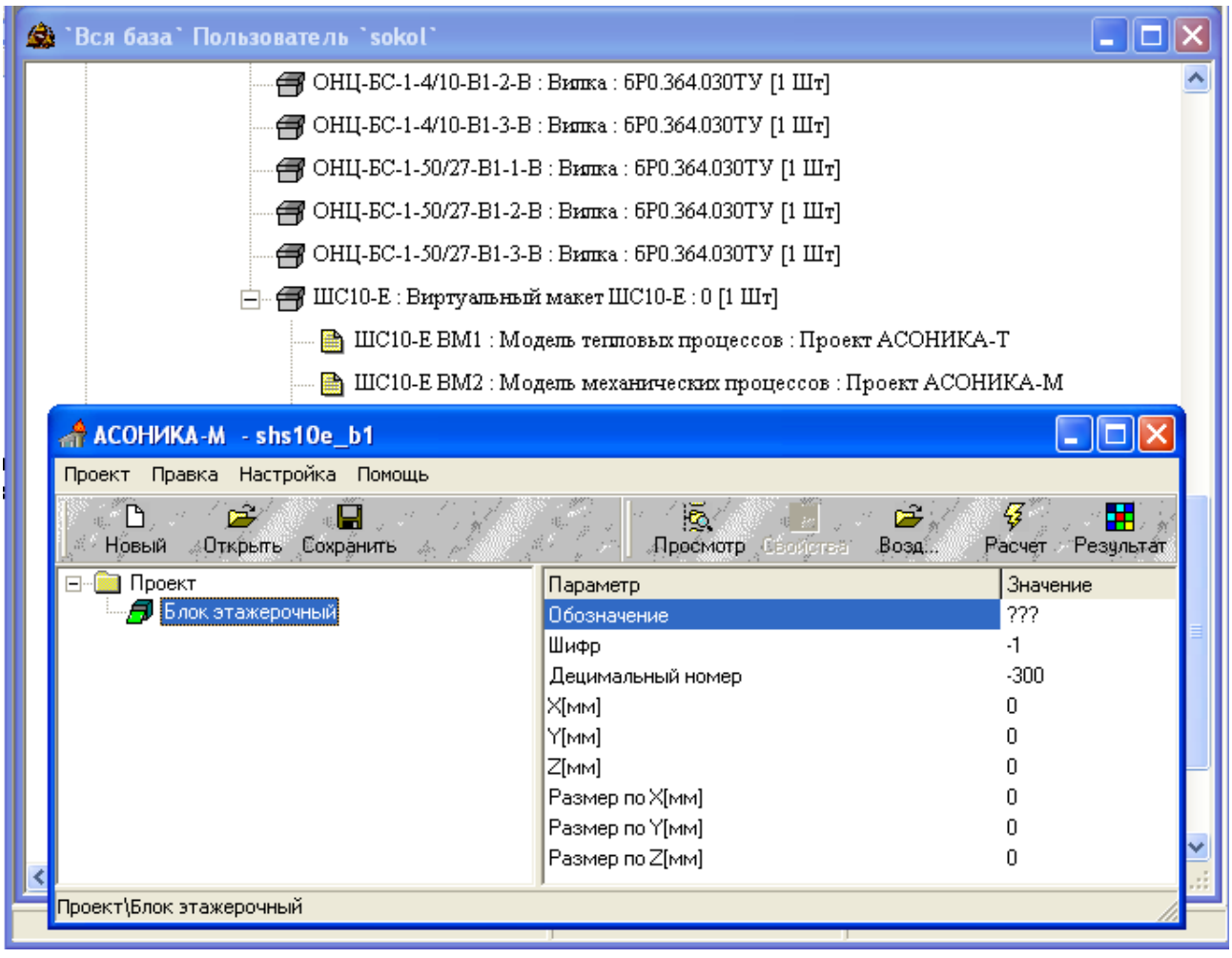


Рис. 5.62. Запуск подсистемы «АСОНИКА-М» с соответствующим проектом

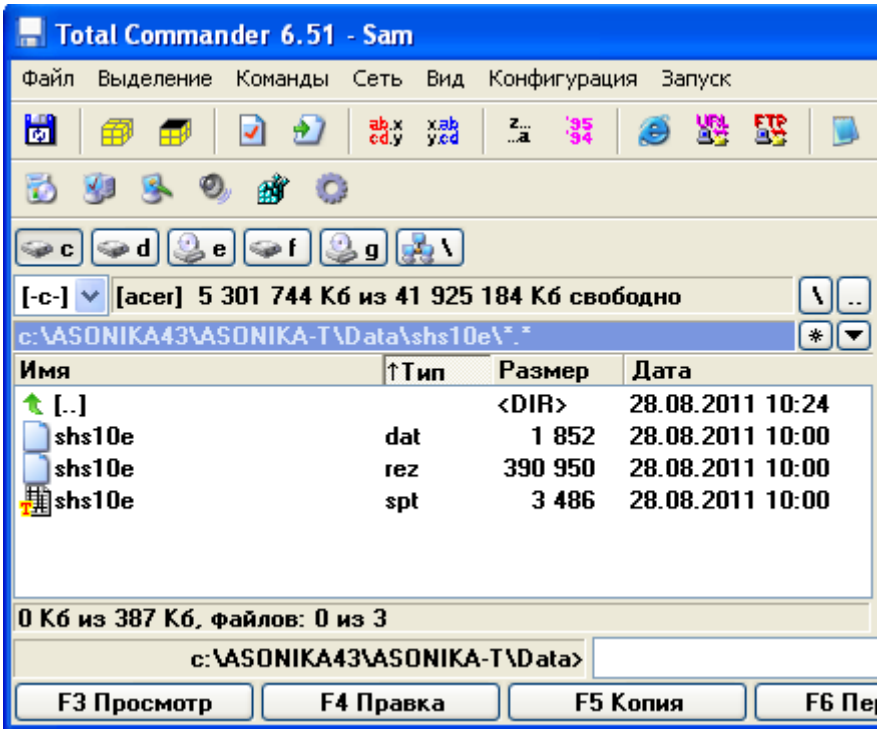


Рис. 5.63. Проект подсистемы АСОНИКА-Т

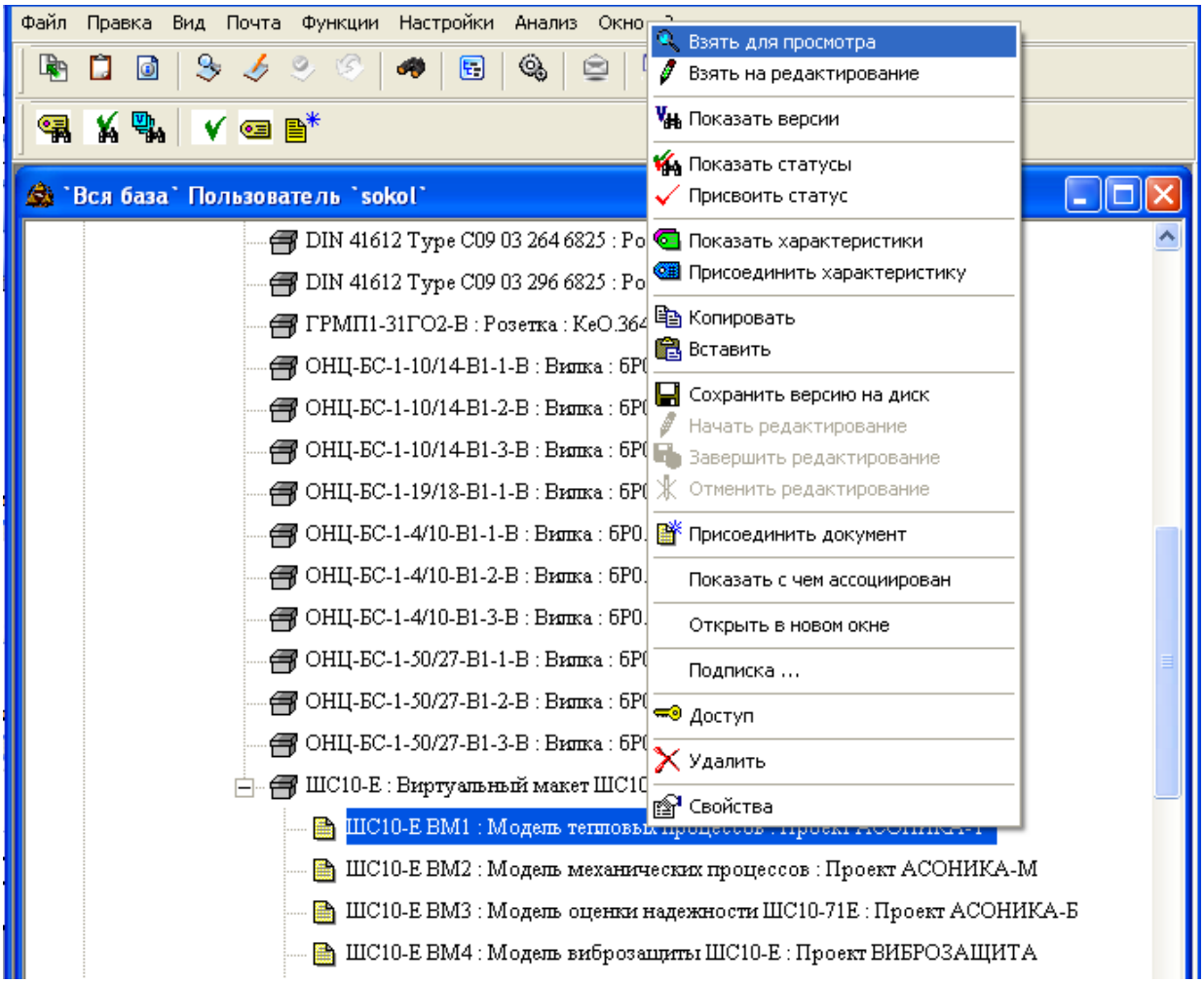


Рис. 5.64. Выбор команды взятия проекта для просмотра или редактирования

Проект подсистемы АСОНИКА-ТМ состоит из главного файла проекта с расширением *.pca, например «shs10-71e.pca», и одноименной директории с дополнительными файлами (рис. 5.66).

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-ТМ» АСОНИКА-УМ заархивирует все файлы проекта и подкрепит его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-ТМ» с соответствующим проектом (рис. 5.67).

Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

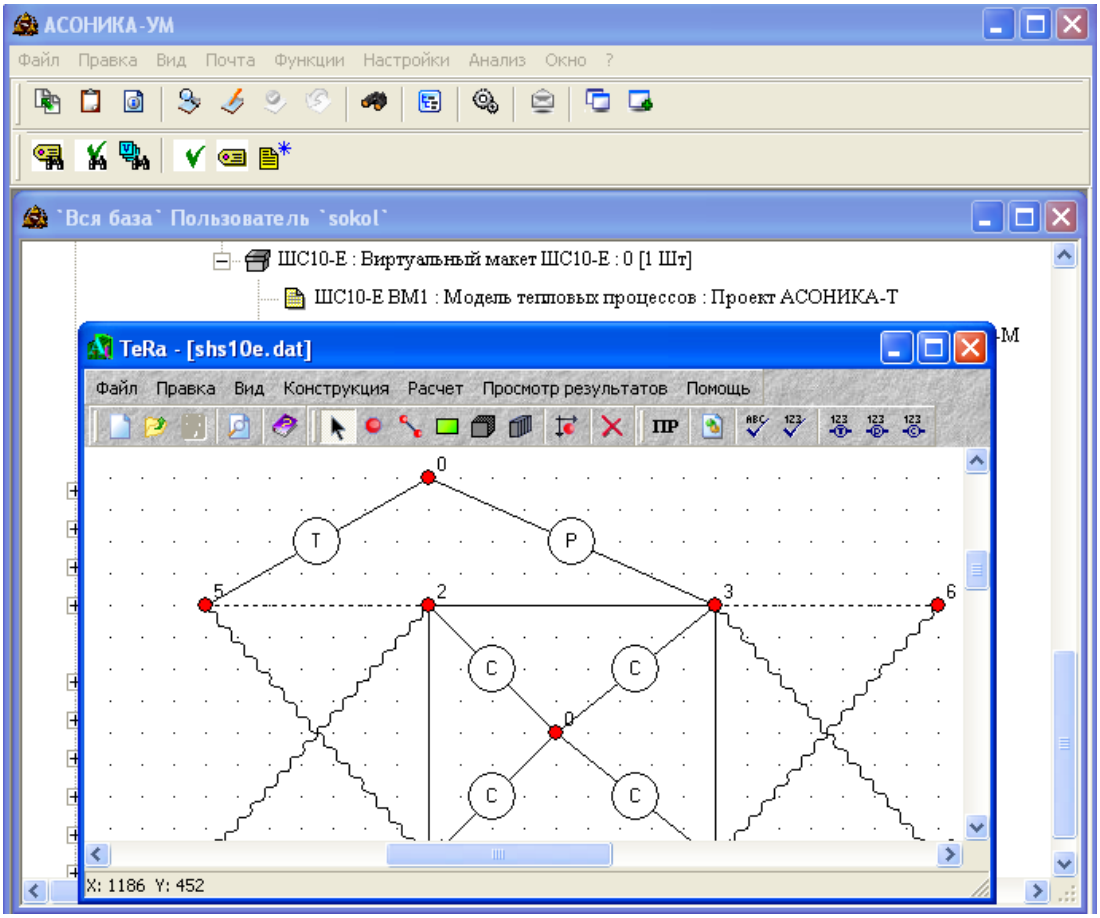


Рис. 5.65. Запуск подсистемы «АСОНИКА-Т» с соответствующим проектом

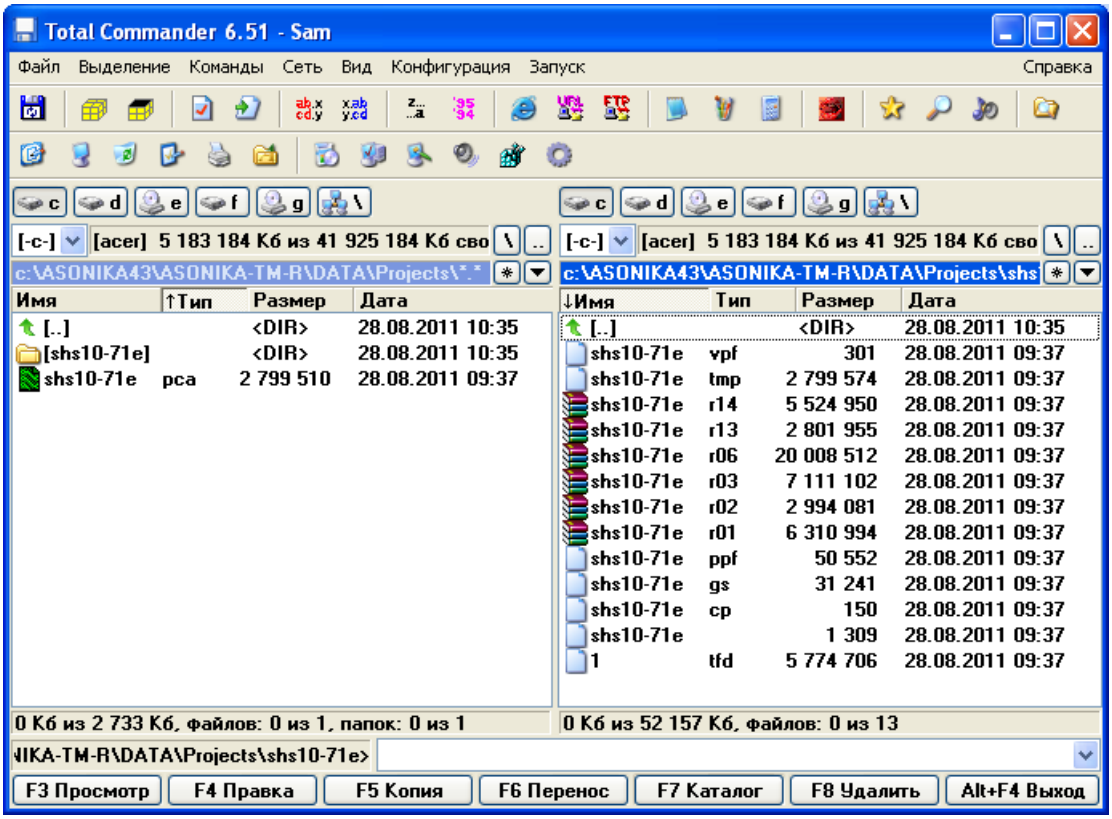


Рис. 5.66. Проект подсистемы АСОНИКА-ТМ

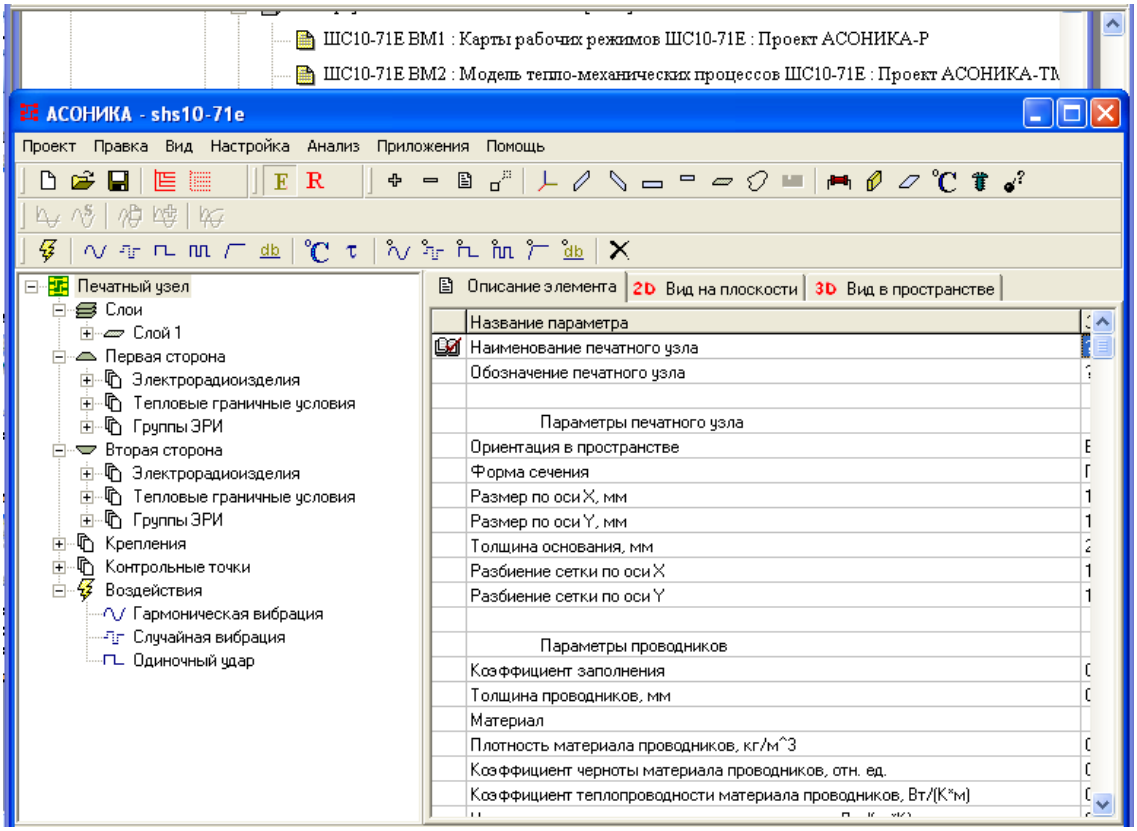


Рис. 5.67. Запуск подсистемы «АСОНИКА-ТМ» с соответствующим проектом

Проект подсистемы АСОНИКА-Р состоит из одного файла проекта с расширением *.aem, например «shs10-71e. aem» (рис. 5.68).

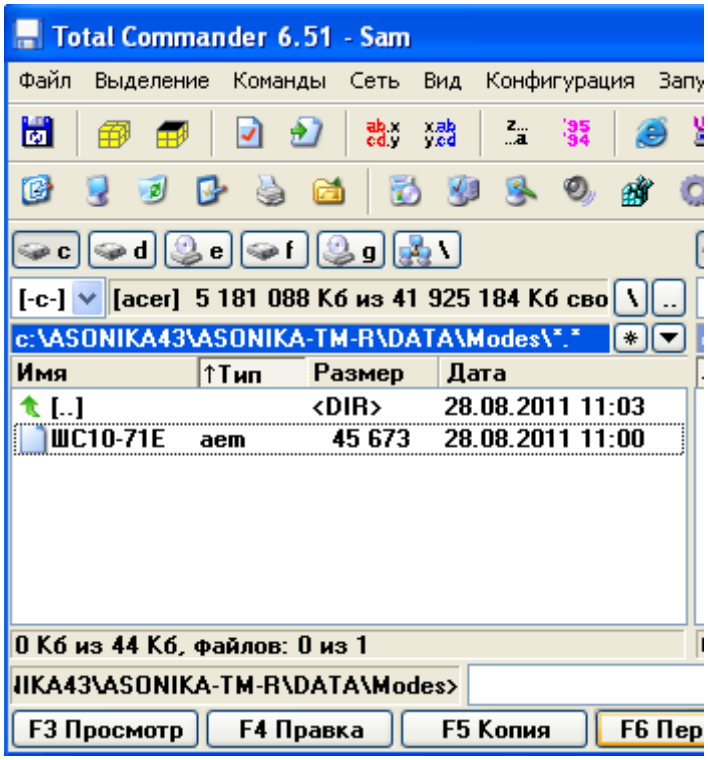


Рис. 5.68. Проект подсистемы АСОНИКА-Р

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Р» АСОНИКА-УМ заархивирует файл проекта и подкрепит его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файл проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Р» с соответствующим проектом (рис. 5.69).

Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

Проект подсистемы АСОНИКА-В состоит из одного файла проекта с расширением *.asvp, например «shs10-e. asvp» (рис. 5.70).При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-В» АСОНИКА-УМ заархивирует файл проекта и подкрепит его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файл проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-В» с соответствующим проектом (рис. 5.71).Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

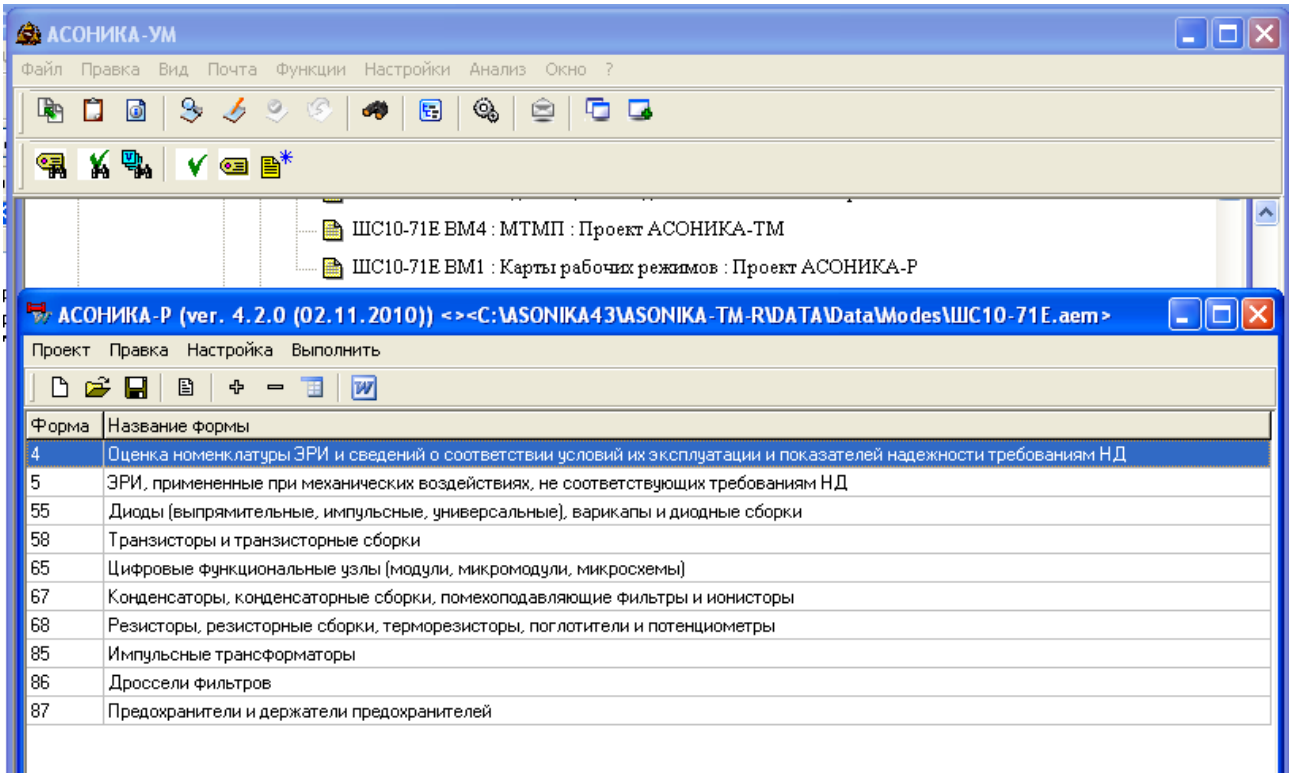


Рис. 5.69. Запуск подсистемы «АСОНИКА-Р» с соответствующим проектом

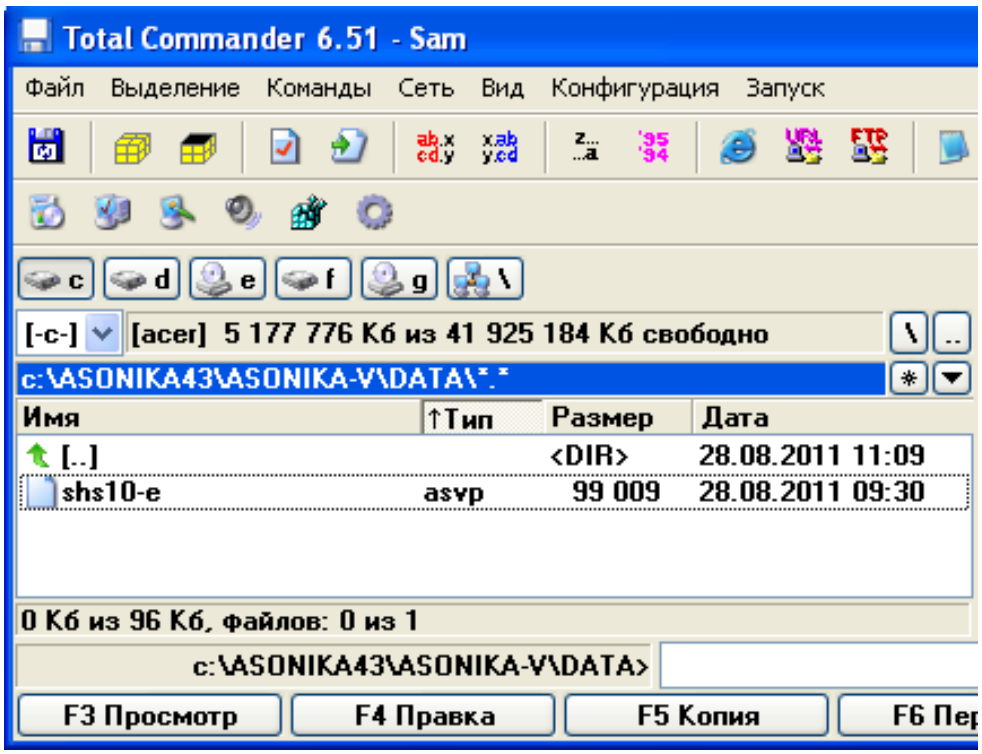


Рис. 5.70. Проект подсистемы АСОНИКА-В

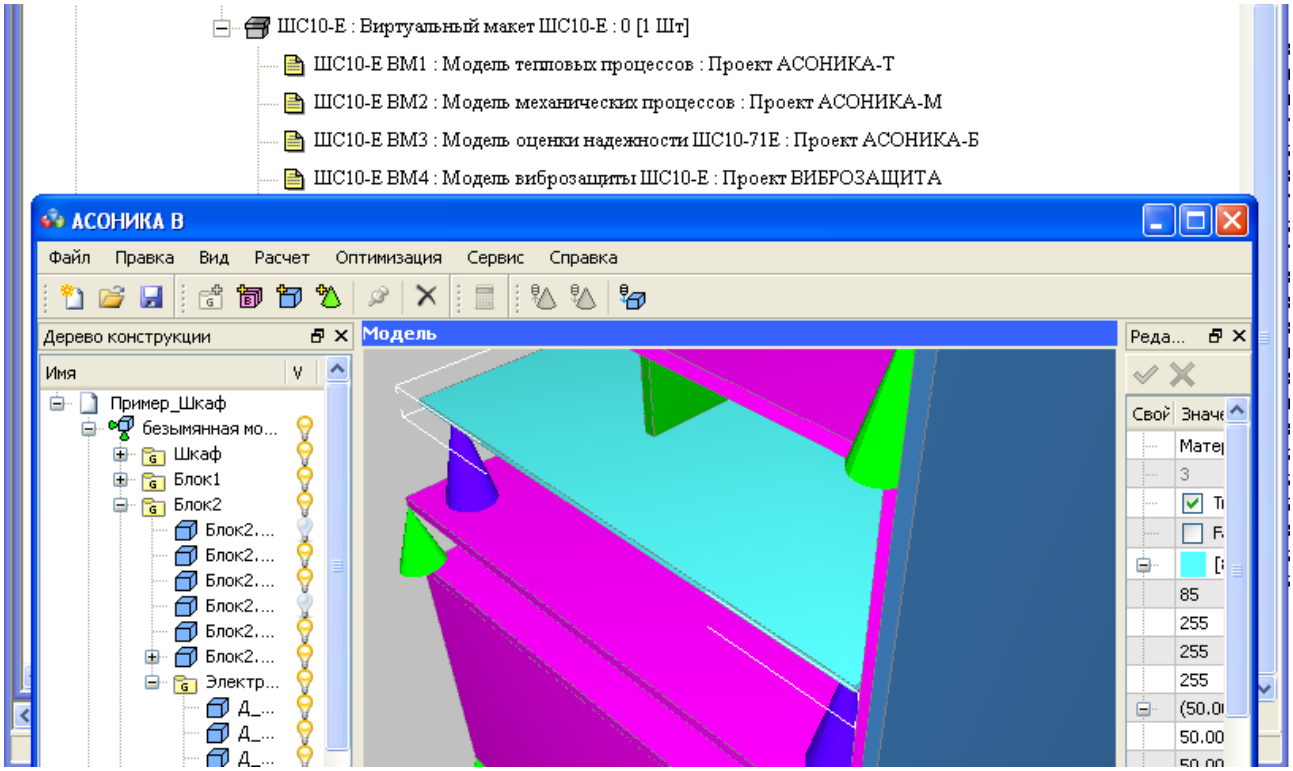


Рис. 5.71. Запуск подсистемы «АСОНИКА-В» с соответствующим проектом

Проект подсистемы АСОНИКА-Б состоит из главного файла проекта с расширением *.akp, например «shs10e.akp», и дополнительного файла (рис. 5.72).

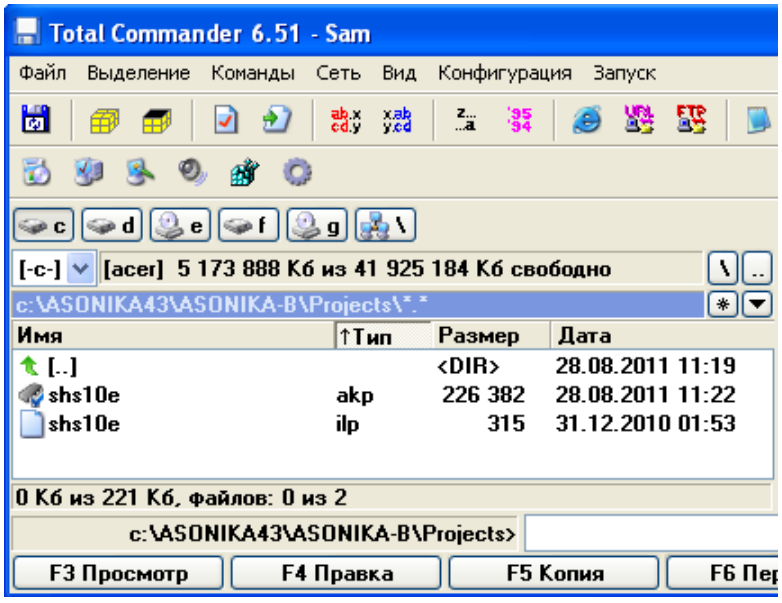


Рис. 5.72. Проект подсистемы АСОНИКА-Б

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Б» АСОНИКА-УМ заархивирует файлы проекта и подкрепит его к указанному изделию.После выбора команды взятия проекта для про-

смотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Б» с соответствующим проектом (рис. 5.73).Сохранение произведенных изменений выполнится автоматически в обратном порядке.

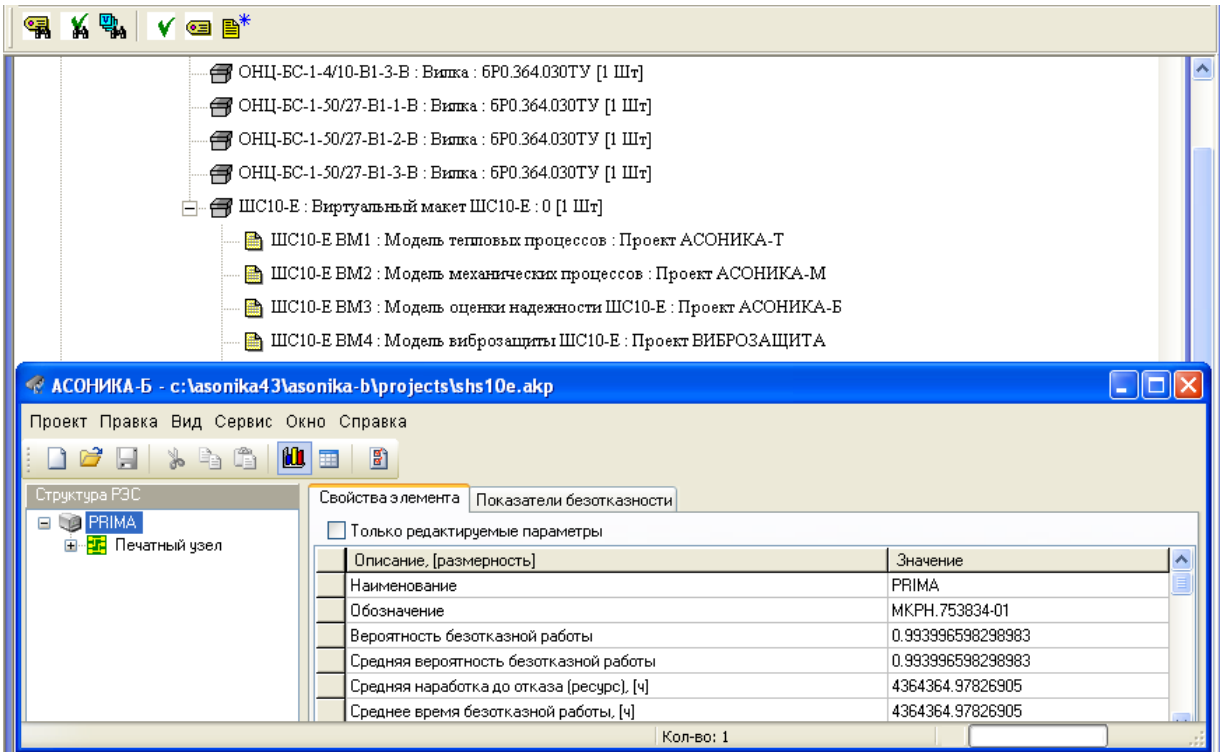


Рис. 5.73. Запуск подсистемы «АСОНИКА-Б» с соответствующим проектом

5.3.5. Развитие функциональных возможностей подсистемы управления моделированием РЭС АСОНИКА-УМ

Во многих организациях, занимающихся разработкой и производством некоторых технических систем, например таких, как системы электропривода, накоплен значительный опыт, выражающийся не только в построении их параметрического ряда, но и в формировании методики разработки, регламентирующей действия от анализа технического задания до разработки конструкций новых модулей и проведения поверочных расчетов. Причем при разработке новых конструкций стремятся максимально выполнять требования по унификации.

Естественно, что проектирование ведется на компьютерах с применением CAD-систем.В подобных организациях возникает потребность в автоматизации управления применением самих методик построения конструкций, моделирования и выпуска конструкторской документации.

Ниже на примере конструкций силовых полупроводниковых преобразователей – блоков инверторов (БИ), применяющихся при построении систем электропривода с электродвигателями переменного тока, предлагается в качестве основы для автоматизации управления применением подобных методик применять функционал систем управления моделированием радиоэлектронных средств (СУМ РЭС) (например, АСОНИКА-УМ), расширенный некоторыми дополнительными процедурами.

Типовая структурная схема блока БИ на основе модулей IGBT приведена на рис. 5.74.Пример конструктивного исполнения одного из вариантов БИ представлен на рис. 5.75.

Укрупненно методика предприятия-разработчика БИ регламентирует следующий порядок действий:

– выбирается типовая принципиальная электрическая схема;

– проводится анализ возможности применения выбранной принципиальной электрической схемы для выполнения требований ТЗ;

– рассчитываются параметры основных функциональных блоков и их составных частей;

– выбираются компоненты схемы электрической принципиальной, обеспечивающие расчетные параметры;

– проводится конструктивная реализация БИ;

– проводится выпуск КД БИ.

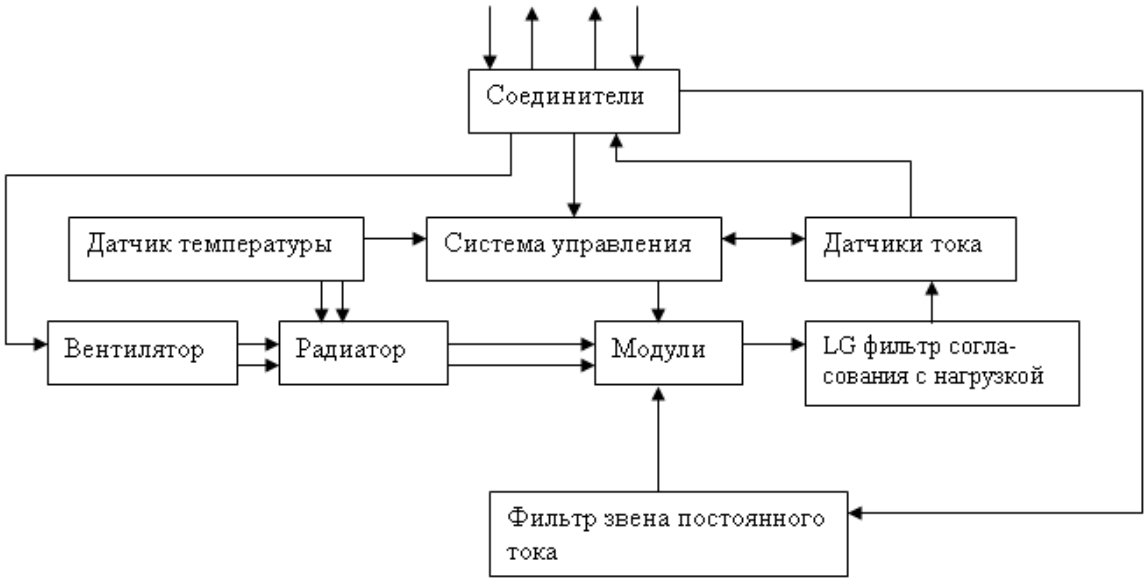
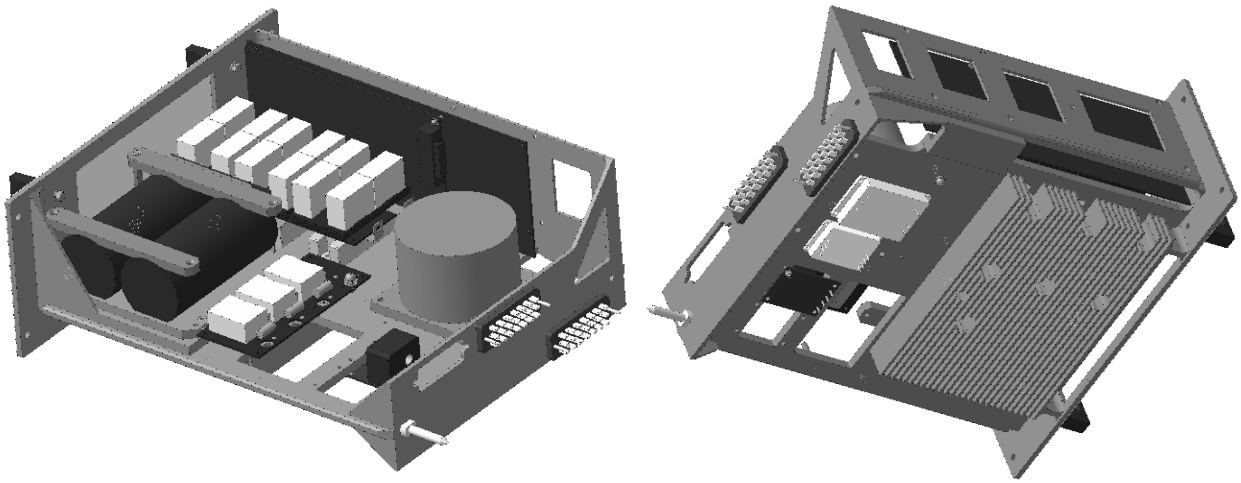


Рис. 5.74. Типовая структурная схема блока БИ на основе модулей IGBT



а *б*

Рис. 5.75. Вариант конструктивного исполнения блоков инверторов:
а – вид сверху; *б* – вид снизу

Для предлагаемого авторами этой работы варианта автоматизации управления применением методики проектирования технического изделия (ТИ) с применением АСОНИКА-УМ нужно решить следующие задачи:

– создание базы по составу, характеристикам и типовым расчетам разработанных ранее на предприятии ТИ;

– разработка процедуры автоматического анализа технического задания на новое ТИ;

– разработка процедуры автоматического поиска в базе данных АСОНИКА-УМ прототипа изделия;

– разработка процедуры автоматического генерирования заданий для WorkFlow АСОНИКА-УМ на доработку прототипа.

Переменные состояния технической системы, которые, как известно, разделяют на входные воздействия, внешние факторы, внутренние параметры и выходные характеристики, можно оформить в АСОНИКА-УМ как групповые характеристики(рис. 5.76).

На рис. 5.77 приведен пример возможного состава групповой характеристики «Внешние факторы». Для вновь проектируемого изделия значения характеристик на данном этапе еще не определены.

Требуемые значения переменных состояния нового изделия заполняются в соответствующих групповых характеристиках АСОНИКА-УМ процедурой автоматического анализа ТЗ. Нахождение требуемых значений в тексте ТЗ проводится по ключевым словам названия соответствующих характеристик.

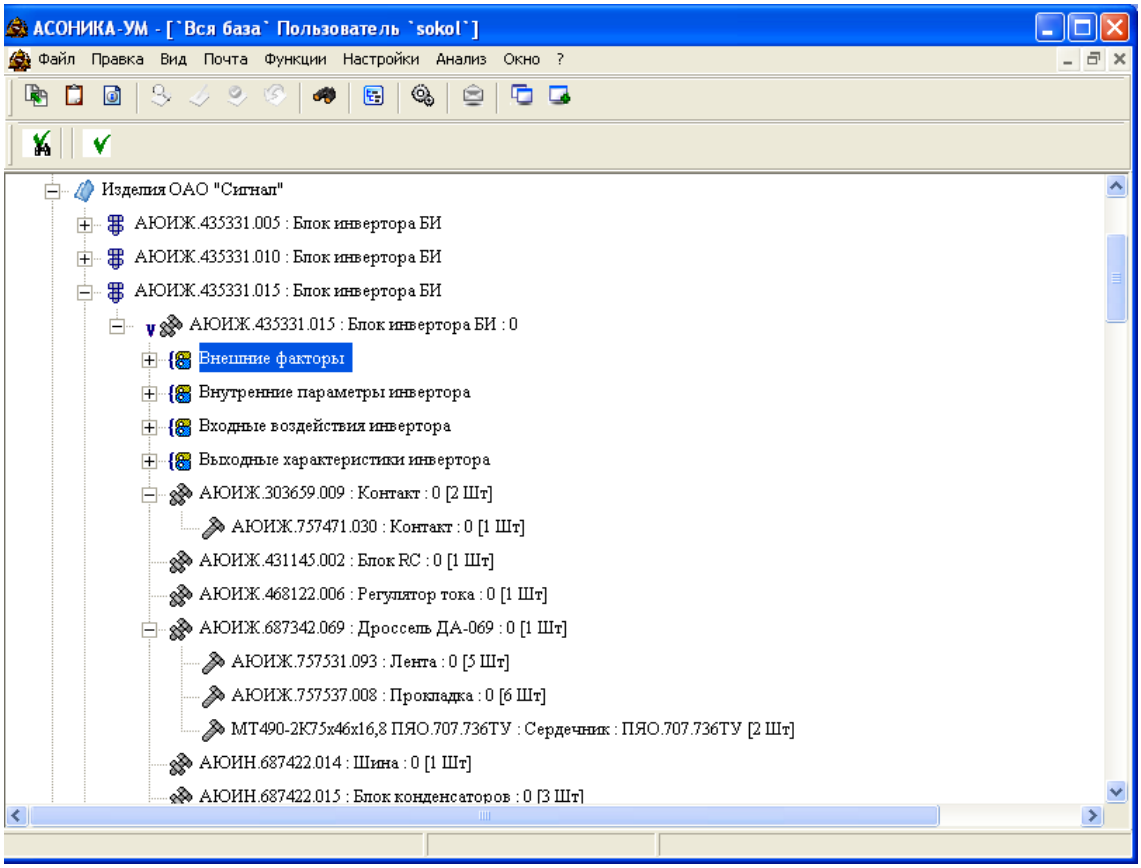


Рис. 5.76. Групповые характеристики системы: входныевоздействия, внешние факторы, внутренние параметры, выходные характеристики

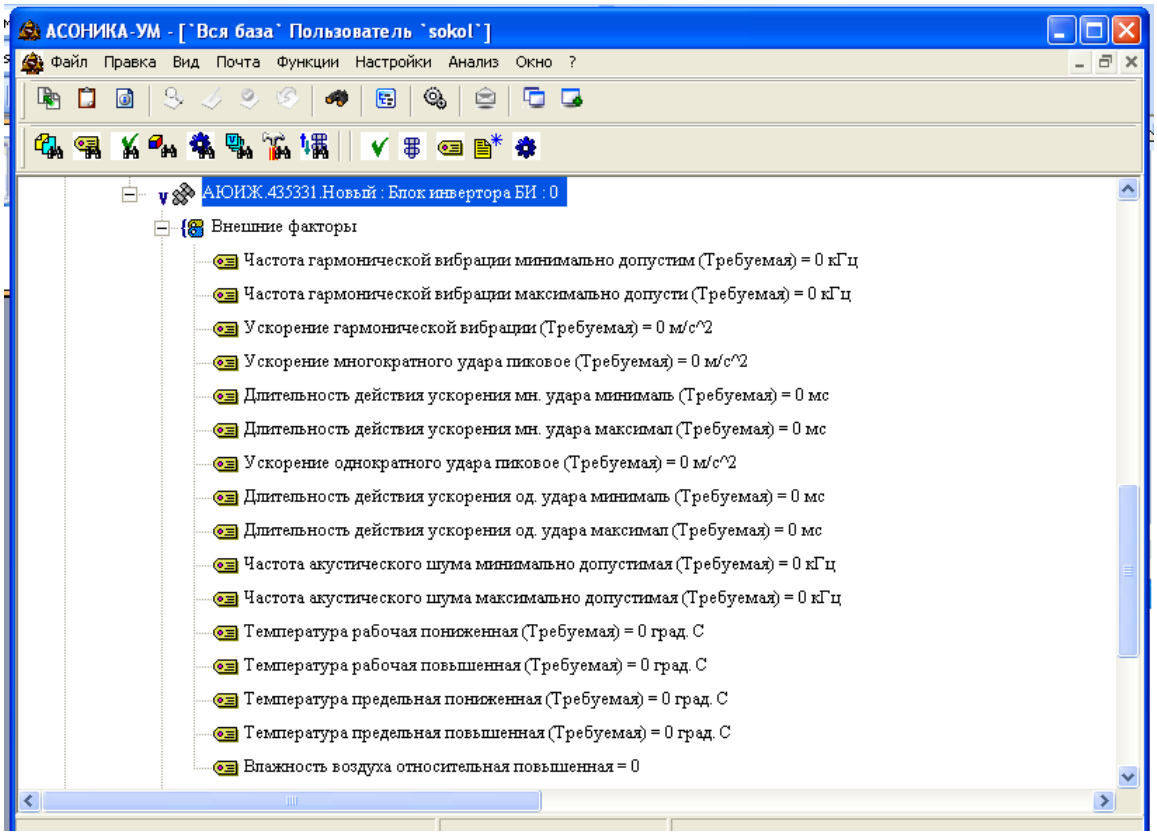


Рис. 5.77.Состав групповой характеристики «Внешние факторы»

Реализация автоматического анализа ТЗ потребовала введения в справочник АСОНИКА-УМ новых типов документов: «Контекст технического объекта» и «Техническое задание», а реализация процедуры автоматического поиска прототипа – «Таблица расчета критерия подобия».

На рис. 5.78приведен фрагмент БД с номенклатурой уже разработанных изделий типа «Блок инверторов» и заготовкой нового изделия с прикрепленными к нему вышеперечисленными документами.Фрагмент раздела ТЗ на БИ с механическими воздействиями, относящийся к внешним факторам, приведен на рис. 5.79.

Анализ ТЗ запускается соответствующей процедурой из контекстного меню документа типа «Техническое задание». Внешний вид интерфейса запуска приведен на рис. 5.80.

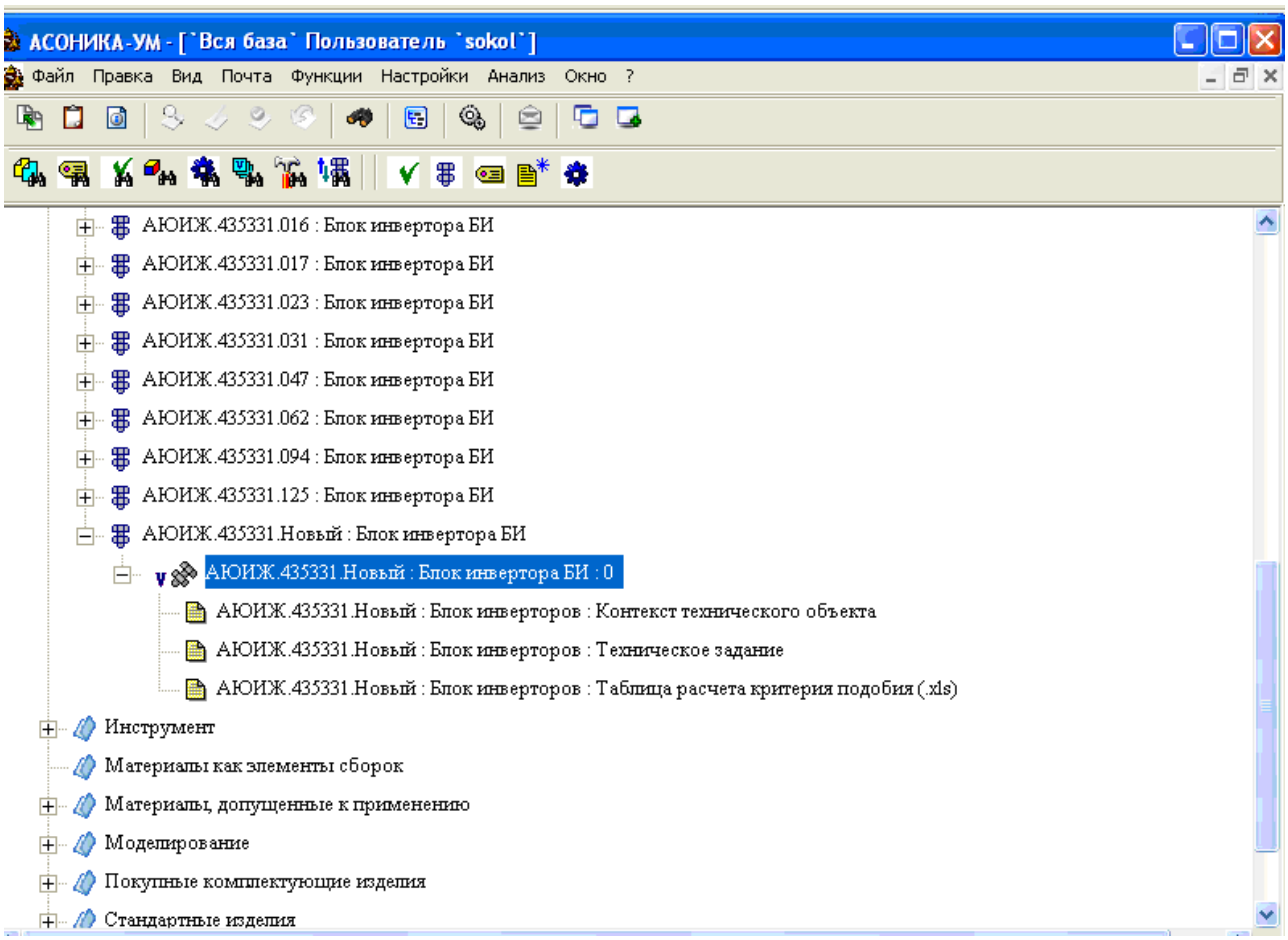


Рис. 5.78. Фрагмент БД с новым изделием,
подготовленным для поиска прототипа

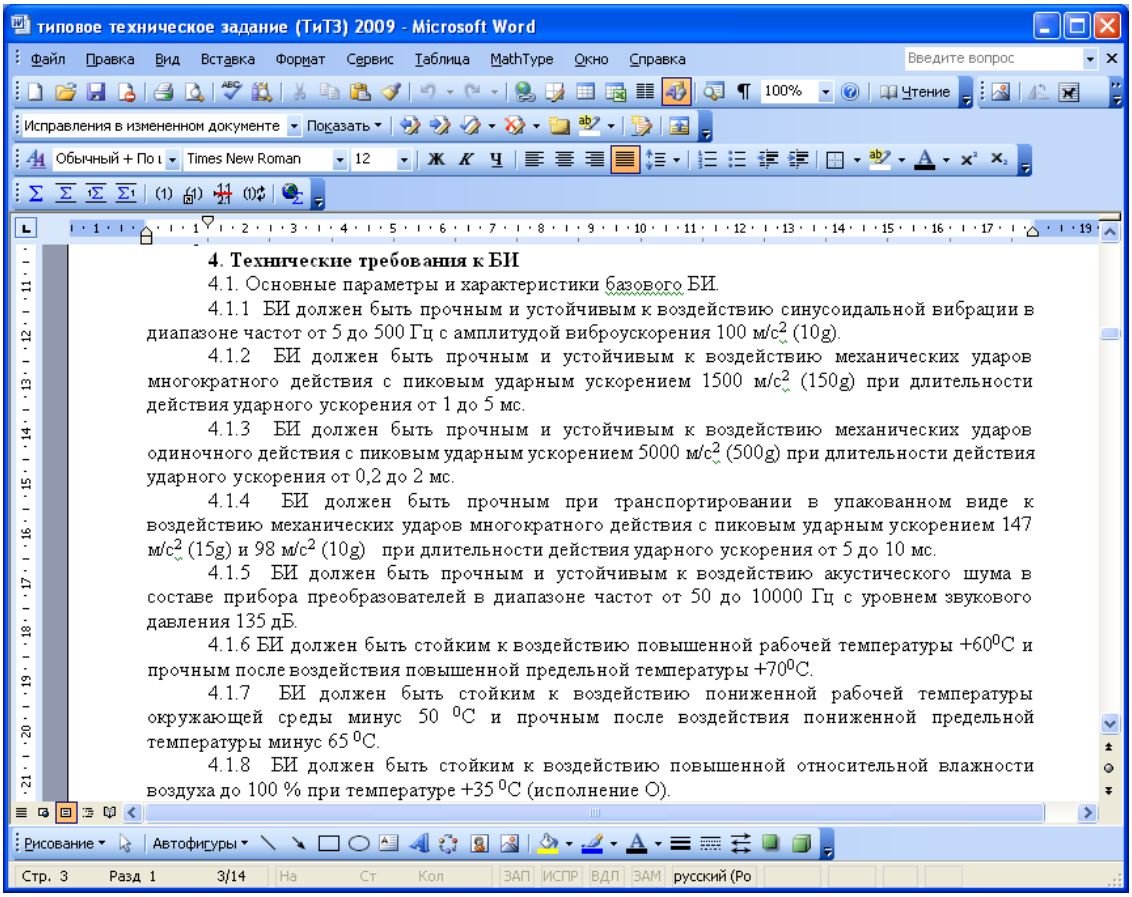


Рис. 5.79. Фрагмент раздела ТЗ на БИ с механическими воздействиями

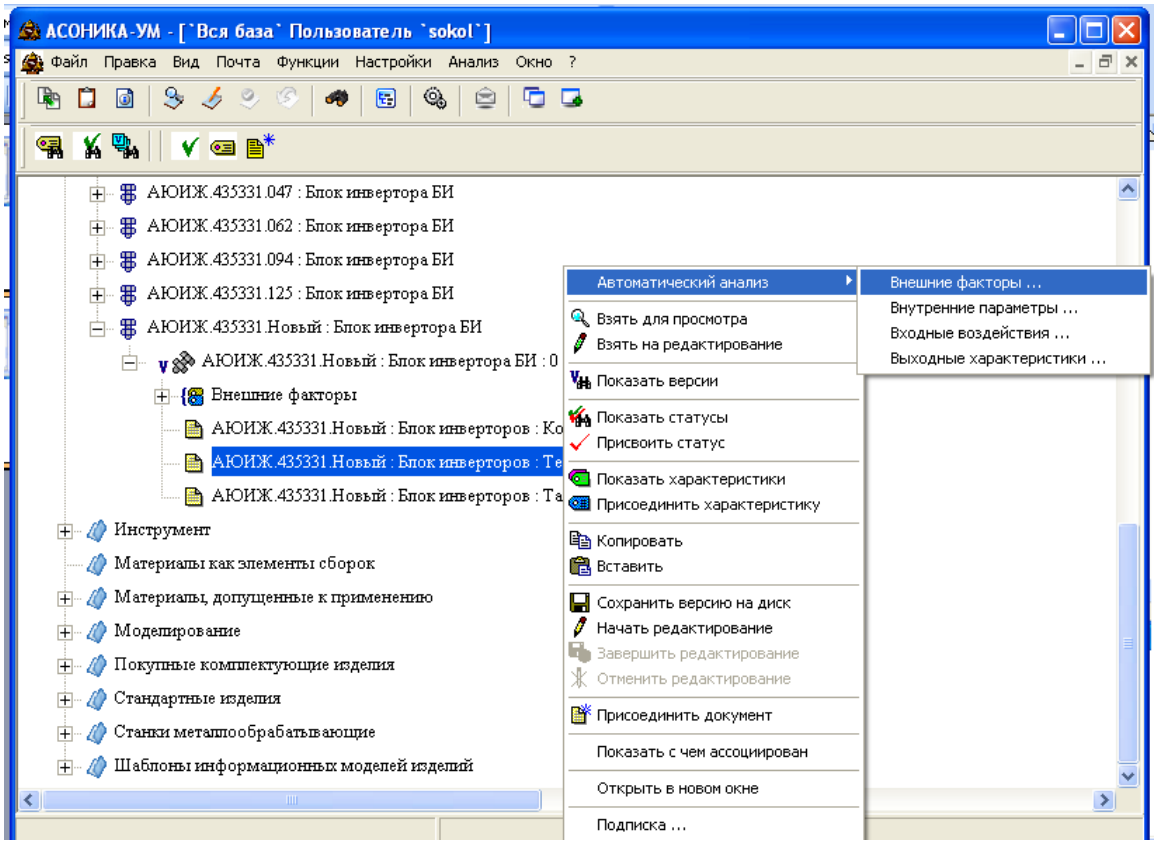


Рис. 5.80. Внешний вид интерфейса запуска процедуры анализа ТЗ

Внешний вид интерфейса процедуры автоматического разбора содержания ТЗ (в сокращенном варианте) приведен на рис. 5.81. Процедура в соответствии с контекстом ТО определяет тип документа (в данном случае, действительно, ТЗ), определяет тип объекта (в данном случае, действительно, блок инверторов), определяет перечень разделов ТЗ (регламентирован соответствующим ГОСТам), и из соответствующего раздела выделяет перечень характеристик, их значений и размерность.

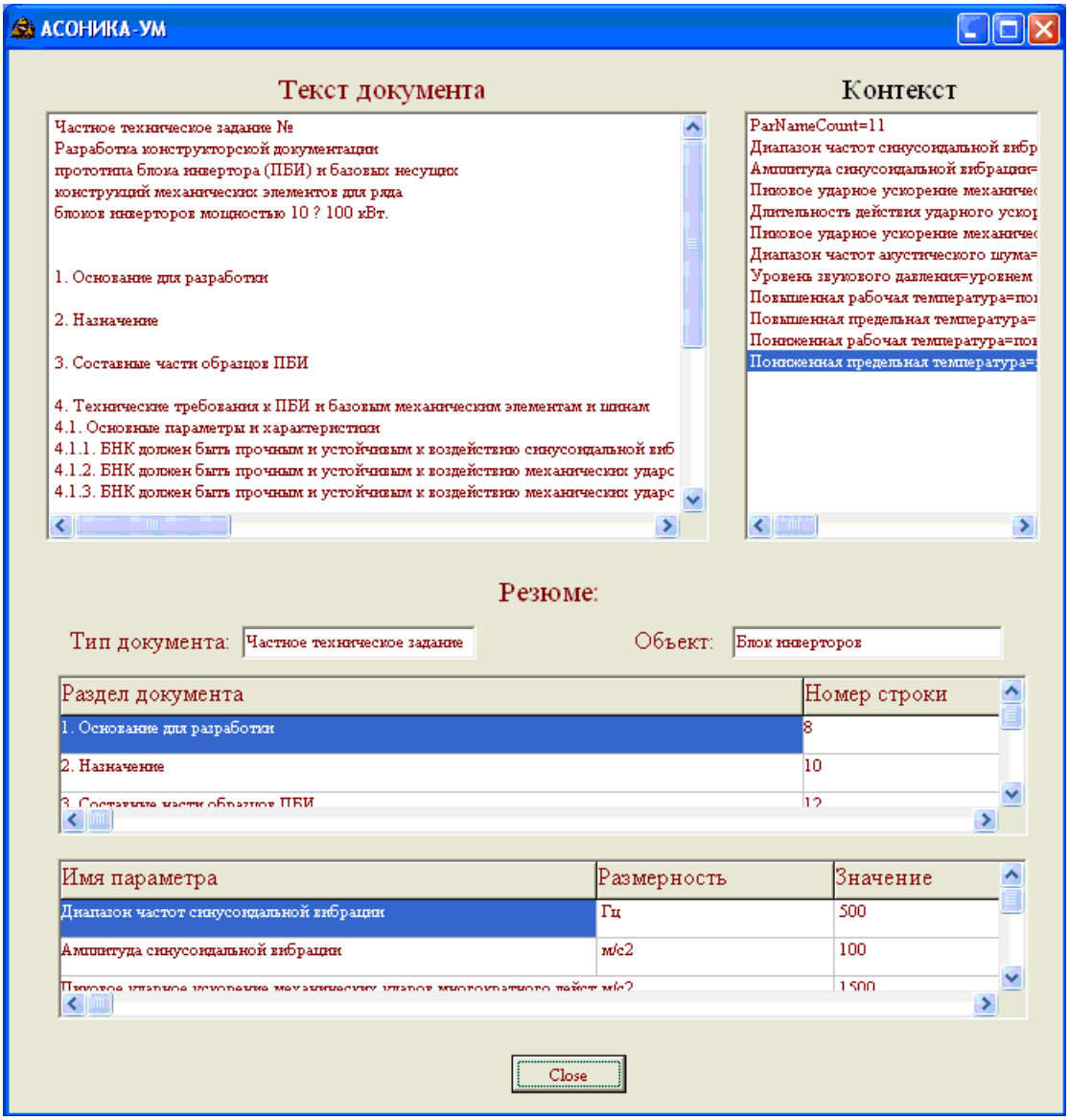


Рис. 5.81. Внешний вид интерфейса процедуры автоматического разборасодержания ТЗ

Расчетные значения этих переменных состояния должны определяться с применением интегрированных с АСОНИКА-УМ CAE-систем.

Например, по анализу механических характеристик ПУ делаются выводы о соответствии техническим условиям на ЭРИ по механическим характеристикам. Этот анализ можно провести интегрированной с АСОНИКА-УМ САЕ-подсистемой АСОНИКА-ТМ. Интеграция АСОНИКА-УМ с САЕ-подсистемой АСОНИКА-ТМ позволяет хранить в базе АСОНИКА-УМ, брать на просмотр и редактирование проекты АСОНИКА-ТМ (рис. 5.82).

При взятии на редактирование происходит автоматическая выгрузка проекта из базы данных АСОНИКА-УМ и запуск АСОНИКА-ТМ. Внешний вид окна приложения с загруженным проектом приведен на рис. 5.83.Один из результатов анализа приведен на рис. 5.84.

Аналогично для оценки показателей надежности узлов БИ можно применить интегрированную с АСОНИКА-УМ САЕ-подсистему АСОНИКА-Б, для оценки влияния механических воздействий на механические конструкции – САЕ-подсистему АСОНИКА-М (с АСОНИКА-УМ интегрированы все моделирующие подсистемы системы АСОНИКА), для расчета электрических параметров – моделирующую систему PSpice.

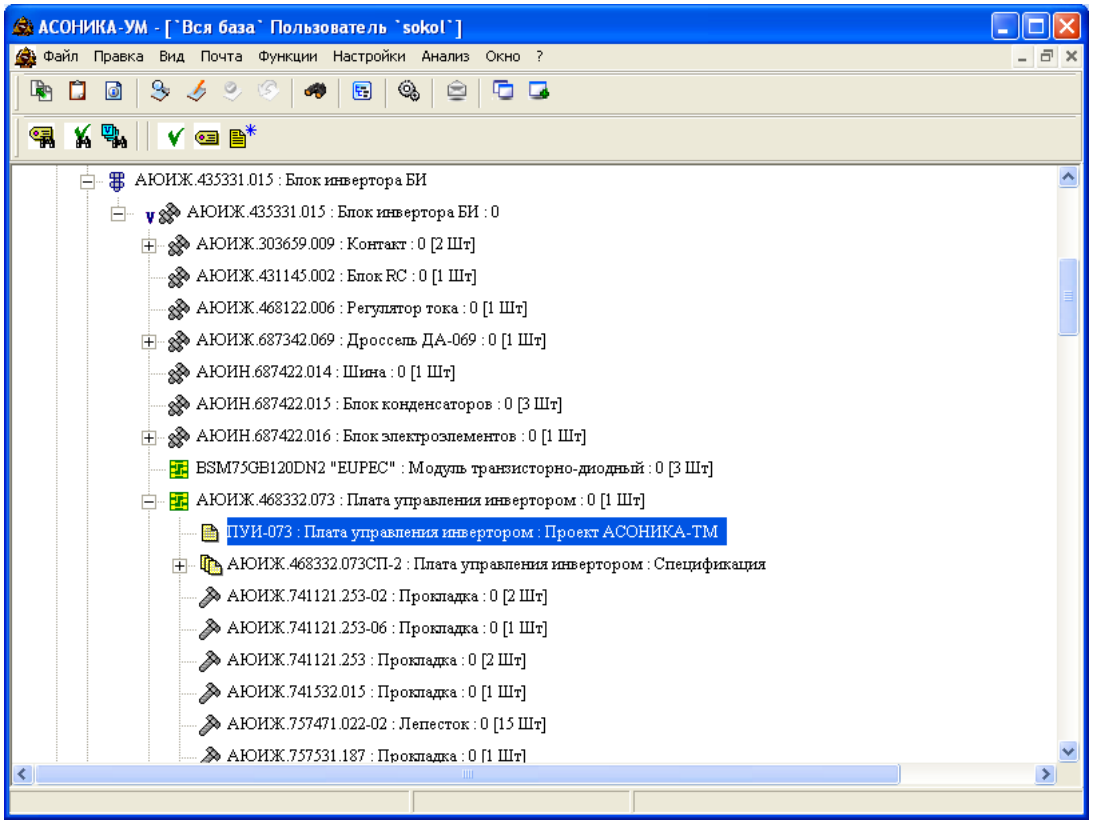
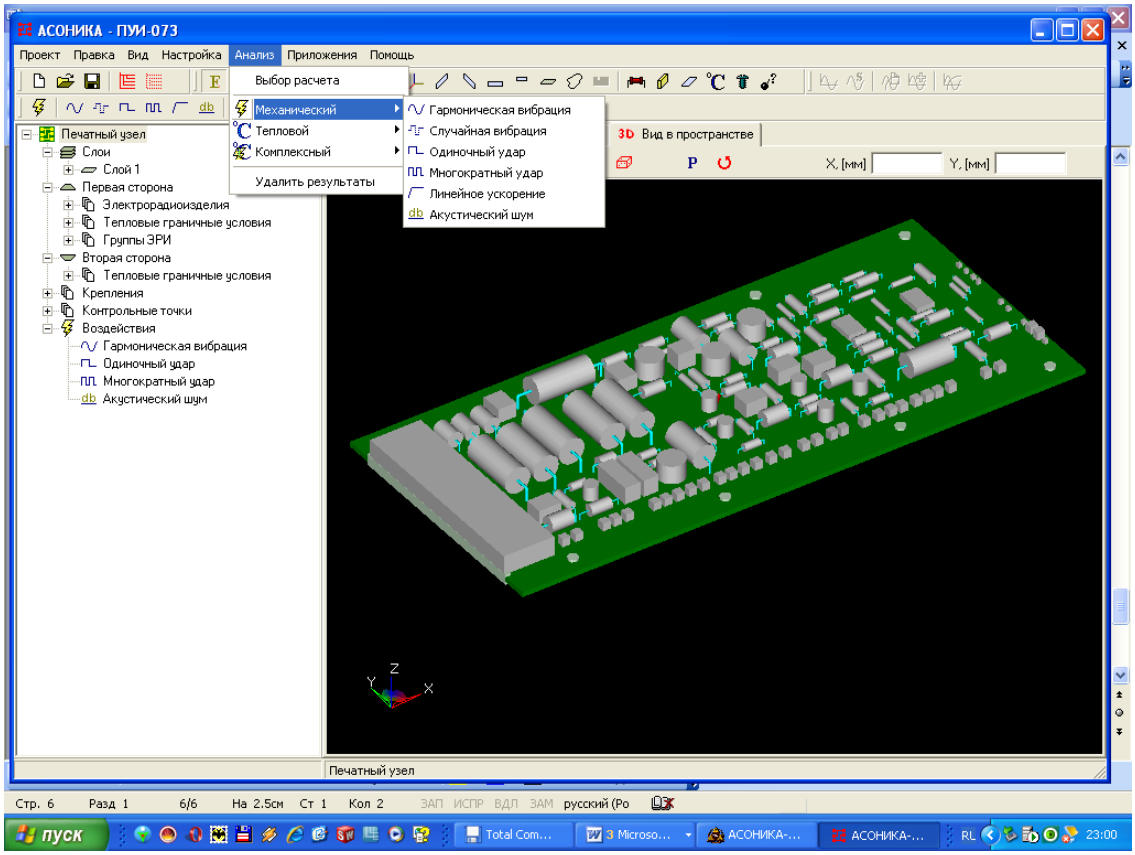


Рис. 5.82. Прикрепленный проект ПУИ-073 для определения механических характеристик платы управления инвертором для САЕ-подсистемы АСОНИКА-ТМ



5.83. Внешний вид окна приложения с загруженным проектом ПУИ-073

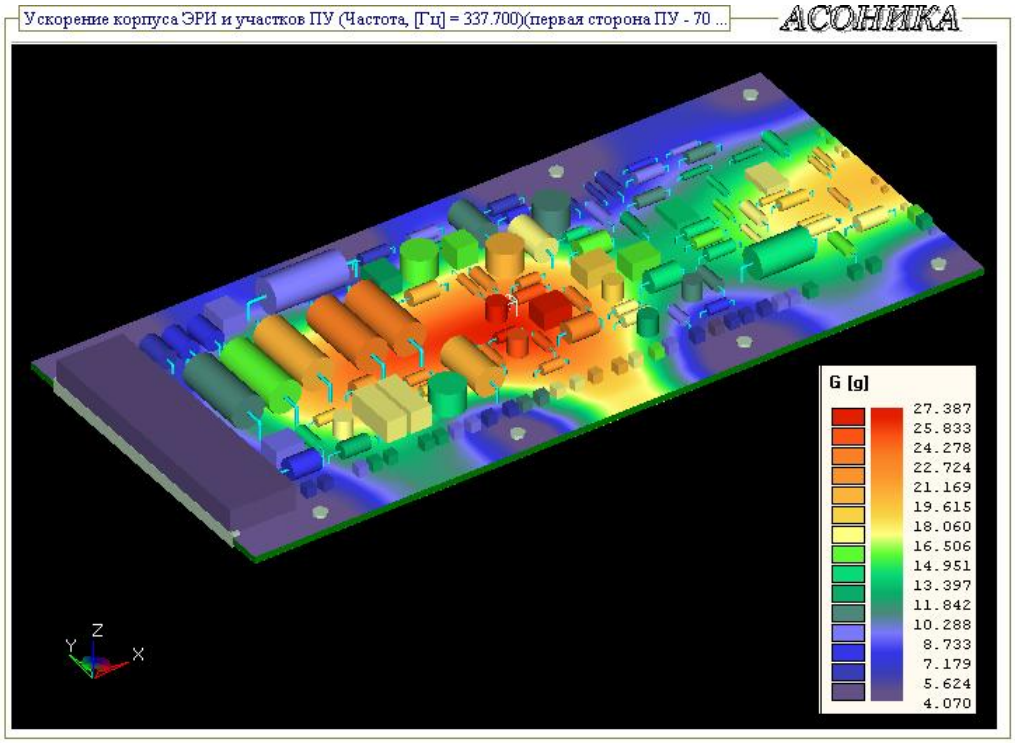


Рис. 5.84. Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 337,7 Гц

Автоматический поиск прототипа запускается из контекстного меню нового изделия.

Внешний вид интерфейса запуска приведен на рис. 5.85.

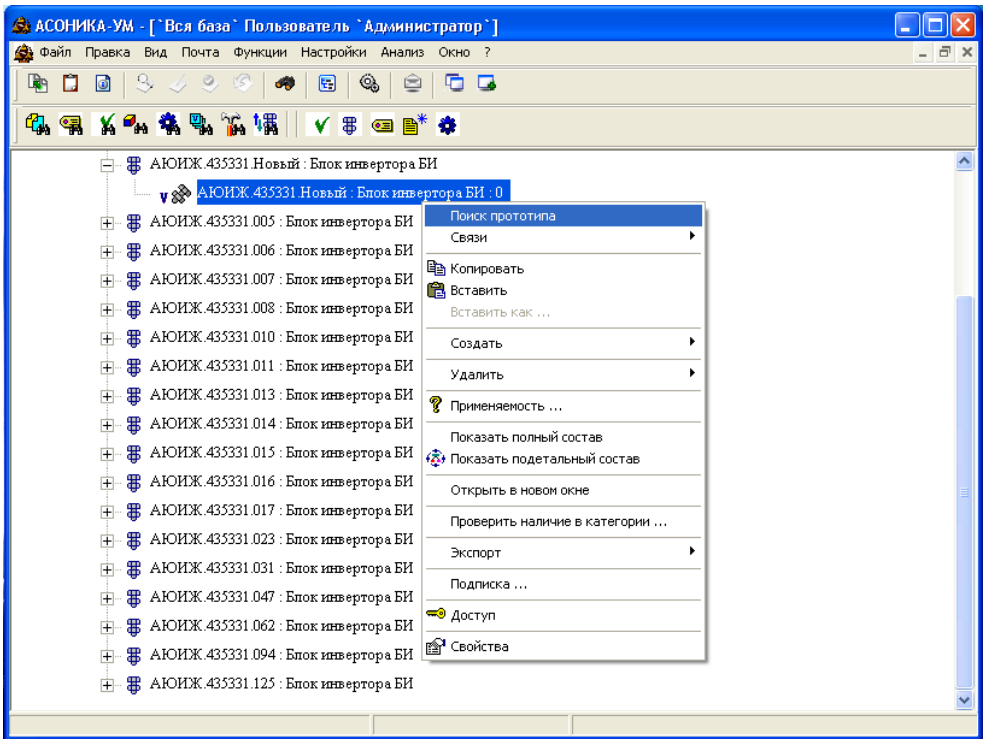


Рис. 5.85. Внешний вид интерфейса запуска процедуры поиска прототипа изделия

Автоматический поиск прототипа нового изделия проводится по критерию подобия его новому ТЗ.Простейшим критерием подобия прототипа новому ТЗ может быть следующее выражение

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{\left| X_{i,\mathrm{T}} - X_{i,\mathrm{П}} \right|}{X_{i,\mathrm{T}}} + \sum_{j=1}^{m} \frac{\left| Y_{j,\mathrm{T}} - Y_{i,\mathrm{П}} \right|}{Y_{j,\mathrm{T}}}}{n+m},$$

где $X_{i,\mathrm{T}}$, $Y_{j,\mathrm{T}}$ – i-е и j-е требуемые входное воздействие и выходная характеристика;

$X_{i,\mathrm{П}}$, $Y_{j,\mathrm{П}}$ – i-е и j-е входное воздействие и выходная характеристика прототипа.

Расчет значений критерия подобия выполняется автоматически программой Excel в заполненном шаблоне «Таблица расчета критерия подобия». На рис. 5.86 приведен пример оформления подобной таблицы.

J21

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1												
2	**Внешние факторы**											
3	Характеристики								Требуемые		Расчетные	
4	Наименование						Размерность		Min	Max	Min	Max
5	Частота гармонической вибрации						кГц		1.00	2.00	1.00	2.00
6	Ускорение гармонической вибрации						м/с^2		2.00	3.00	3.00	4.00
7	Ускорение многократного удара пиковое						м/с^2		3.00	5.00	3.00	4.00
8	Длительность действия ускорения многократного удара						мс		4.00	5.00	4.00	5.00
9	Ускорение однократного удара пиковое						м/с^2		5.00	7.00	5.00	6.00
10	Длительность действия ускорения однократного удара						мс		6.00	7.00	6.00	7.00
11	Частота акустического шума						кГц		7.00	8.00	7.00	8.00
12	Температура рабочая						град.С		8.00	9.00	8.00	9.00
13	Температура предельная						град.С		9.00	10.00	9.00	10.00
14	Влажность воздуха относительная								10.00	11.00	10.00	11.00
15	Критерий подобия								1.18			
16												

Рис. 5.86. Пример таблицы расчета критерия подобия

На рис. 5.87приведен интерфейс самой процедуры поиска прототипа изделия.

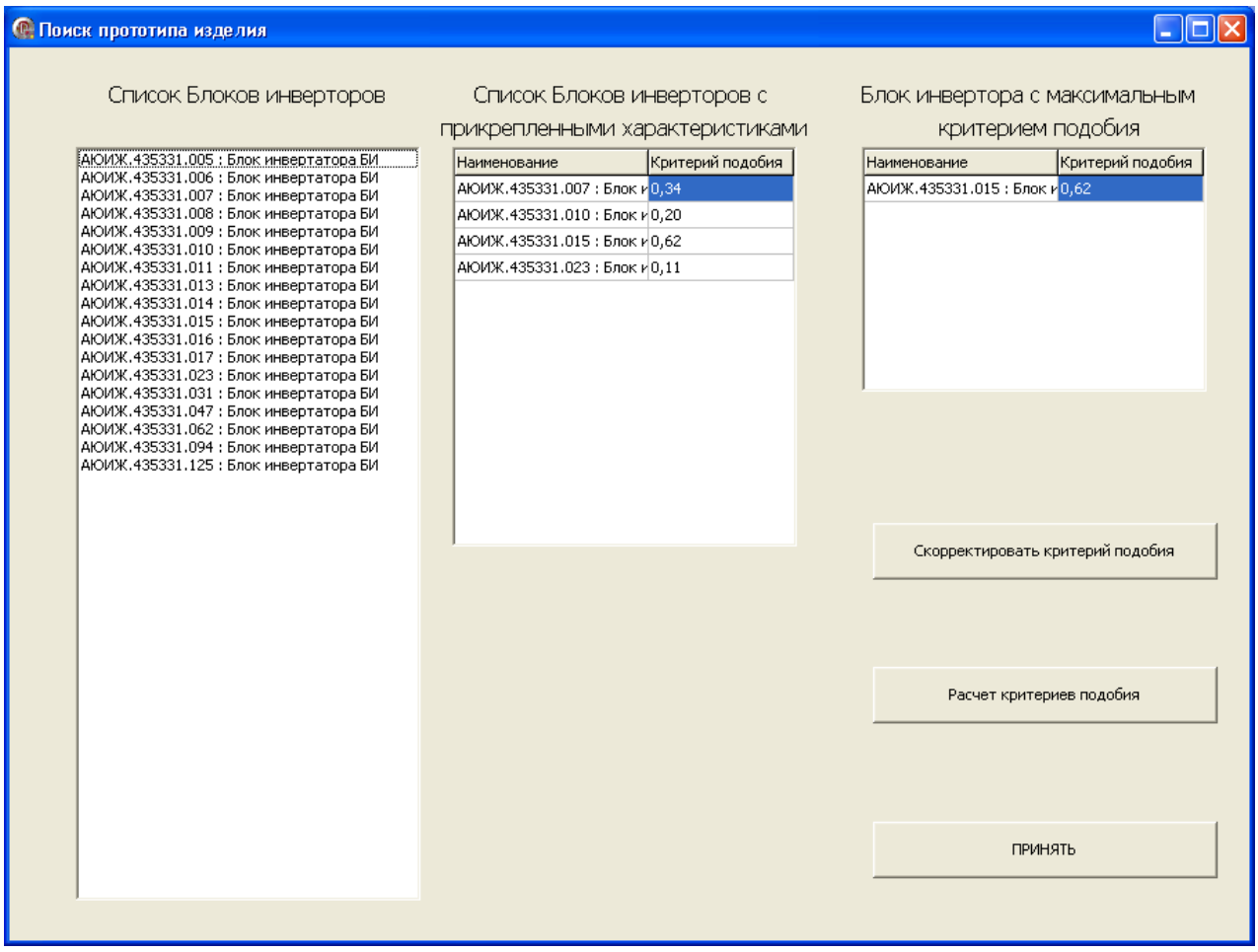


Рис. 5.87. Окно процедуры автоматического поиска прототипа

При нажатии на кнопку «Рассчитать критерий подобия» происходит расчет критериев подобия для отобранных изделий. Изделие с максимальным критерием подобия автоматически заносится в таблицу «Изделие с максимальным критерием подобия». У пользователя есть возможность откорректировать сам критерий подобия нажатием на кнопку «Скорректировать критерий подобия». Если на основе собственного опыта пользователь хочет выбрать другое изделие, то он может осуществить это, нажав на нужное изделие во второй таблице. После этого нажимается кнопка «Принять» и в АСОНИКА-УМ организуется связь между новым изделием и найденным прототипом.

Генерация потоков заданий на доработку прототипа для WorkFlow АСОНИКА-УМ проводится в зависимости от фактов совпадений (или несовпадений) значений входных воздействий и выходных характеристик прототипа и требуемого по ТЗ образца.

Потоки заданий формируются по заранее подготовленным шаблонам процессов доработки изделия по соответствующему параметру. Пример подготовленного простого шаблона приведен на рис. 5.88.

На рис. 5.89 приведен пример отображения шаблонов по доработке ТИ в дереве объектов АСОНИКА-УМ.

Генерация более детальных потоков заданий может проводиться с учетом структуры прототипа (наличием и взаимосвязями в структуре прототипа выделенных модулей).

К выделенным модулям в структуре прототипа, также как и ко всему изделию, должны быть прикреплены соответствующие им групповые характеристики. В случае прототипов, имеющих в своей структуре выделенные модули, генерация потоков заданий на доработку прототипа может иметь итерационный характер.

Более конкретные указания по доработке самих модулей могут быть сформированы на основании проведения для них анализа чувствительности. Анализ чувствительности позволит оценить степень влияния каждого внутреннего параметра на выходные характеристики объекта и при генерации задания на доработку модуля сформировать конкретные рекомендации.

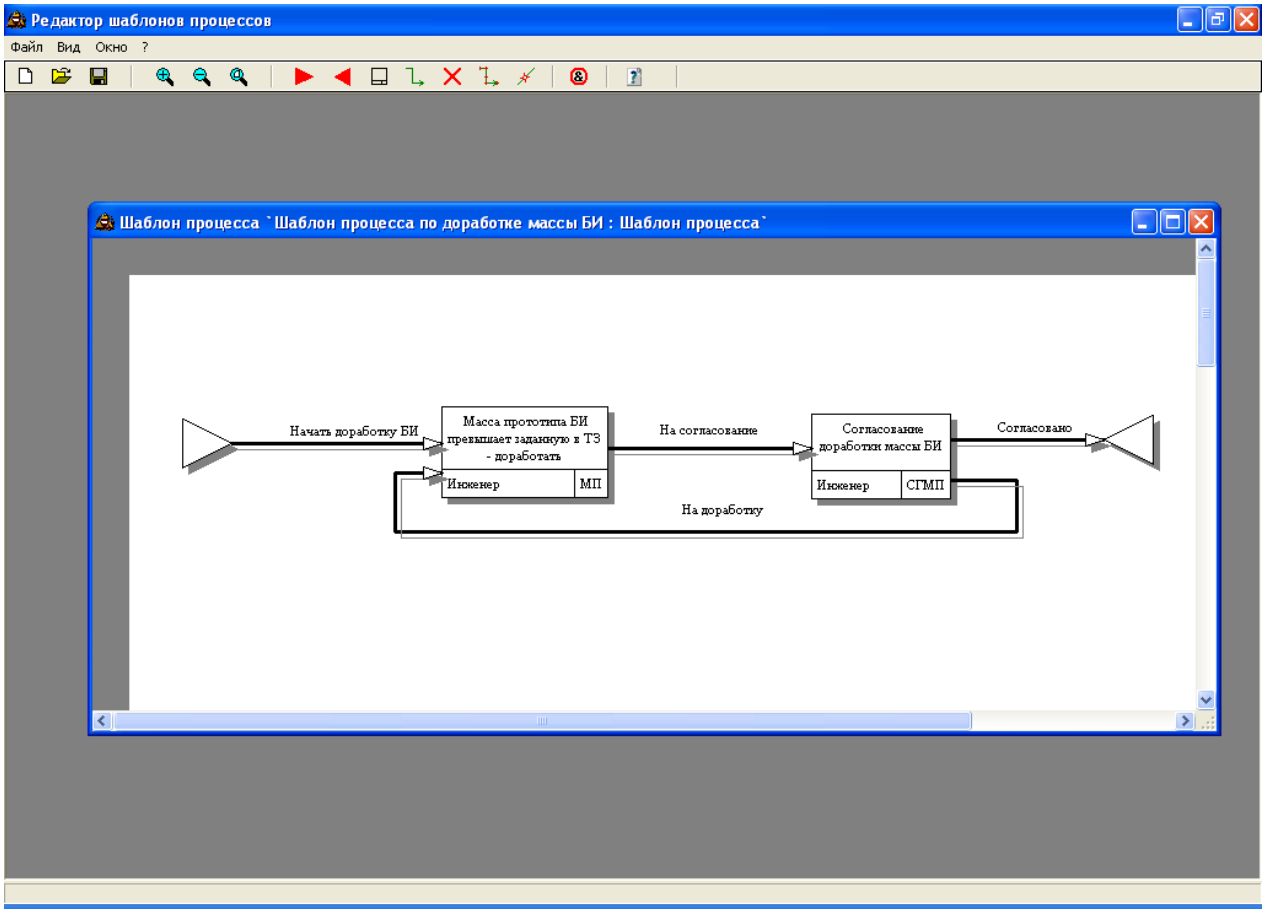


Рис. 5.88. Пример простого шаблона процесса по доработке изделия по массе

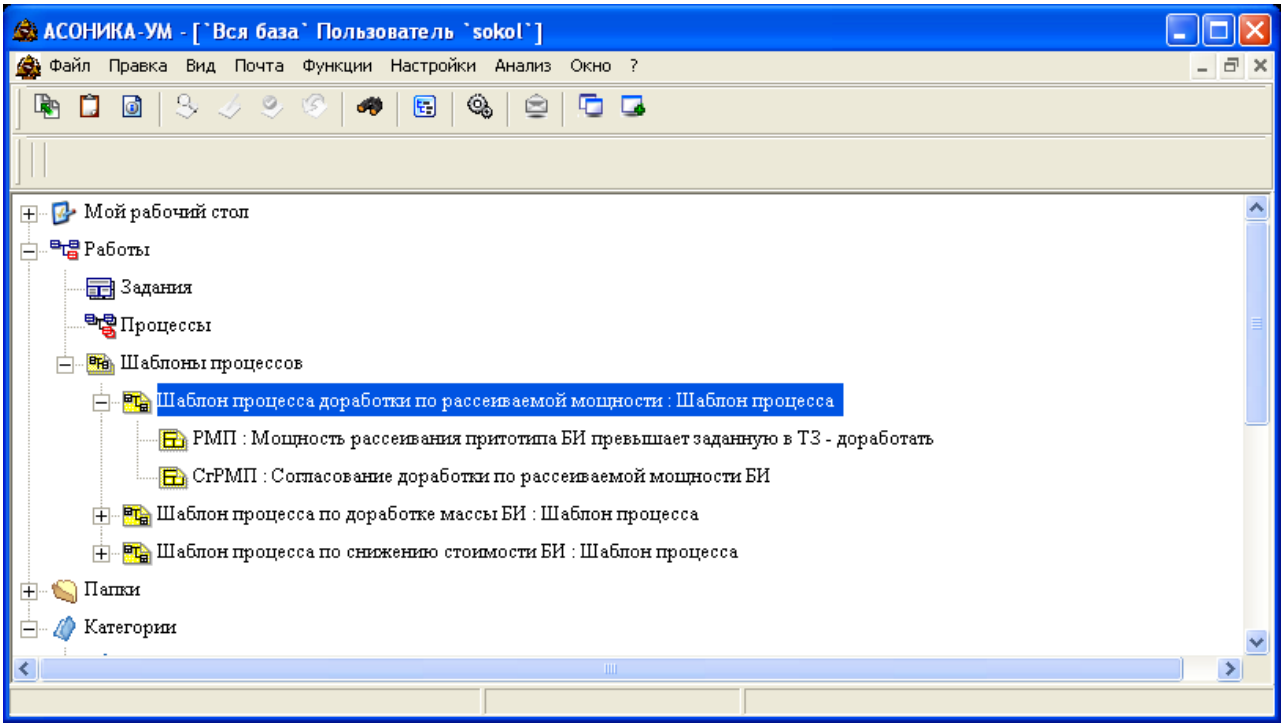


Рис. 5.89. Пример отображения шаблонов по доработке ТИ
в дереве объектов АСОНИКА-УМ

Реализации вышеописанной автоматизации управления применением методики проектирования на базе различных систем управления моделированием могут различаться в зависимости:

– от соответствия интегрированных с СУМ РЭС CAD/CAE-систем (или их версий) используемым предприятием-разработчиком ТИ;

– от предусмотренных в функционале СУМ РЭС средств разработки приложений.

Может, например, потребоваться расширить библиотеку интегрированных с СУМ РЭС CAD/CAE-систем и библиотеку API-функций, воспользоваться средствами встраивания внешнего приложения в интерфейс СУМ РЭС или использовать его автономно.

ГЛАВА 6
РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ АСОНИКА

6.1. Виртуальное проектирование радиоэлектронных средств с помощью системы АСОНИКА

В настоящее время предъявляются все большие требования к разрабатываемой технике, совместно с этим возникает необходимость в использовании виртуального проектирования на стадии разработки РЭС. К основным из таких требований можно отнести:

– эксплуатационные;

– габаритные размеры;

– масса;

– надежность.

При проведении натурных испытаний опытного образца устройства тяжело учитывать большое количество факторов, которые напрямую связаны между собой и влияют друг на друга,что в конечном счете приведет либо к завышенным запасам, либо к поломке в реальных условиях эксплуатации.

АСОНИКА – это сертифицированная автоматизированная система обеспечения надежности и качества радиоэлектронной аппаратуры.

Виртуальное проектирование в программном комплексе АСОНИКА позволяет учитывать взаимосвязь тепловых, механических, электрических факторов при расчете как в стационарном, так и нестационарном режиме. Появляется возможность еще до выхода опытного образца избежать возникновения возможных отказов и поломок разрабатываемого изделия, выбрать наилучший вариант конструкции,повышая тем самым надежность разрабатываемой аппаратуры;уменьшить время и денежные затраты на реализацию проекта, что также является немаловажным в растущей конкурентной среде.

Под виртуальным проектом в данной работе понимается совокупность взаимосвязанной электронной конструкторской, технологической, эксплуатационной и т.д. документации с виртуальным макетом изделия.

Виртуальный макет изделия – это структурированные, определенным образом взаимосвязанные комплексные модели электрических, тепловых, механических и аэродинамических (гидравлических) процессов с результатами анализа. Взаимодействие с виртуальным макетом происходит при помощи методик, предусмотренных в CALS-технологии, через систему электронного документооборота (ProductDataManager – управление данными об изделии PDM-система) АСОНИКА-УМ.

Виртуальный макет изделия дает возможность обращаться с ним, как с материальным оригиналом, а именно: оценивать соответствие параметров и выходных характеристик изделия требованиям технического задания, стандартам и другой нормативной документации, а также принимать обоснованные решения для внесения изменений в проектирование изделия в целях улучшения при оптимизации показателей его качества и надежности.

На рис. 6.1 показана схема формирования виртуального проекта в процессе проектирования.



Рис. 6.1. Формирование виртуального проекта в процессе проектирования

Виртуальный проект включает:

– электронную документацию для проектирования, производства и эксплуатации;

– комплексную модель физических процессов в схемах и конструкциях РЭС с результатами ее комплексного анализа;

– диагностические модели;

– инструменты конвертации;

– комплект информационно-логических методик проектирования РЭС.

Особенно требовательной по надежности и качеству является аппаратура ракетно-космического назначения. Для примера возьмем блок обработки первичной информации.Он устанавливается в замкнутый невентилируемый отсек ракеты. Задача состоит в оценке его надежности. Рассмотрим на примере данного блока этапы виртуального моделирования.

После сбора разработчиками всей необходимой информации для проведения моделирования на первом этапе проводится расчет электрических параметров. Для этого можно воспользоваться системами автоматизированного проектирования, такими как MentorGraphics, ArCAD, DesignLab идр. Данный этап моделирования необходим для получения следующих данных:

– токи и напряжения на каждом ЭРИ;

– коэффициенты нагрузки ЭРИ;

– мощности тепловыделений ЭРИ.

На втором этапе необходимо провести тепловой расчет блока. Расчет проводится в подсистеме моделирования тепловых процессов радиоэлектронных устройств АСОНИКА-Т.

На рис. 6.2 представлена модель тепловых процессов блока обработки первичной информации в подсистеме АСОНИКА-Т, в которой учтены размеры конструктивов, их расположение, теплофизические параметры материалов и мощности тепловыделения печатных узлов.

При моделировании строится топологическая модель теплового процесса конструкции. При построении необходимо сделать некоторые допущения:

– мощность тепловыделения ПУ моделируется источником постоянной мощности;

– окружающая среда моделируется источником постоянной температуры;

– режим нагрева – стационарный (постоянный);

– каждый печатный узел изотермичен.

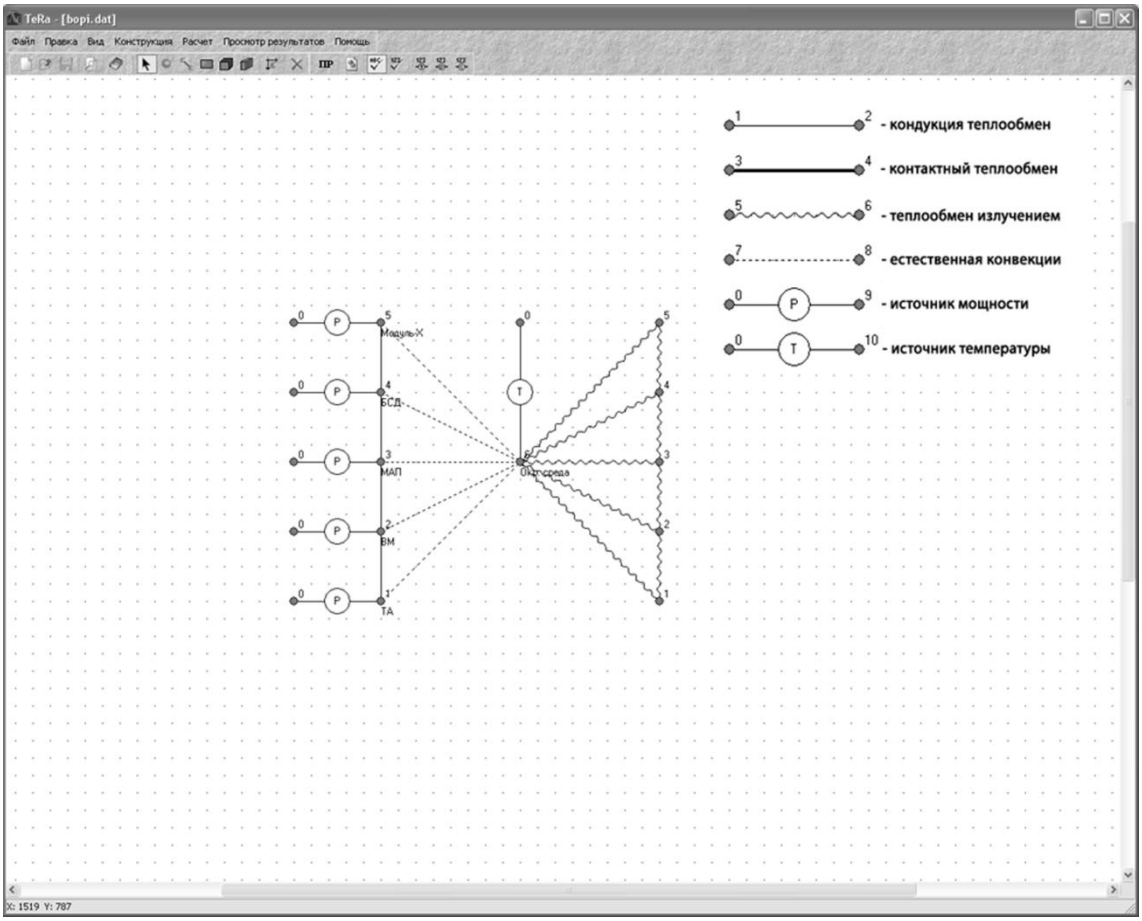


Рис. 6.2. Модель тепловых процессов блока в подсистеме АСОНИКА-Т

В соответствии с исходными данными и требованиями технического задания построена МТП блока и проведен расчет при температуре окружающей среды. Анализ результатов расчета показал, что средние температуры узлов конструкции не превышают предельно допустимые по техническим условиям.

Для определения стойкости блока к механическим воздействиям перейдем к третьему этапу,на котором проводится моделирование механических процессов с помощью подсистемы расчета механических процессов РЭС АСОНИКА-М. При расчете учитывается тепловое воздействие. Параметры механических воздействий задаются в соответствии с требованиями ТЗ на блок.

Модель блока, построенная на основе этажерочного блока в подсистеме АСОНИКА-М,изображена на рис. 6.3. Полученные данные используются при последующем, более точном моделировании печатных узлов блока.

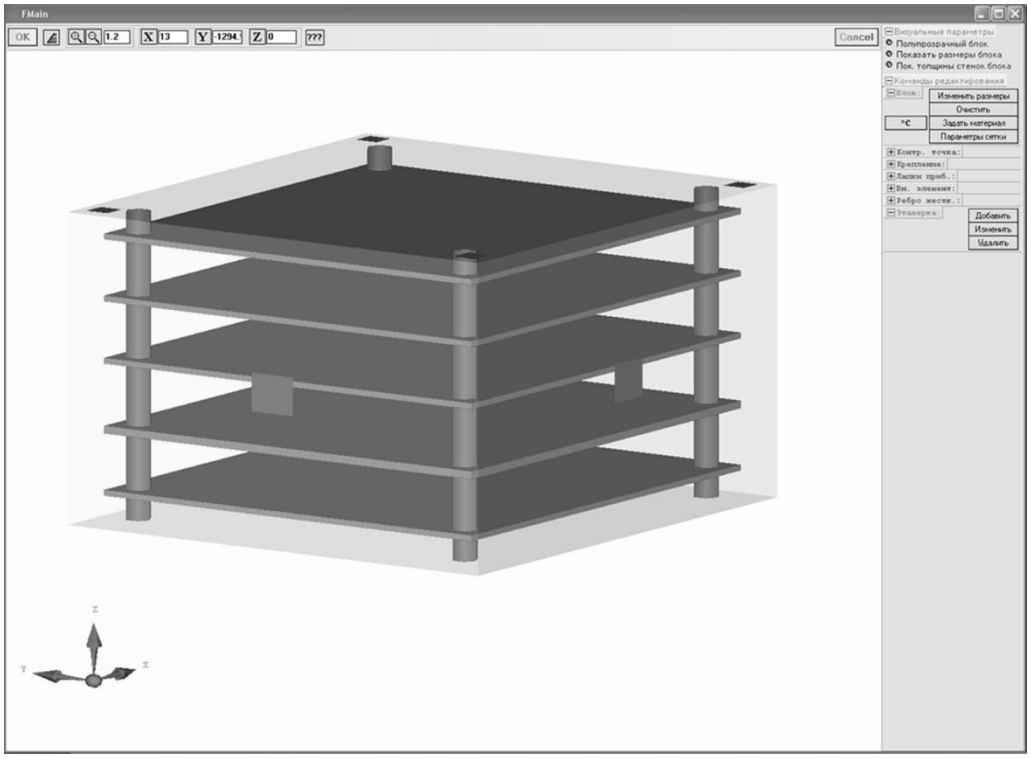


Рис. 6.3. Модель механических процессов блока в подсистеме АСОНИКА-М

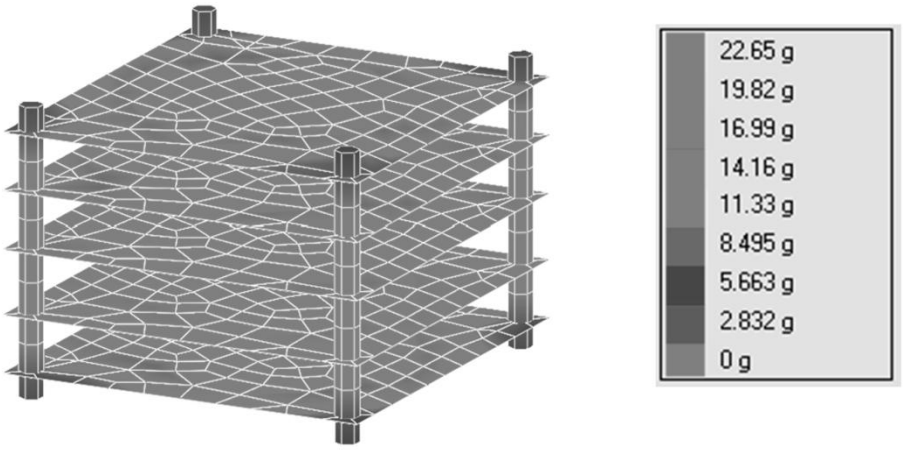
Расчет собственных частот и форм колебаний проводился для проверки соблюдения требований по частотным характеристикам, а также в целях дальнейшего определения динамических нагрузок. Нижние значения собственных частот колебаний и условия нагружения прибора определены из анализа результатов моделирования.

Масса конструктивных элементов прибора определялась толщинами и сечениями соответствующих элементов. Масса электронных компонентов прибора моделировалась путем подбора удельных масс соответствующих элементов (платы, соединители).

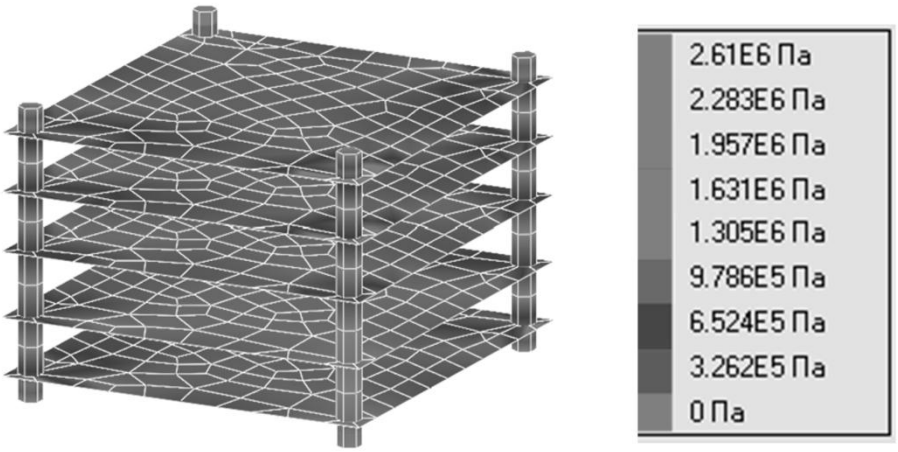
Результаты расчета при воздействии гармонической вибрации.На рис. 6.4 изображены поля ускорений и напряжений на частоте 230 Гц. На рис. 6.5 приведена зависимость значений ускорений в наиболее нагруженных узлах модели от значений частоты в диапазоне от 205 до 255 Гц.

Также были проведены расчеты при воздействии случайной вибрации, однократное и многократное ударное воздействие, воздействие линейного ускорения и акустического шума в соответствии с требованиями ТЗ.

Перегрузки узлов блока в результате механических воздействий отсутствуют. Полученные значения напряжений не превышают предельно допустимых по ТУ (рис. 6.6).



а



б

Рис. 6.4. Поля ускорений (*а*) и напряжений (*б*) при воздействии гармонической вибрации на частоте 230 Гц

Анализ результатов механического расчета показал, что окончательный вывод о работоспособности блока в условиях механических воздействий можно будет сделать только после моделирования печатных узлов. Поэтому следующим этапом виртуального проектирования будет моделирование ПУ блока в подсистеме расчета тепломеханических процессов в печатных узлах АСОНИКА-ТМ. На основании анализа механических и тепловых характеристик ПУ делаются выводы о соответствии техническим условиям на ЭРИ по тепловым и механическим характеристикам.

В качестве исходных данных для расчета используются: чертежи, выполненные в системе PCAD, параметры механических воздействий, полученные в результате механического моделирования блока

в подсистеме АСОНИКА-М, тепловые граничные условия, полученные в результате теплового моделирования блока в подсистеме АСОНИКА-Т, и данные из документации на ЭРИ, занесенные в специализированную базу данных.

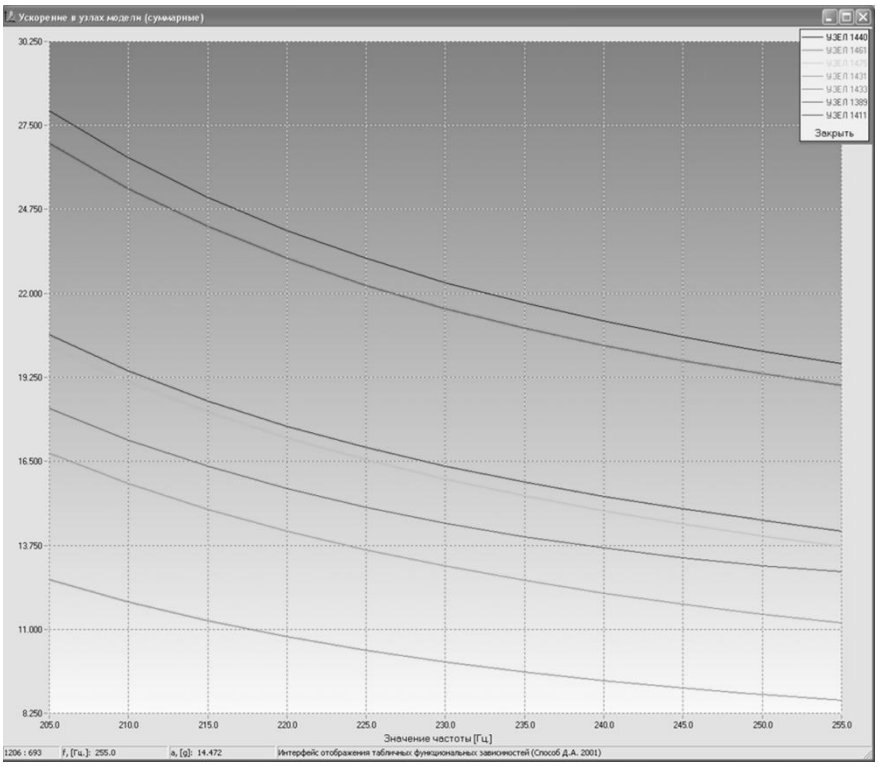


Рис. 6.5. Зависимость значений ускорений в узлах модели от значений частоты

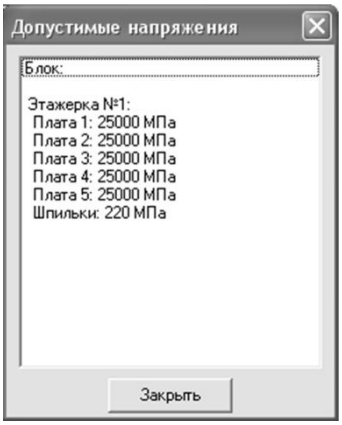


Рис. 6.6. Допустимые напряжения для материалов конструкции блока

Для блока собраны следующие данные об ЭРИ:

– размеры посадочного места;
– размеры самого ЭРИ;
– масса;
– размеры сечения выводов;

– размеры выводов;

– рабочая температура;

– данные о материалах;

– допустимые значения механических, тепловых нагрузок;

– электрические параметры.

Данная идентификация была проведена для проведения тепломеханического моделирования и автоматизированного заполнения карт рабочих режимов в подсистемах АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р. Созданная база данных позволила при конвертации печатных узлов из PCAD автоматически вносить параметры ЭРИ.

Модель тепловых и механических процессов каждого ПУ, входящего в блок, формируется автоматически конвертированием размеров и координат ЭРИ из системы размещения и трассировки печатных плат PCAD в подсистему тепломеханического моделирования ПУ АСОНИКА-ТМ (рис. 6.7).

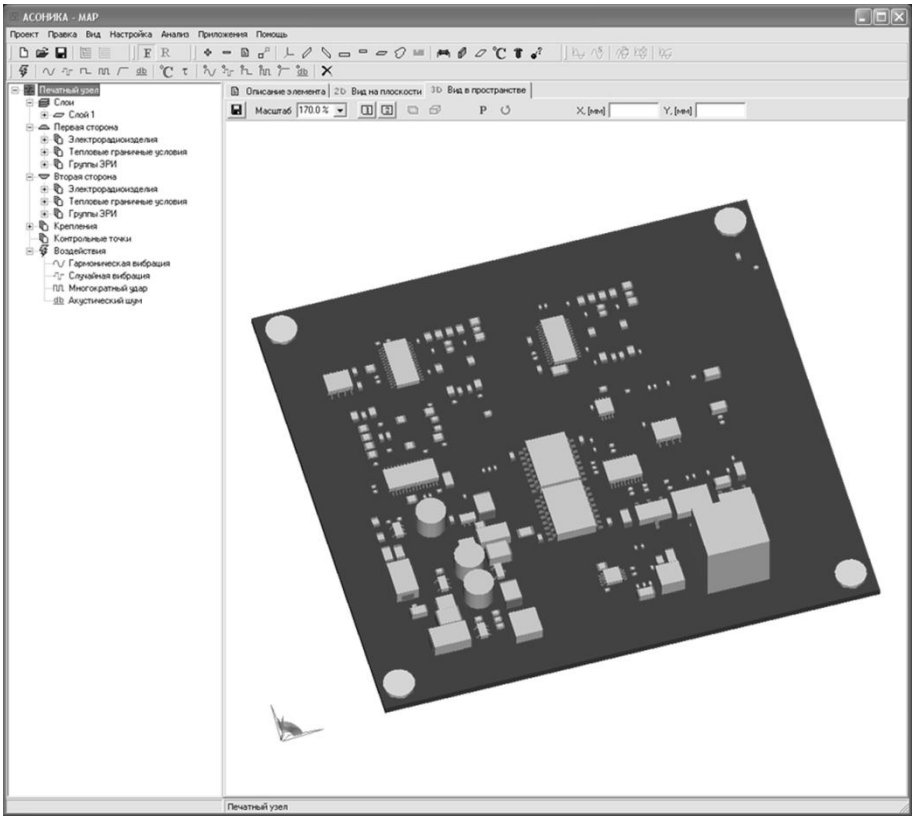


Рис. 6.7. Модель тепломеханических процессов ПУ в АСОНИКА-ТМ

При помощи конвертера, связывающего PCAD и АСОНИКА-ТМ, формируется геометрия модели тепловых и механических процессов. Для каждого ЭРИ задаются необходимые тепломеханические

параметры, которые содержатся в интегрированной базе данных параметров ЭРИ и мощности тепловыделений.

Анализ проведенного тепломеханического моделирования печатных узлов блока показал, что механические и тепловые нагрузки не превышают предельно допустимых по ТУ, перегрузки ЭРИ не выявлены, требования ТЗ по живучести и стойкости к внешним воздействиям выполняются. Далее с помощью подсистемы АСОНИКА-Р были заполнены и выпущены карты рабочих режимов ЭРИ. Полученные результаты моделирования печатных узлов блока передаются в подсистему расчета надежности АСОНИКА-Б.

На рис. 6.8 представлены поля ускорений на ПУ блока при воздействии гармонической вибрации в соответствии с требованиями ТЗ.

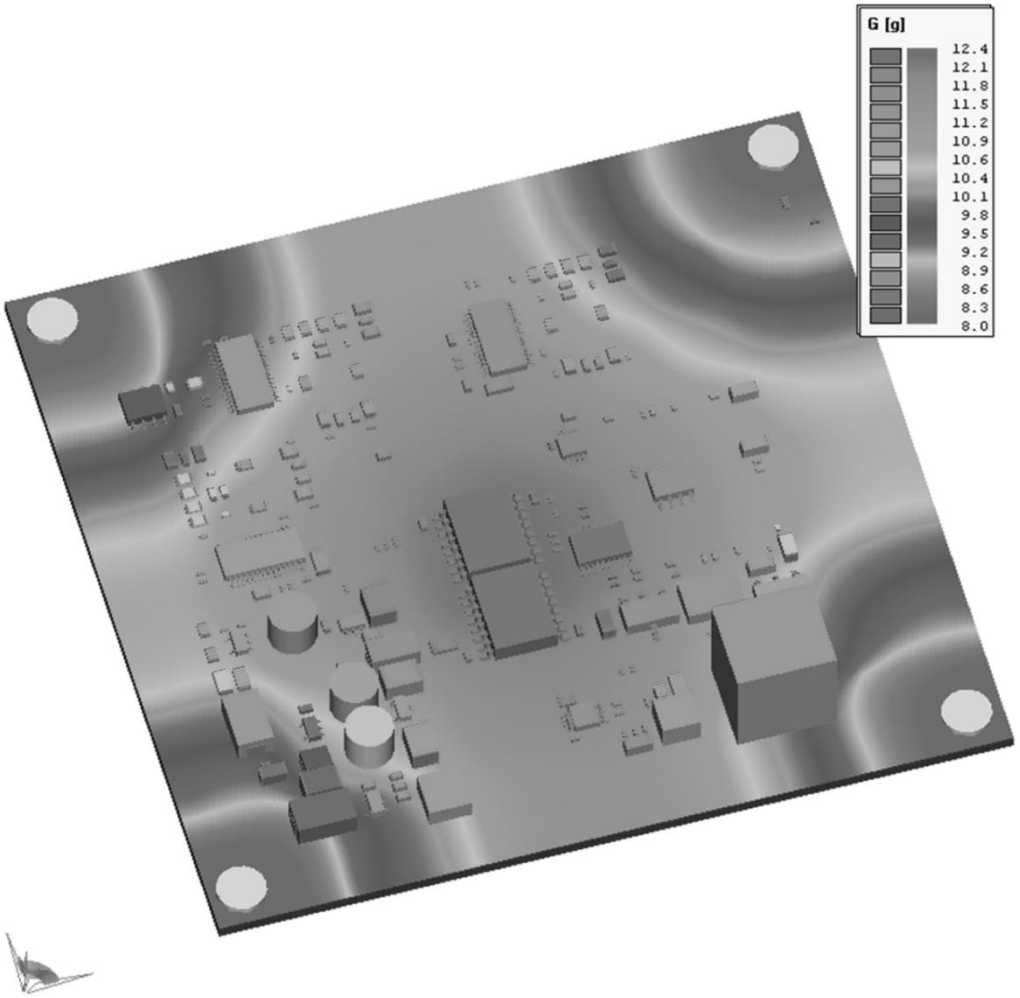


Рис. 6.8. Поля ускорений ПУ при воздействии гармонической вибрации.

На последнем этапе проводится расчет показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б программногокомплекса АСОНИКА. Ис-

ходными данными для расчета показателей надежности служат выходные данные, полученные в предыдущих расчетах.

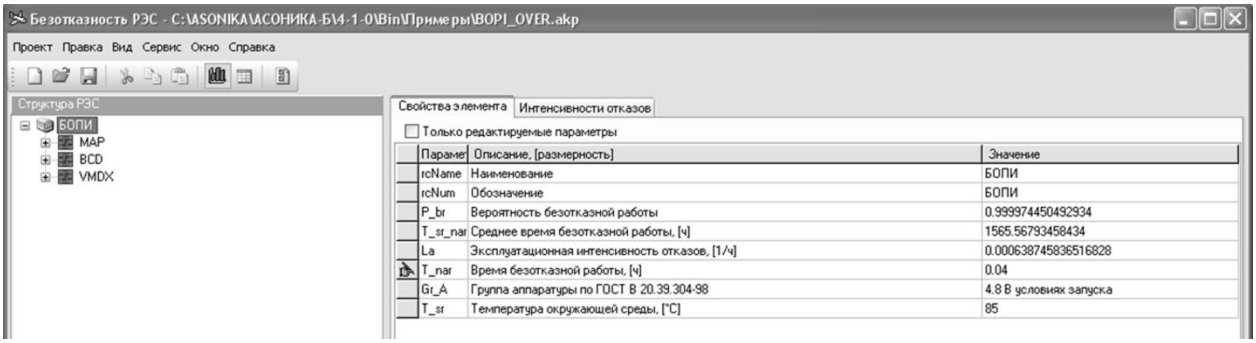
Согласно требованиям ТЗ были проведены расчеты надежности модулей, входящих в состав блока, и получены следующие характеристики:

– интенсивность отказов;

– среднее время безотказной работы;

– вероятность безотказной работы.

На рис. 6.9 и 6.10 показаны окна подсистемы АСОНИКА-Б с результатами расчета надежности блока в условиях группы 4.8 (запуск).



6.9. Окно подсистемы АСОНИКА-Б с результатами расчета в условиях группы 4.8 (запуск)

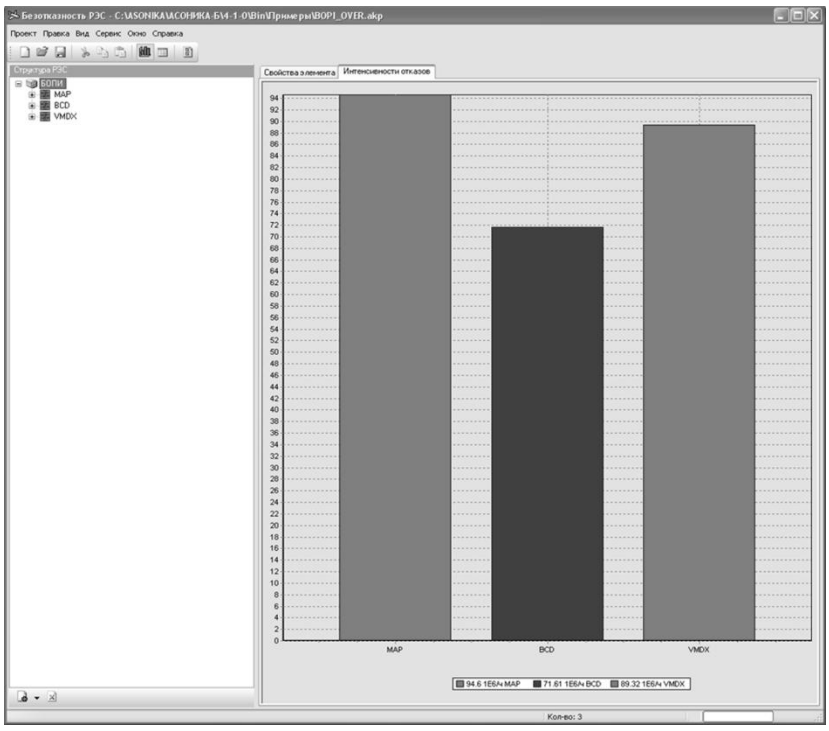


Рис. 6.10. Интенсивности отказов модулей блока в условиях группы 4.8 (запуск)

Расчет показал удовлетворительные результаты показателей надежности блока во всех условиях.

В результате проведенного моделирования был сформирован отчет, содержащий описание блока и проделанных работ с результатами виртуальных испытаний и сформированными картами рабочих режимов. В заключение был выпущен опытный образец блока обработки первичной информации, который с уверенностью выдержал все натурные испытания, что еще раз подтвердило справедливость и необходимость использования виртуального проектирования.

Виртуальное проектирование на базе программного комплекса АСОНИКА позволяет снизить сроки при проектировании и подготовкепроизводства разрабатываемой РЭУ, сократить количество изменений, вносимых в РЭС, и повысить их надежности.

Разработанный виртуальный проект обеспечил взаимосвязь при комплексном моделировании физических процессов, реализацию единого информационного пространства, поддержку последующих этапов жизненного цикла изделия (производство, эксплуатация). Существует возможность в любой момент просмотреть, отредактировать, внести новый нужный документ в данный проект, что значительно упрощает последующие модификации.

6.2. Апробация системы АСОНИКА при проведении виртуальных испытаний тестовогообразца блока РЭС на внешние механические и тепловые воздействия

Апробация системы АСОНИКА проведена на тестовом образце блока РЭС, для которогопредприятием-изготовителем были предоставлены следующие материалы:

– сборочный чертеж и эскизы блока РЭС (файлы AutoCad);

– файлы печатного узла в системе PCAD;

– спецификации на блок РЭС;

– требования к механическим и климатическим воздействиям в соответствии с ГОСТ РВ–20.39.304–98 (группа 1.3 «Аппаратура объектов на колесных и гусеничных шасси, не имеющих противопульного бронирования и артиллерийско-минометного вооружения»).

Предоставленный блок состоит из основания, корпуса и крышки. Печатный узел расположен внутри корпуса и прикреплен к нему с помощью четырех винтов. Крепление корпуса к основанию и крышки к корпусу также осуществляется винтами. Объемная модель блока, разработанная в SolidWorks, представлена на рис. 6.11.

Для определения механических характеристик блока РЭС использовались подсистемы анализа объемных конструкций радиоэлектронных средств на механические воздействия АСОНИКА-М и АСОНИКА-М2.

Для определения тепловых характеристик блока РЭС использовалась подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т.

Для определения механических и тепловых характеристик печатного узла использовалась подсистема анализа конструкций печатных узлов радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ.

Также использована справочная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам АСОНИКА-БД. В базу данных в соответствии со спецификацией на печатный узел были внесены данные о необходимых элементах.

6.2.1. Анализ тестового блока РЭС на тепловые воздействияв АСОНИКА-Т

Исходные данные.Исходные данные для проведения расчетов в подсистеме АСОНИКА-Т:

– чертеж блока (файлы системы AutoCAD), размеры блока составляют 122 × 120 × 80 мм, толщина стенок принята 4,5 мм;

– материал корпуса – алюминиевый сплав Д16, материал печатного узла – СФ-1-35 1,5 мм;

– суммарная мощность тепловыделения электрорадиоэлементов печатного узла – 1 Вт (табл. 6.1);

– параметры внешнего теплового воздействия приведены в табл. 6.2, атмосферное давление 760 мм рт. ст.

Модель блока РЭС.Топологическая тепловая модель блока в АСОНИКА-Т приведена на рис. 6.12.

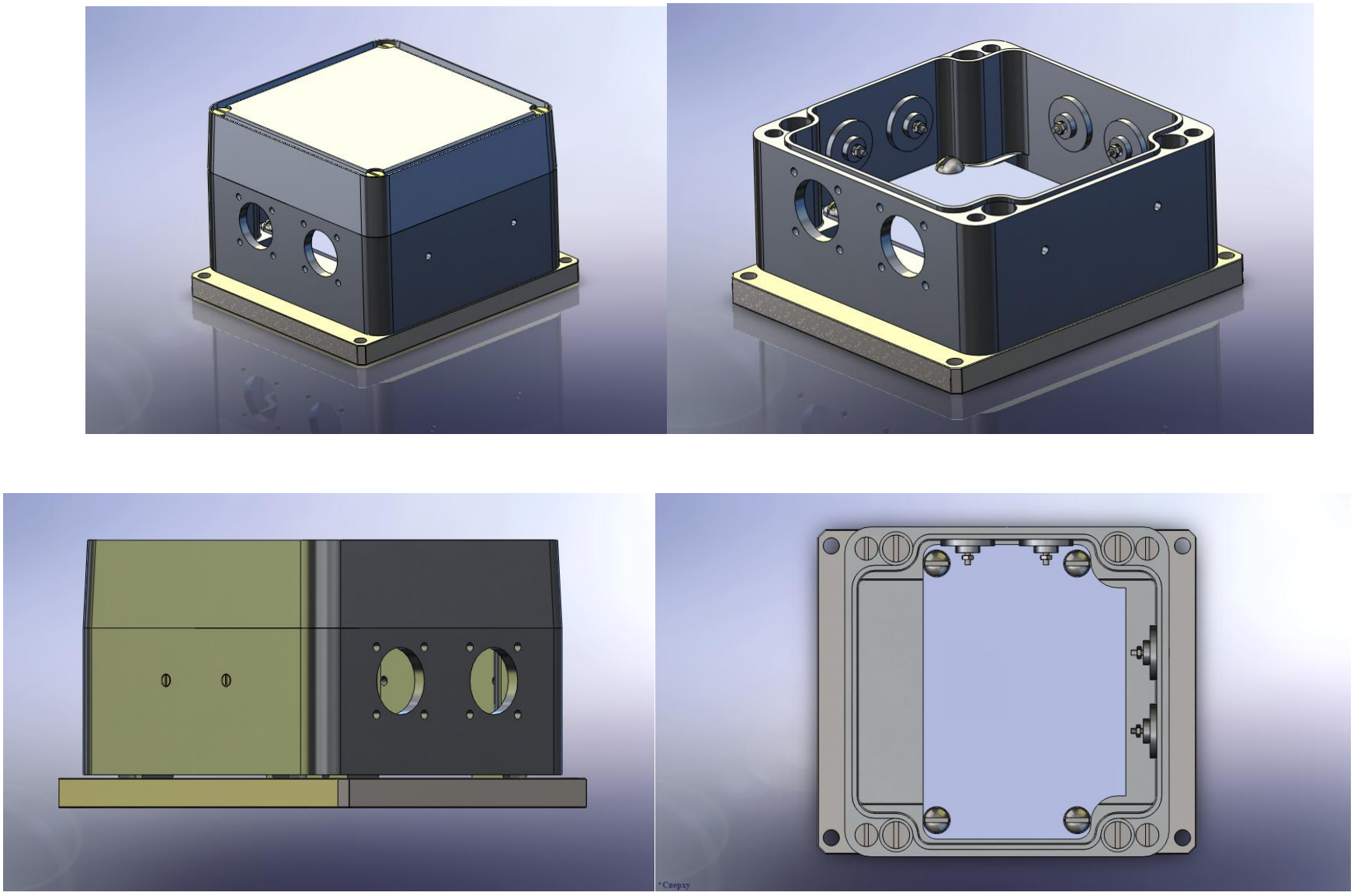


Рис. 6.11. Объемная модель тестовогоблока РЭС

Таблица 6.1

Мощность тепловыделения ЭРИ

Позиционное обозначение	Полная условная запись	Мощность тепловыделения
L1	DR74-101-R	10 мВт
D6	MCP1541-I/TO	20 мВт
D7	MCP6022-I/SN	20 мВт
D1	ST485	50 мВт
D3	MC7812ABD2T	50 мВт
D4	MC7805ABD2T	50 мВт
D2	MCP2551-I/SN	20 мВт
D5	PIC18F4585-I/PT	300 мВт
R1-R18	CR0805	10 мВт
Z1	РК374МД-9АС	5 мВт
V2, V3	BZV55-C4V7	15 мВт
V4	BZX85C5V6	20 мВт
V1	S3D	25 мВт
V5-V7	EL15-21SURC	10 мВт

Таблица 6.2

Параметры внешнего теплового воздействия

Воздействующий фактор	Значение
Повышенная рабочая температура среды	+65 °С
Рабочая температура среды	+25 °С
Пониженная рабочая температура среды	–30 °С
Изменение температуры среды	–30…+65 °С

Блок условно разбивают на девять изотермичных объемов, которым поставлены в соответствие девять узлов:

– узел 1 – левая стенка корпуса;

– узел 2 – верхняя стенка корпуса;

– узел 3 – передняя стенка корпуса;

– узел 4 – нижняя стенка корпуса;
– узел 5 – задняя стенка корпуса;
– узел 6 – правая стенка корпуса;
– узел 7 – печатный узел;
– узел 8 – воздух внутри корпуса;
– узел 9 – воздух вокруг корпуса (окружающая среда).

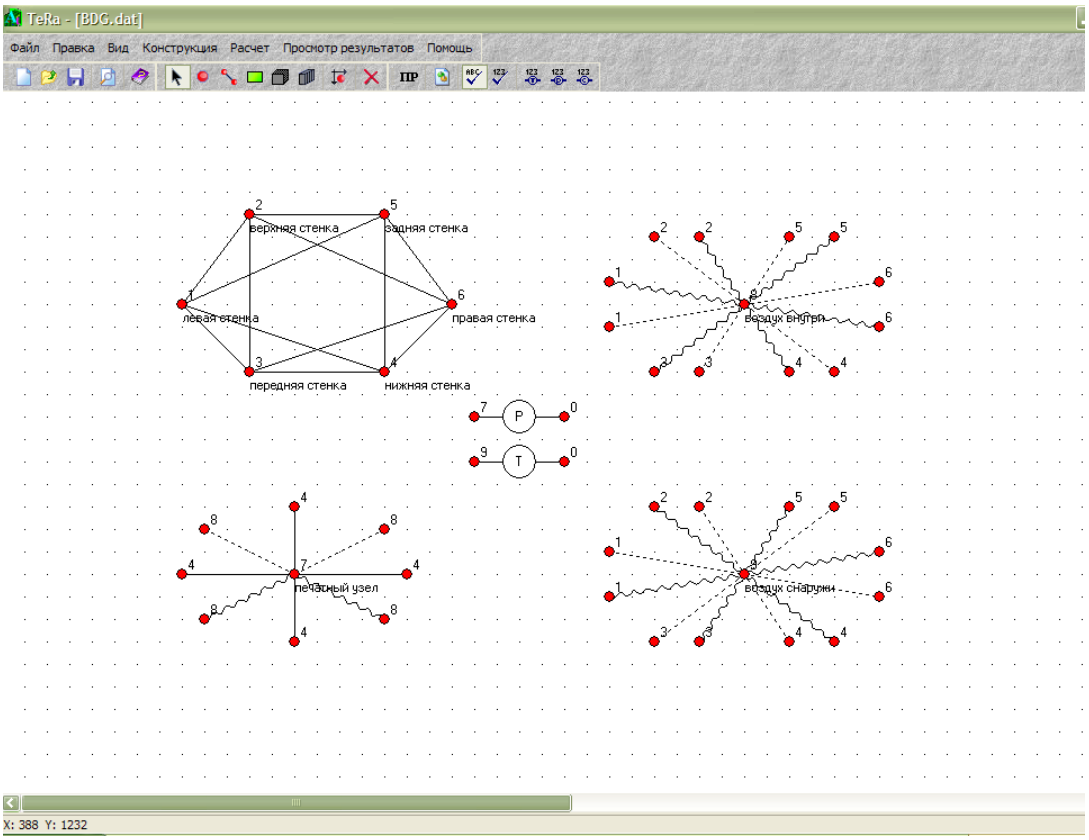


Рис. 6.12. Топологическая тепловая модель блока датчиков горизонта в подсистеме АСОНИКА-Т

Узлы топологической тепловой модели соединены ветвями различного типа: кондукция, излучение, естественная конвекция.

Узлы 1–6 (стенки корпуса) соединены между собой ветвями типа «кондуктивный теплообмен в декартовой системе координат» с параметрами, приведенными в табл. 6.3.

Каждая грань корпуса внешней поверхностью взаимодействует конвекцией и излучением с воздухом снаружи. Узел 9 соединен с каждой стенкой корпуса (узлы 1–6) ветвями типа «естественная конвекция с плоской неразвитой поверхности» и «излучение с неразвитой поверхности», параметры которых сведены в табл. 6.4 и 6.5 соответственно.

Таблица 6.3

Параметры ветвей типа «кондуктивный теплообмен» узлов 1–6

Пара узлов	Параметры ветви			
	Размер, определяющий площадь сечения теплового потока		Длина пути теплового потока, мм	Теплопроводность материала (сплав Д16), Вт/м·К
	Длина, мм	Толщина, мм		
1–2	120	4,5	101	170
1–3	80	4,5	121	170
1–4	120	4,5	101	170
1–5	80	4,5	121	170
2–3	122	4,5	100	170
2–5	122	4,5	100	170
2–6	120	4,5	101	170
3–4	122	4,5	100	170
3–6	80	4,5	121	170
4–5	122	4,5	100	170
4–6	120	4,5	101	170
5–6	80	4,5	121	170

Таблица 6.4

Параметры ветвей типа «естественная конвекция»
между узлом 9 и узлами 1–6

Пара узлов	Параметры ветви				
	Длинаповерхности, мм	Ширинаповерхности, мм	Определяющий размер, мм	Коэффициенториентации	Давление окружающей среды, мм рт. ст.
1–9	120	80	80	1	760
2–9	122	120	120	1,3	760
3–9	122	80	80	1	760
4–9	122	120	120	0,7	760
5–9	122	80	80	1	760
6–9	120	80	80	1	760

Таблица 6.5

Параметры ветвей типа «теплообмен излучением»
между узлом 9 и узлами 1–6

Пара узлов	Параметры ветви			
	Длина поверхности, мм	Ширина поверхности, мм	Степень черноты поверхности	Коэффициент облученности
1–9	120	80	0,39	0,8
2–9	122	120	0,39	0,8
3–9	122	80	0,39	0,8
4–9	122	120	0,39	0,8
5–9	122	80	0,39	0,8
6–9	120	80	0,39	0,8

Все стенки корпуса блока внутренними поверхностями взаимодействуют конвекцией и излучением с воздухом внутри блока. Узел 8 соединен с каждой стенкой корпуса (узлы 1–6) ветвями типа «естественная конвекция с плоской неразвитой поверхности» и «излучение с неразвитой поверхности», параметры которых сведены в табл. 6.6 и 6.7 соответственно.

Таблица 6.6

Параметры ветвей типа «естественная конвекция»
между узлом 8 и узлами 1–6

Пара узлов	Параметры ветви				
	Длина поверхности, мм	Ширина поверхности, мм	Определяющий размер, мм	Коэффициент ориентации	Давление окружающей среды, мм рт. ст.
1–8	120	80	80	1	760
2–8	122	120	120	0,7	760
3–8	122	80	80	1	760
4–8	122	120	120	1,3	760
5–8	122	80	80	1	760
6–8	120	80	80	1	760

Таблица 6.7

Параметры ветвей типа «теплообмен излучением» между узлом 8 и узлами 1–6

Пара узлов	Параметры ветви			
	Длина поверхности, мм	Ширина поверхности, мм	Степень черноты поверхности	Коэффициент облученности
1–8	120	80	0,39	0,8
2–8	122	120	0,39	0,8
3–8	122	80	0,39	0,8
4–8	122	120	0,39	0,8
5–8	122	80	0,39	0,8
6–8	120	80	0,39	0,8

Печатный узел 7 взаимодействует обеими сторонами конвекцией и излучением с воздухом внутри блока 8. Взаимодействию верхней и нижней сторон печатной платы (узел 7) с воздухом внутри корпуса (узел 8) соответствуют две пары ветвей типа «естественная конвекция с плоской неразвитой поверхности» и «излучение с неразвитой поверхности» с параметрами, приведенными в табл. 6.8.

Печатный узел 7 также кондуктивно взаимодействует с нижней стенкой корпуса блока 4 (через четыре крепления по углам). При этом тепло передается от центра платы к углам. В тепловой топологической модели кондуктивный теплообмен между печатным узлом и нижней стенкой корпуса смоделирован четырьмя ветвями типа «кондуктивный теплообмен в декартовой системе координат» между узлом 7 и узлом 4 с параметрами, приведенными в табл.6.9.

Тепловыделение происходит в печатном узле за счет тепловыделения расположенных на печатной плате электрорадиоизделий, суммарная мощность тепловыделения которых не превышает 1 Вт (см. табл. 6.1). В узел 7 относительно нулевого узла включен источник постоянной мощности 1 Вт (рис. 6.13, *а*).

Для задания температуры окружающей среды в узел 9 (воздух снаружи) включен источник постоянной температуры, например, +25 °С (рис. 6.13, *б*).

Таблица 6.8

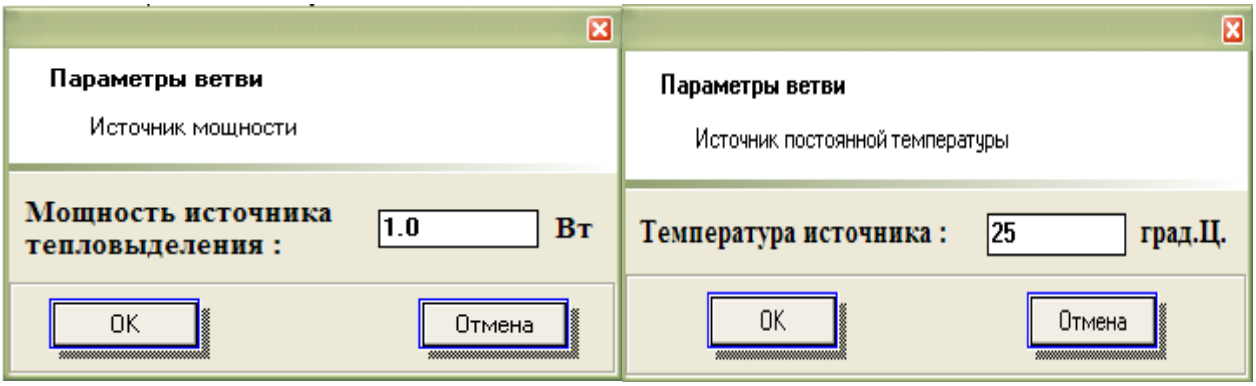
Параметры ветвей между узлами 7 и 8

Тип и параметры ветви		Пара узлов 7–8 (верхняя сторона)	Пара узлов 7–8 (нижняя сторона)
Естественная конвекция с плоской неразвитой поверхности	Длина поверхности, мм	122	122
	Ширина поверхности, мм	120	120
	Определяющий размер, мм	120	120
	Коэффициент ориентации	1,3	0,7
	Давление окружающей среды, мм рт. ст.	760	760
Теплообмен излучением снеразвитой поверхности	Длина поверхности, мм	122	122
	Ширина поверхности, мм	120	120
	Степень черноты поверхности (для СФ1-35)	0,8	0,8
	Коэффициент облученности (для СФ1-35)	0,8	0,8

Таблица 6.9

Параметры ветвей типа «кондуктивный теплообмен» между узлами 7 и 4

Номер ветви	Параметры ветви			
	Размер, определяющий площадь сечения теплового потока		Длина пути теплового потока, мм	Теплопроводность материала (СФ1-35), Вт/(м·К)
	Длина, мм	Толщина, мм		
1	60	1,5	86	0,372
2	60	1,5	86	0,372
3	61	1,5	86	0,372
4	61	1,5	86	0,372



а *б*

Рис. 6.13. Диалоговые окна задания параметров источника мощности (*а*) и источника температуры (*б*)

Результаты моделирования тепловых воздействий на блок РЭС. В результате моделирования тепловых процессов в блоке при различных температурах окружающей среды получены температуры в узлах тепловой топологической модели блока, приведенные в табл. 6.10.

Анализ результатов. Анализ результатов моделирования тестируемого блока на тепловые воздействия показал, что при нагревании блока с суммарной мощностью тепловыделения ЭРИ печатного узла до 1 Вт температура корпуса повышается примерно на 2–4 °С, температура воздуха внутри корпуса – примерно на 5–6 °С, температура печатного узла – примерно на 9–11 °С относительно температуры окружающей среды.

Проведенный расчет температур стенок корпуса блока, изготовленного из сплава марки Д16, показал, что перегрев корпуса при повышенной рабочей температуре не наблюдается (примерно +67,7 °С), так как температура эксплуатации сплава марки Д16 в естественно состаренном состоянии ограничена 80 °С (ГОСТ 4784-97).

Полученные температуры в узлах 7 и 8 (печатный узел и воздух внутри корпуса) тепловой топологической модели блока использованы в качестве исходных данных для моделирования тепловых процессов в печатном узле в подсистеме АСОНИКА-ТМ.

Таблица 6.10

Температура в узлах тепловой модели блока
при различной температуреокружающей среды

Узел тепловой модели	Повышенная рабочая температура, °С	Рабочая температура, °С	Пониженная рабочая температура, °С
Температура окружающей среды (узел 9)	+65	+25	–30
Температура левой стенки корпуса (узел 1)	+67,7	+28	–26,8
Температура верхней стенки корпуса (узел 2)	+67,6	+27,9	–26,8
Температура передней стенки корпуса (узел 3)	+67,7	+28	–26,8
Температура нижней стенки корпуса (узел 4)	+67,7	+28	–26,8
Температура задней стенки корпуса (узел 5)	+67,7	+28	–26,8
Температура правой стенки корпуса (узел 6)	+67,7	+28	–26,8
Температура печатного узла (узел 7)	+74,2	+35,6	–18
Температура воздуха внутри блока (узел 8)	+70,3	+30,9	–23,6

6.2.2. Анализ тестового блока РЭС на механические воздействияв АСОНИКА-М (АСОНИКА-М2)

Исходные данные.Исходные данные для проведения расчетов в подсистеме АСОНИКА-М:

– 3D-модель блока, разработанная в SolidWorks, размеры корпуса блока составляют 122 × 120 × 80 мм, толщина стенок принята 4,5 мм;

– материал корпуса – алюминиевый сплав Д16, материал печатного узла – СФ-1-35 1,5 мм;

– параметры внешних механических воздействий, заданные в соответствии с ГОСТ РВ–20.39.304–98 (группа 1.3), представлены в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Параметры внешних механических воздействий

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение, заданное при моделировании
Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, g, м/с^2	2g
	Диапазон частот, Гц	1–200
Случайная широкополосная вибрация	Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц	0,05
	Диапазон частот, Гц	10–2000
Механический удар одиночного действия	Пиковое ударное ускорение, g, м/с^2	100g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Механический удар многократного действия	Пиковое ударное ускорение, g, м/с^2	10g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Линейное ускорение	Ускорение, g, м/с^2	150g
	Длительность действия линейного ускорения, мс	100

Характер внешних механических воздействий по оси *Z* приведен на рис. 6.14–6.18. Аналогично задаются воздействия по осям *X* и *Y*.

На рис. 6.19 представлено задание собственных частот и коэффициента демпфирования тестируемого блока.

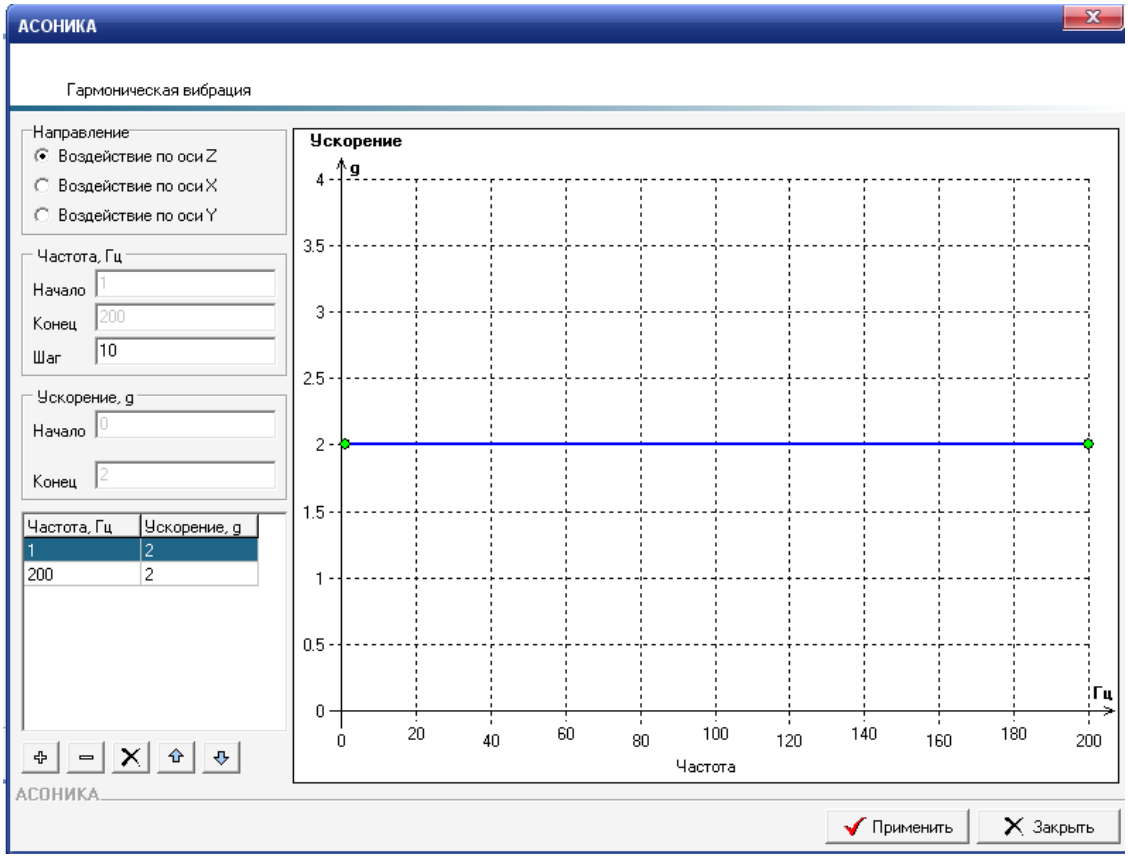


Рис. 6.14. Внешнее механическое воздействие – синусоидальная вибрация

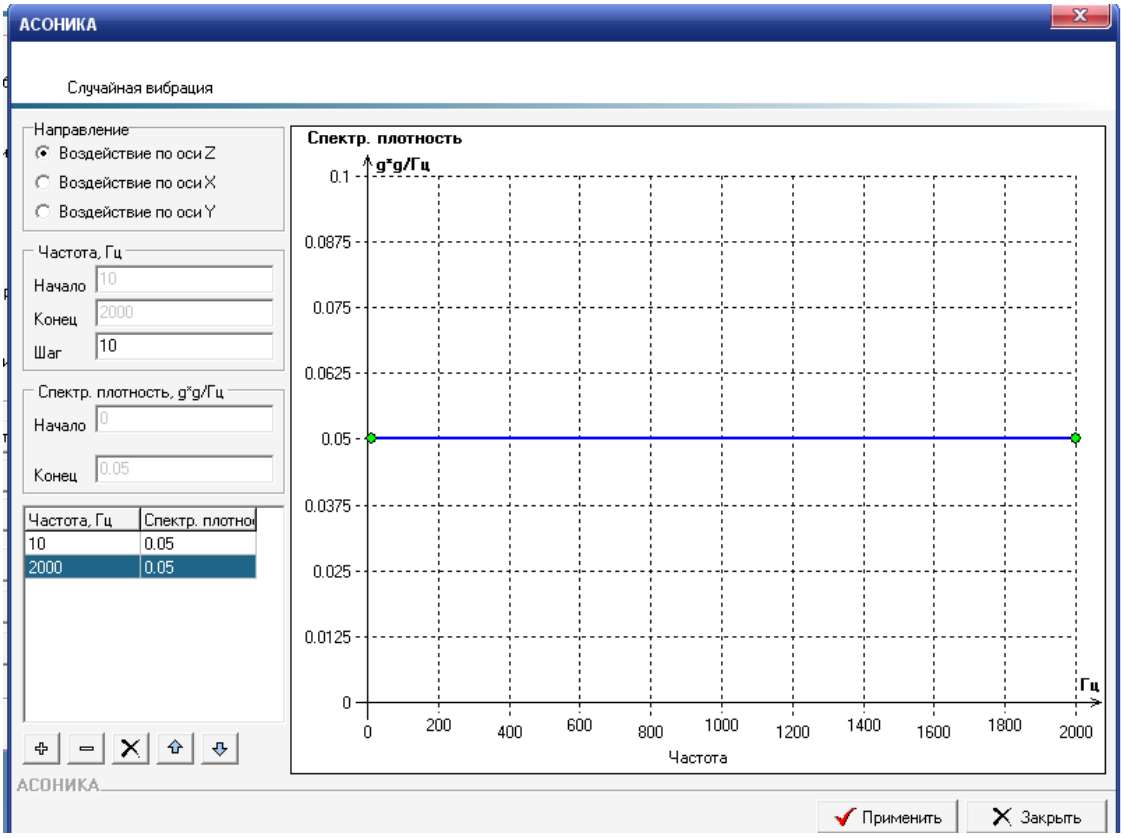


Рис. 6.15. Внешнее механическое воздействие – случайная вибрация

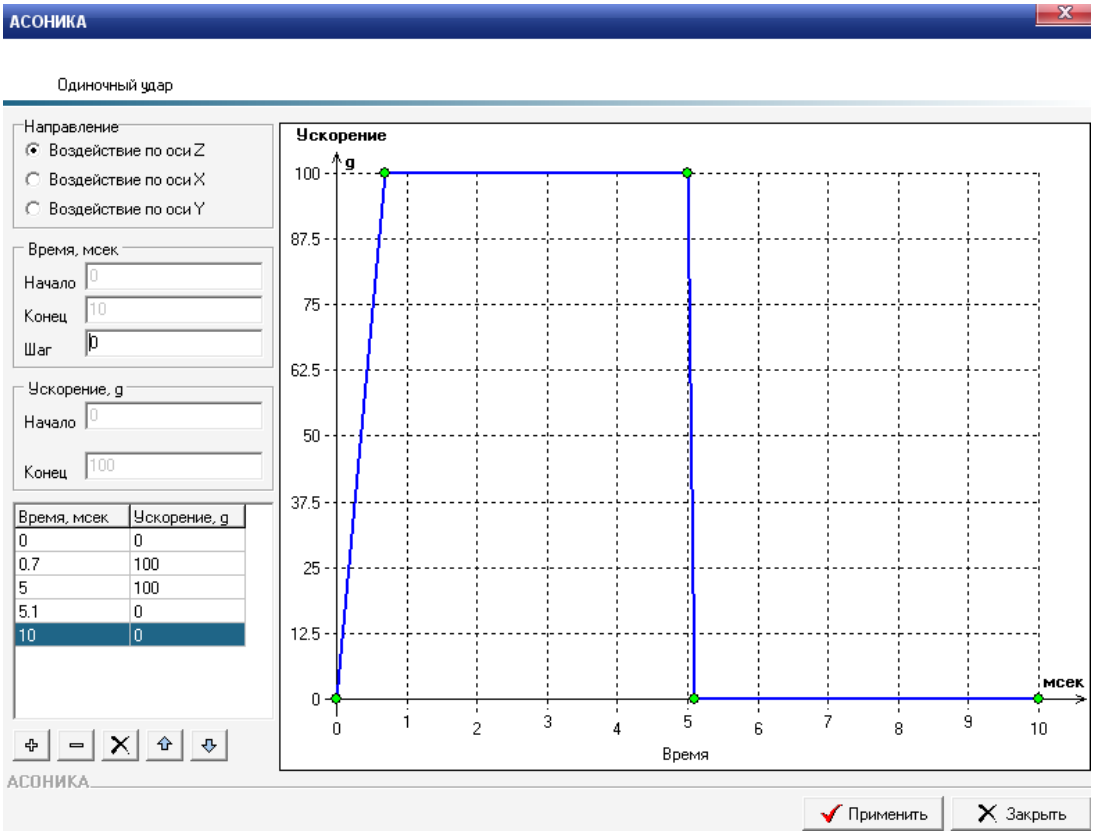


Рис. 6.16. Внешнее механическое воздействие – удар одиночного действия

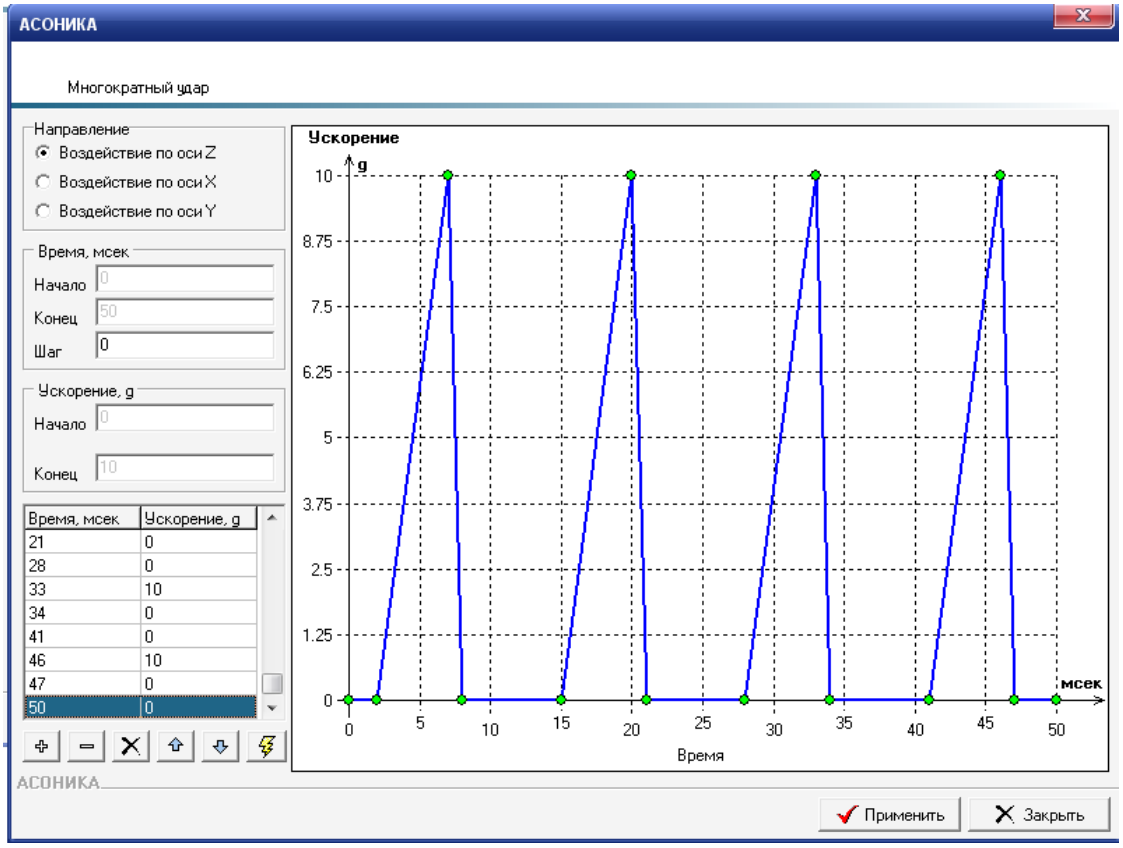


Рис. 6.17. Внешнее механическое воздействие – удар многократного действия (количество импульсов 4, шаг между импульсами 7 мс)

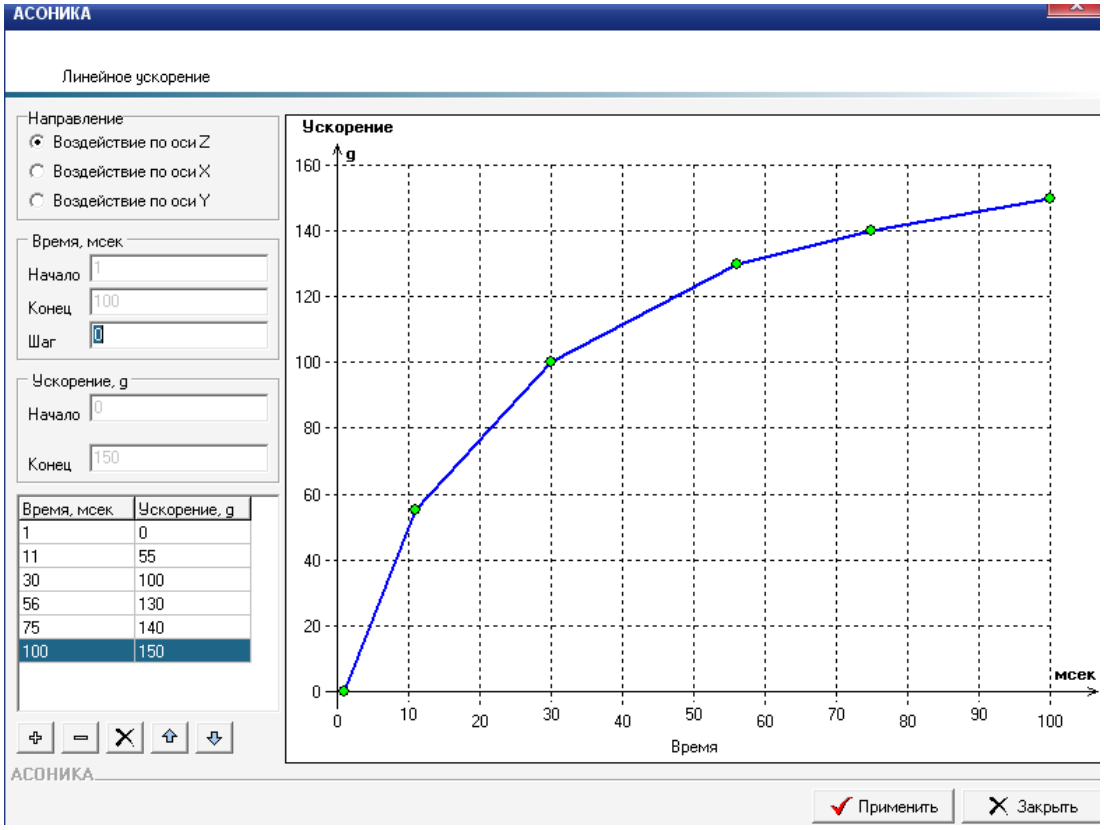


Рис. 6.18. Внешнее механическое воздействие – линейное ускорение

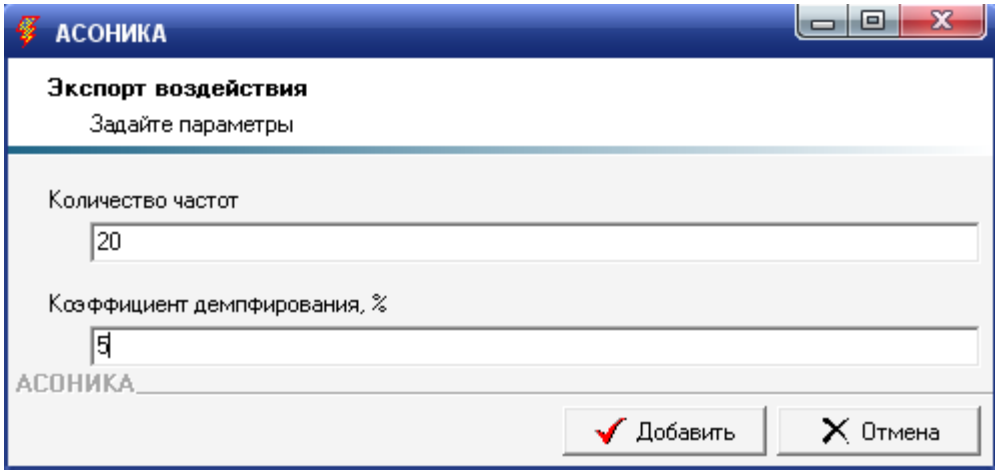


Рис. 6.19. Задание собственных частот и коэффициента демпфирования

Модель блока РЭС. Подсистема АСОНИКА-М позволяет моделировать только типовые конструкции, созданные в собственном интерфейсе. При этом вводится ряд допущений. Допущения, безусловно, снижают точность, однако упрощают моделирование. Для проведения оценки на ранних этапах проектирования этого вполне достаточно. Модель блока в подсистеме АСОНИКА-М приведена на рис. 6.20.

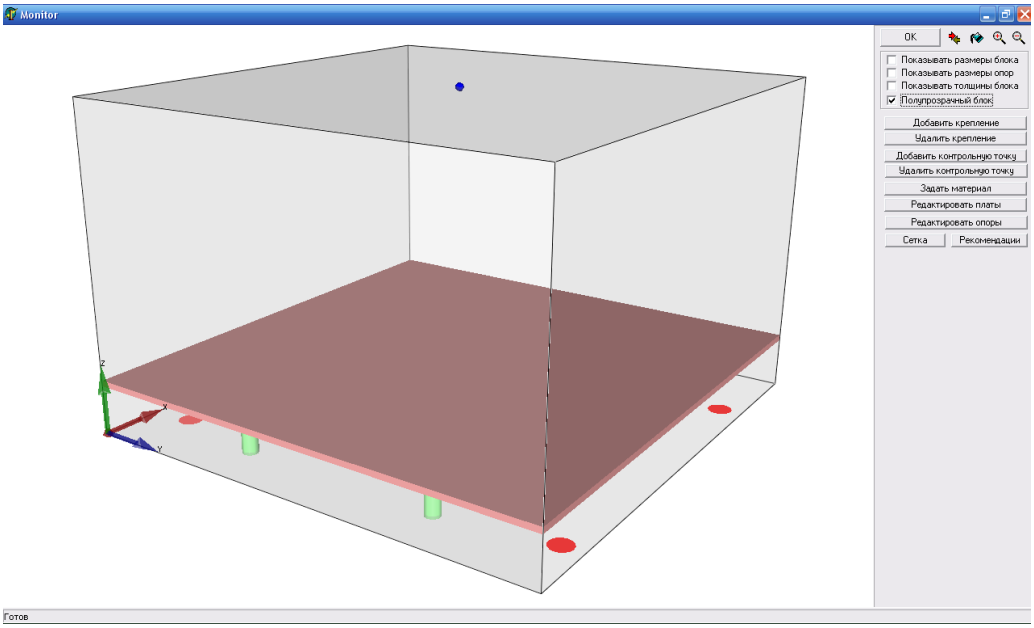


Рис. 6.20. Модель блока датчиков горизонта в АСОНИКА-М

Для моделирования конструкций произвольной формы и более точного расчета использованаподсистема АСОНИКА-М2. 3D-модели, созданные в Solid Works и сохраненные в формате *.STEP читаются в подсистеме АСОНИКА-М2. 3D-модель блока, разработанная в Solid Works в соответствии с представленной конструкторской документацией, представлена на рис. 6.11.

3D-модель блока, созданная в системе SolidWorks, сохранена в формате *.STEP. Затем в подсистеме АСОНИКА-М2 данная модель была конвертирована. Модель блока, импортированная в подсистему АСОНИКА-М2 и автоматически «разбитая» на конечные элементы, представлена на рис. 6.21.

Задание материала корпуса (Д16) и платы печатного узла (СФ-1-35) блока приведено на рис. 6.22. Задание крепления блока показано на рис. 6.23.

Результаты моделирования механических воздействий на блок.В результате моделирования механических процессов в блоке получены собственные формы (рис. 6.24) и собственные частоты (табл. 6.12) блока.

В результате моделирования механических процессов в блоке БДГ при воздействии заданной синусоидальной гармонической вибрации получены амплитудно-частотные характеристики в точке максимума по осям *X*, *Y*, *Z*, поле эквивалентных напряжений (рис. 6.25).

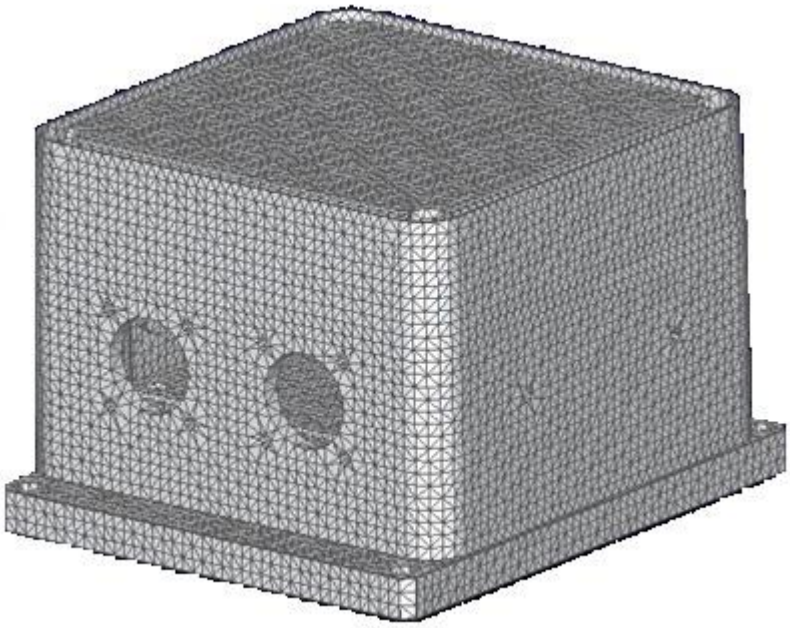
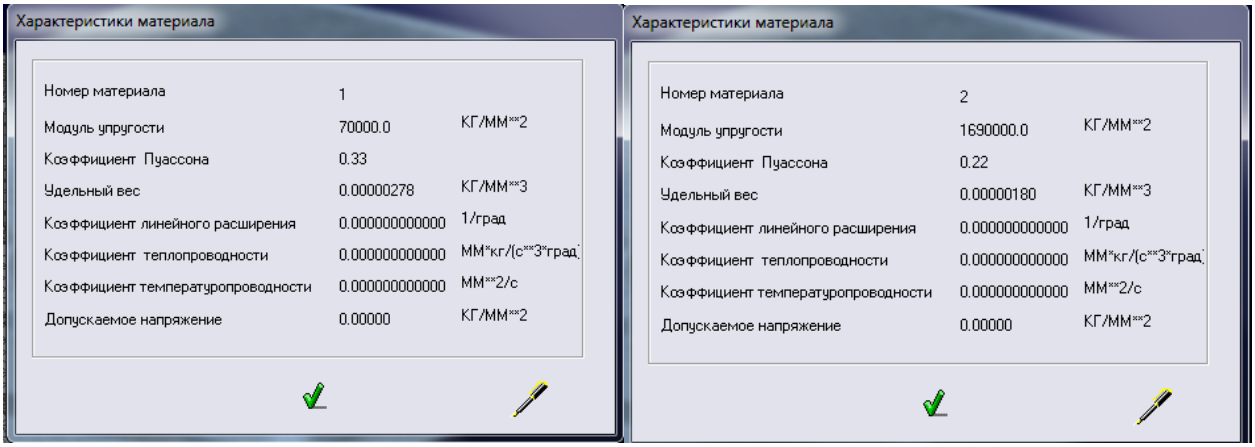


Рис. 6.21. Модель блока в АСОНИКА-М2



а *б*

Рис. 6.22. Задание материала корпуса Д16 (*а*) и печатной платы СФ-1-35 (*б*)

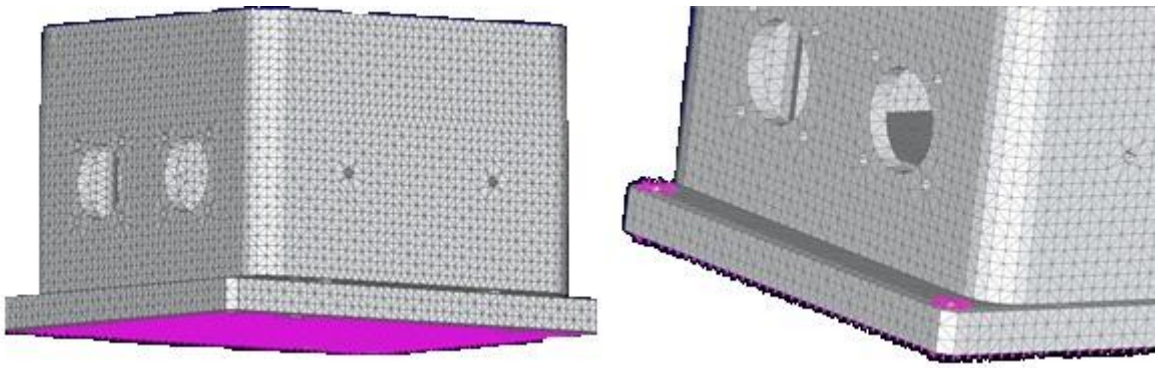


Рис. 6.23. Задание крепления блока

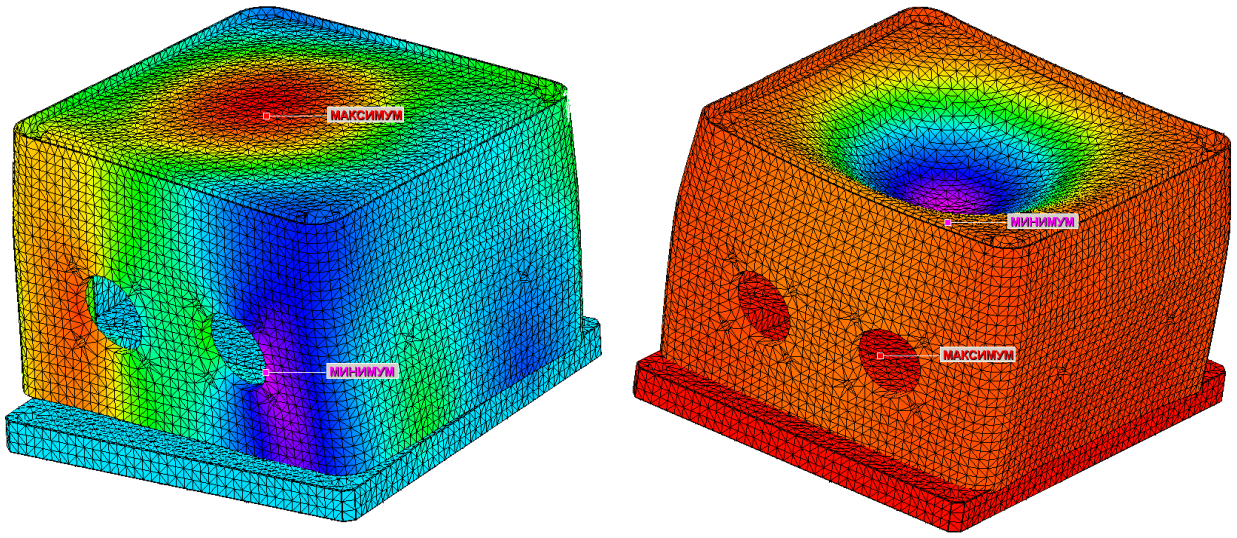


Рис. 6.24. Собственные формы блока РЭС

Таблица 6.12

Собственные частоты блока РЭС

№ п/п	Частота, Гц	№ п/п	Частота, Гц
1	5671.638	11	22121.9806
2	8523.5897	12	22429.4414
3	8729.2172	13	24241.1599
4	9848.2770	14	25043.0760
5	14413.9094	15	25944.7968
6	15142.8777	16	26295.4961
7	15480.2096	17	30457.1535
8	15626.4317	18	30707.1147
9	18404.7608	19	31465.4797
10	21998.2945	20	34554.9293

Максимальные значения коэффициентов передачи по ускорению равны 11,9 (по оси *X*), 6,7 (по оси *Y*), 13,6 (по оси *Z*). Абсолютные значения ускорений соответственно равны 23,8g (11,9 × 2g), 13,4g (6,7 × 2g), 27,2g (13,6 × 2g). Таким образом, по оси *Z* имеем максимальное ускорение. График АЧХ по оси *Z* приведен на рис. 6.26. Значение максимального напряжения составляет 71,3 кПа (рис. 6.25), что значительно меньше допустимого значения напряжения 420 МПа.

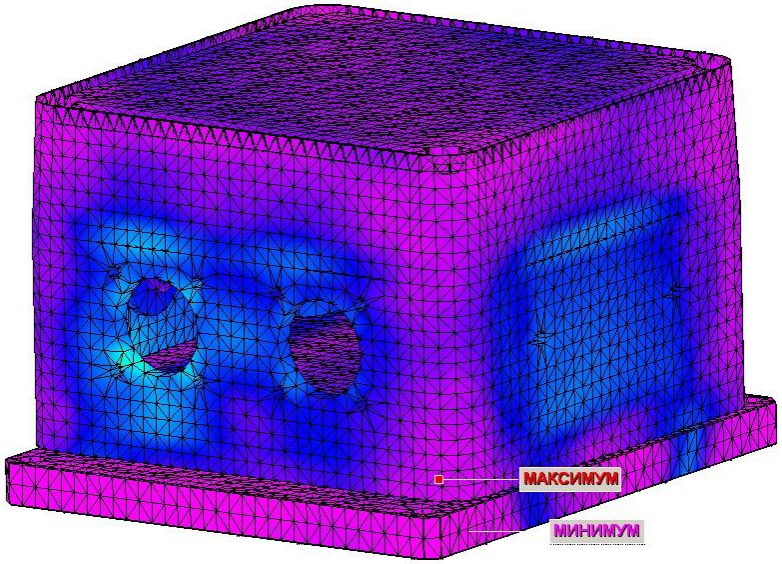


Рис. 6.25. Поле эквивалентных напряжений при гармонической вибрации

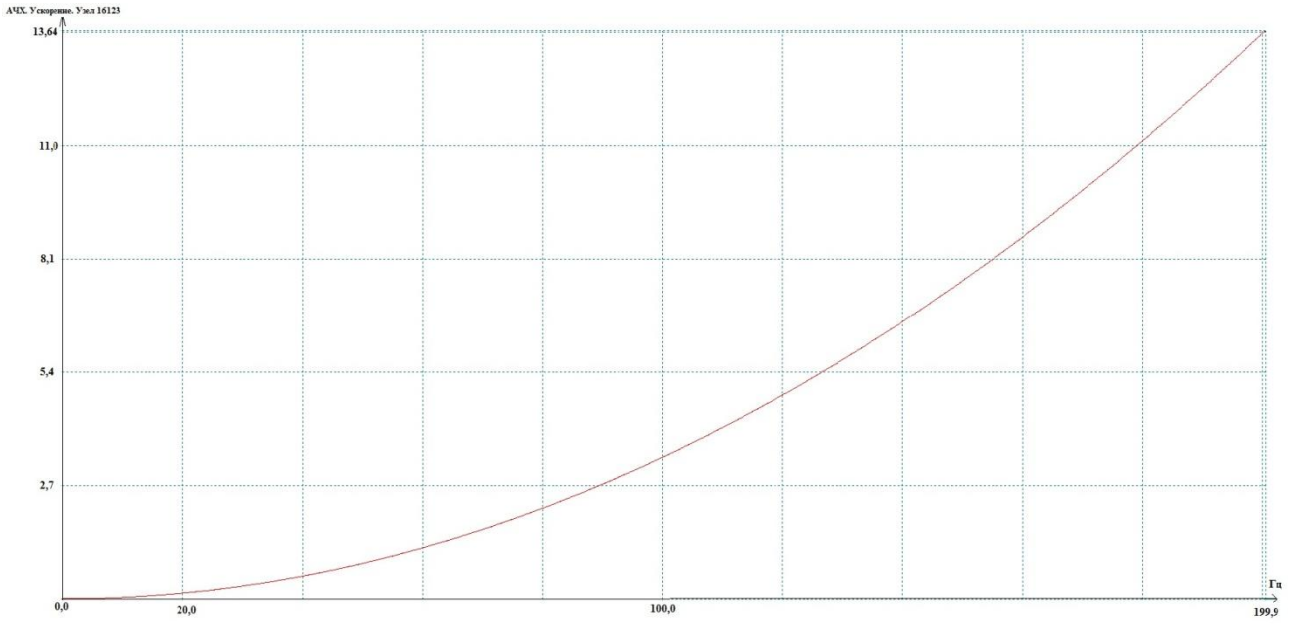
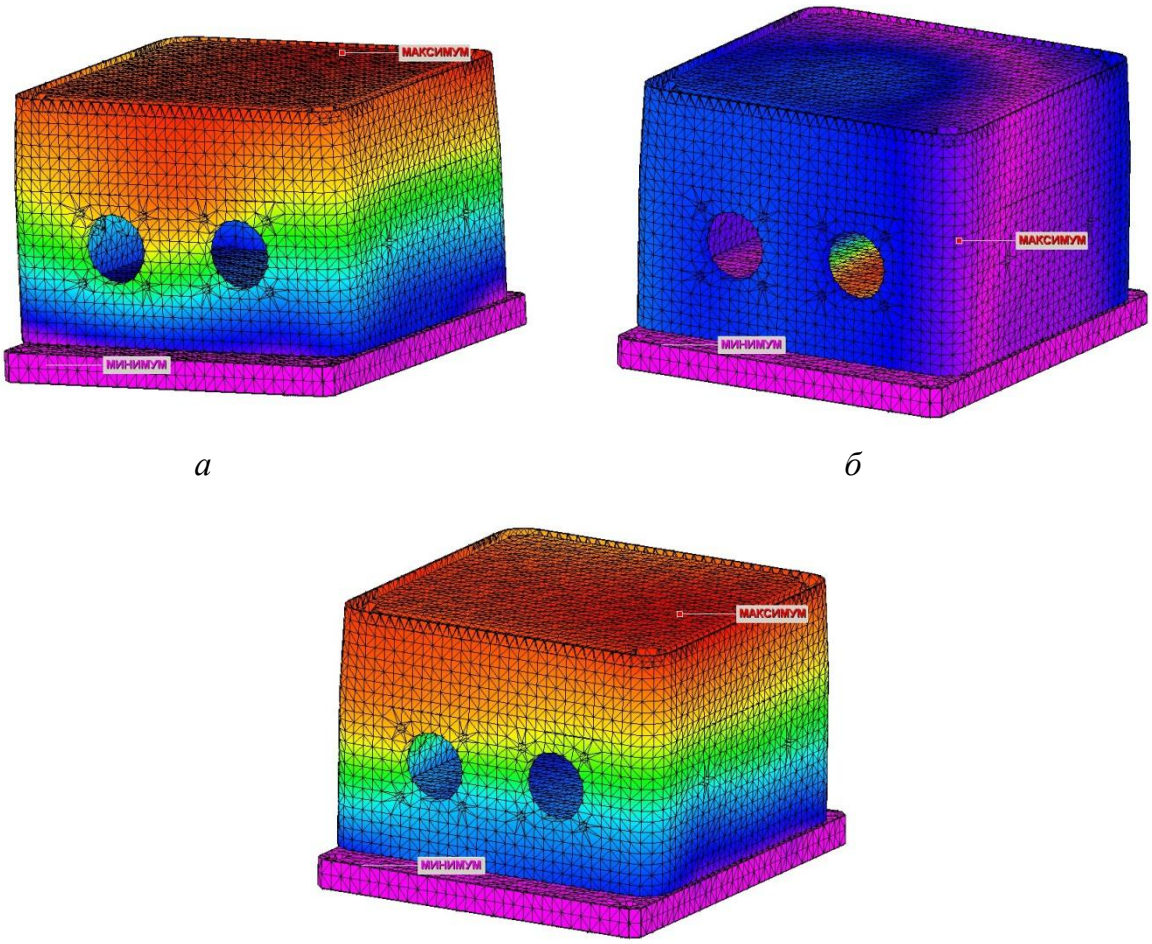


Рис. 6.26. АЧХ в точке максимума блока по оси *Z* при гармонической вибрации

В результате моделирования механических процессов в блоке при воздействии заданной случайной вибрации получены поля среднеквадратических ускорений по осям *X*, *Y*, *Z* (рис. 6.27) и поле напряжений (рис. 6.28). Значения максимальных ускорений составляют: по оси *X*: 2,82E+003/9 800 = 0,29g; по оси *Y*: 8,28E+003/9 800 = 0,84g; по оси *Z*: 3,17E+003/9 800 = 0,32g.Значение максимального напряжения 392 кПа значительно меньше допустимого значения напряжения 420 МПа.



а *б*

в

Рис. 6.27. Поле среднеквадратических ускорений при случайной вибрации: *а* – по оси *X*; *б* – по оси *Y*; *в*– по оси *Z*

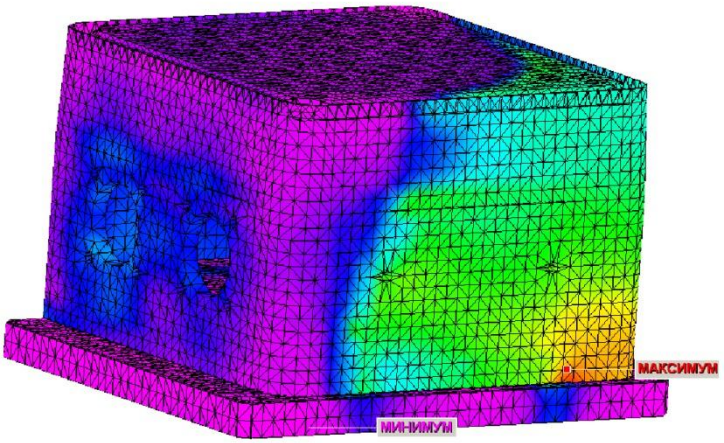
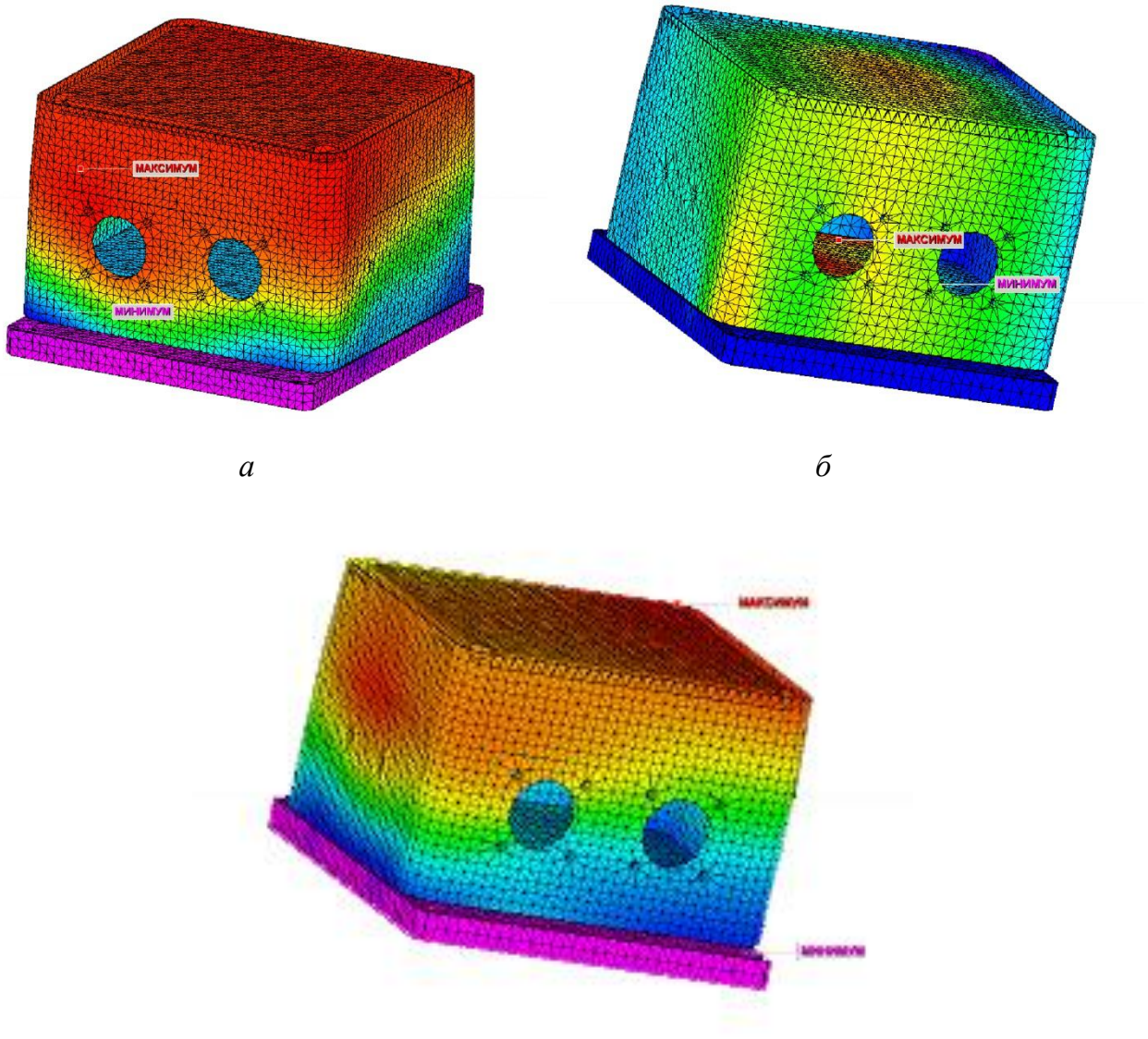


Рис. 6.28. Поле среднеквадратических напряжений при случайной вибрации

В результате моделирования механических процессов в блоке при воздействии заданного одиночного удара получены графики зависимости амплитуды ударного ускорения от времени в точке максимума блока по осям *X*, *Y*, *Z*, поля ударных ускорений по осям *X*, *Y*, *Z* (рис. 6.29). График зависимости ускорения от времени по оси *Y* приведен на рис. 6.30.Значения максимальных ускорений составляют:по оси *X*: 1,69E+005/9 800 = 17,24g;по оси Y: 4,18E+005/9 800 = 42,65g;по оси *Z*: 2,144E+005/9 800 = 21 87g.



а *б*

в

Рис. 6.29. Поле ударных ускорений при одиночном ударе:
а – по оси *X*; *б* – по оси *Y*; *в* – по оси *Z*

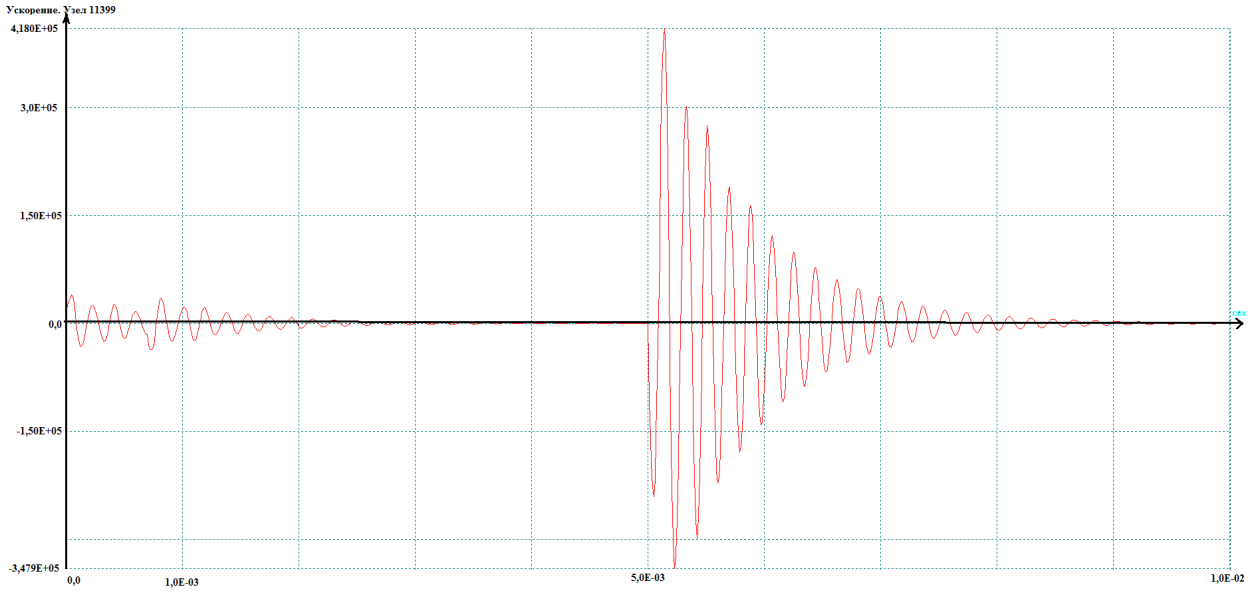


Рис. 6.30. Зависимость ударного ускорения от времени
в точке максимума блока по оси *Y* при одиночном ударе

В результате моделирования механических процессов в блоке при воздействии заданного многократного удара получены графики зависимости ударного ускорения от времени в точке максимума блока по осям *X*, *Y*, *Z*. Значения максимальных ускорений составляют:

– по оси *X*: 1 136/9 800 = 0,11g;

– по оси *Y*: 730/9 800 = 0,07g;

– по оси *Z*: 1 295/9 800 = 0,13g.

График зависимости ускорения от времени по оси *Z* приведен на рис. 6.31.

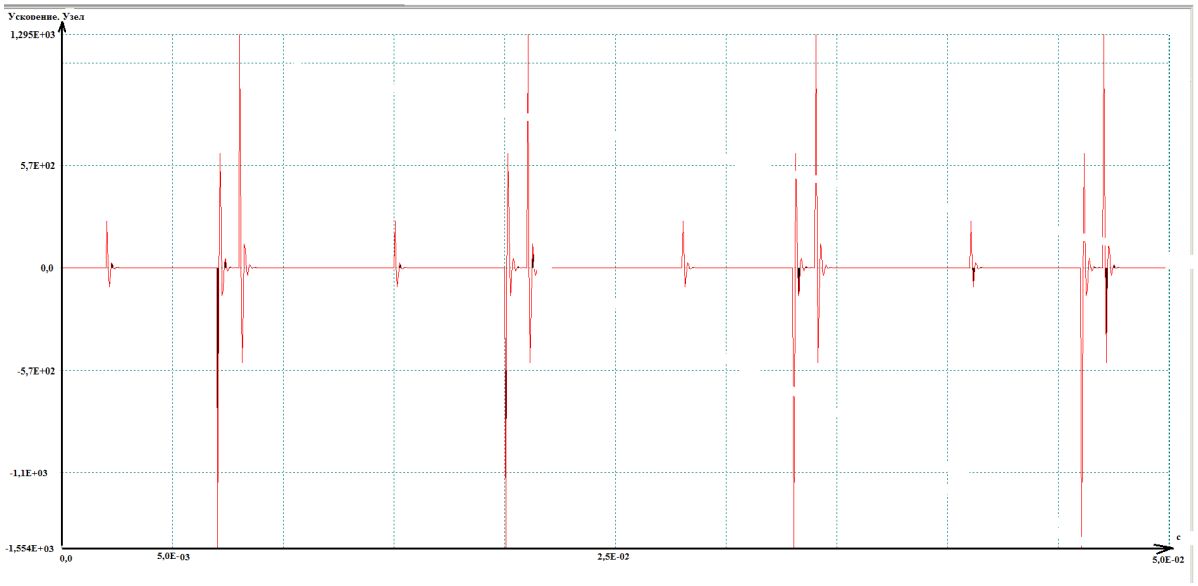


Рис. 6.31. Зависимость ударного ускорения от времени
в точке максимума блока по оси *Z* при многократном ударе

В результате моделирования механических процессов в блоке при воздействии заданного линейного ускорения получены графики зависимости линейного ускорения от времени в точке максимума блока по осям *X*, *Y*, *Z*, поля линейных ускорений по осям *X*, *Y*, *Z* (рис. 6.33).Значения максимальных ускорений составляют:

– по оси *X*: 1 136/9 800 = 0,11g;

– по оси *Y*: 730/9 800 = 0,07g;

– по оси *Z*: 1 295/9 800 = 0,13g.

График зависимости ускорения от времени по оси *Z* приведен на рис. 6.32.

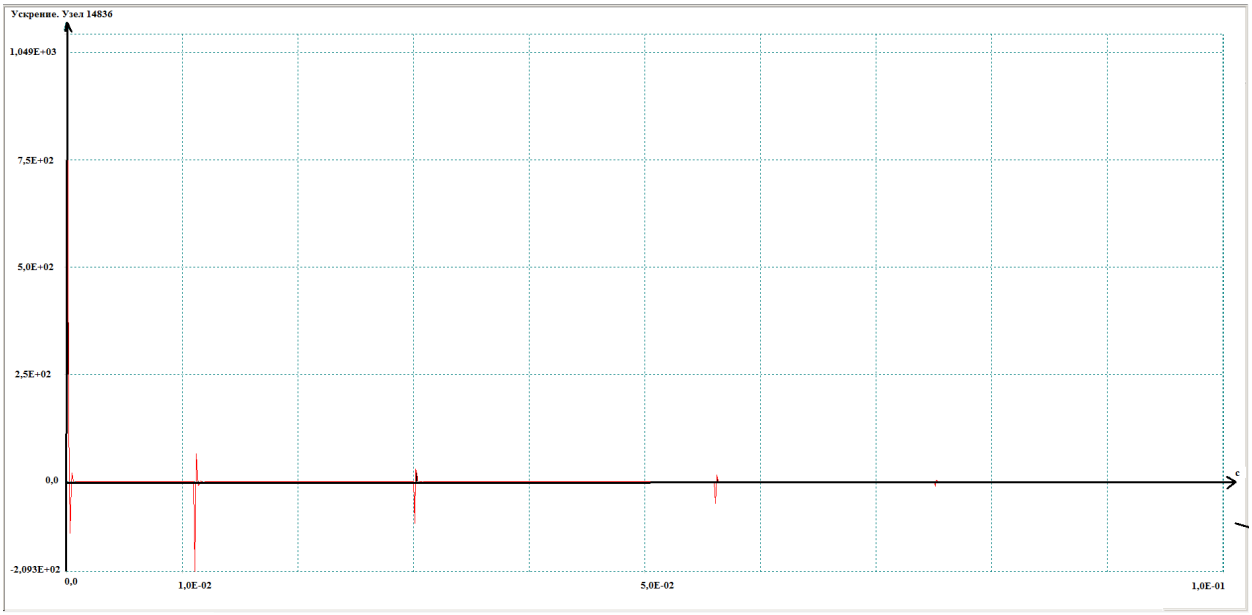


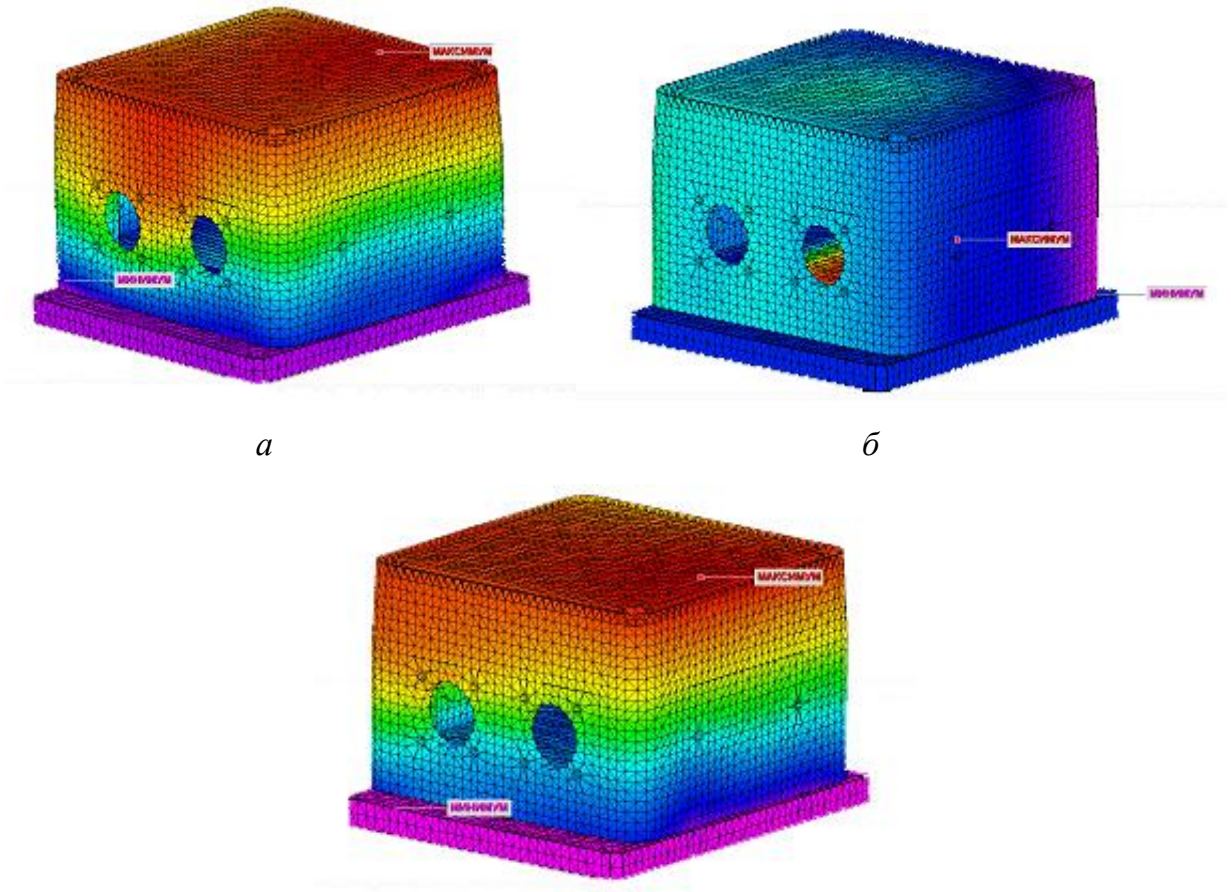
Рис. 6.32. Зависимость линейного ускорения от времени по оси *Z*

Выводы.Расчет механических режимов блока, проведенный с помощью подсистемы АСОНИКА-М2, выявил, что:

– резонансы при гармонической вибрации отсутствуют;

– механические напряжения при всех механических воздействиях не превышают допустимые значения.

Таим образом, конструкция достаточно жесткая. Можно считать, что в места крепления платы воздействия передаются один к одному. Поэтому при расчетах механических процессов печатного узла в АСОНИКА-ТМ можно использовать параметры механических воздействий, которые были заданы для блока в целом.



а *б*

в

Рис. 6.33. Поле линейных ускорений:
а – по оси *X*; *б* – по оси *Y*;*в* – по оси*Z*

6.2.3. Анализ печатного узла на механические итепловые воздействия в АСОНИКА-ТМ

Исходные данные.Исходные данные для проведения расчетов механических и тепловых процессов в печатном узле блока в подсистеме АСОНИКА-ТМ:

– файлы системы PCAD (рис. 6.34);

– перечень элементов печатного узла;

– материал платы СФ-1-35 1,5 мм;

– ввиду того, что не были заданы мощности тепловыделений ЭРИ, данные значения были взяты для примера самостоятельно (табл. 6.1);

– параметры внешних механических воздействий (синусоидальная вибрация, случайная широкополосная вибрация, механический удар однократного действия, механический удар многократного действия, линейное ускорение, акустический шум) приведены в табл. 6.13 и на рис. 6.35–6.40;

Таблица 6.13

Параметры внешних механических и тепловых воздействий

Воздействующий фактор	Характеристика воздействующего фактора	Значение, заданное при моделировании
Механические воздействия		
Синусоидальная вибрация	Амплитуда ускорения, м/с^2(g)	2g
	Диапазон частот, Гц	1–200
Случайная широкополосная вибрация	Спектральная плотность виброускорения, g^2/Гц	0,05
	Диапазон частот, Гц	10–2000
Акустический шум	Диапазон частот, Гц	50–10 000
	Уровень звукового давления, дБ	130
Механический удар одиночного действия	Пиковое ударное ускорение, м/с^2(g)	100g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Механический удар многократного действия	Пиковое ударное ускорение, м/с^2(g)	10g
	Длительность действия ударного ускорения, мс	5
Линейное ускорение	Ускорение, м/с^2(g)	150g
	Длительность действия линейного ускорения, мс	100
Тепловое воздействие		
Атмосферное давление, мм рт. ст.		760
Повышенная рабочая температура среды, °С		+70,3
Рабочая температура среды, °С		+30,9
Пониженная рабочая температура среды, °С		–23,6

– в качестве параметров внешнего теплового воздействия использованы результаты моделирования тепловых процессов в узлах блока БДГ, проведенные в подсистеме АСОНИКА-Т, а именно температура воздуха внутри корпуса блока (см. табл. 6.10).

Параметры внешнего теплового воздействия:

– естественная конвекция в окружающую среду и излучение с плоской неразвитой поверхности на соседний КЭ. Температура окружающей среды +30,9 °С, давление 760 мм рт. ст.;

– естественная конвекция в окружающую среду и излучение с плоской неразвитой поверхности на соседний КЭ. Повышенная рабочая температура окружающей среды +70,3 °С, давление 760 мм рт. ст.;

– естественная конвекция в окружающую среду и излучение с плоской неразвитой поверхности на соседний КЭ. Пониженная рабочая температура окружающей среды –23,6 °С, давление 760 мм рт. ст.

Для расчета в подсистеме АСОНИКА-ТМ был использован выходной файл системы PCAD в формате *.PDIF, электрорадиоизделия в соответствии с перечнем элементов.

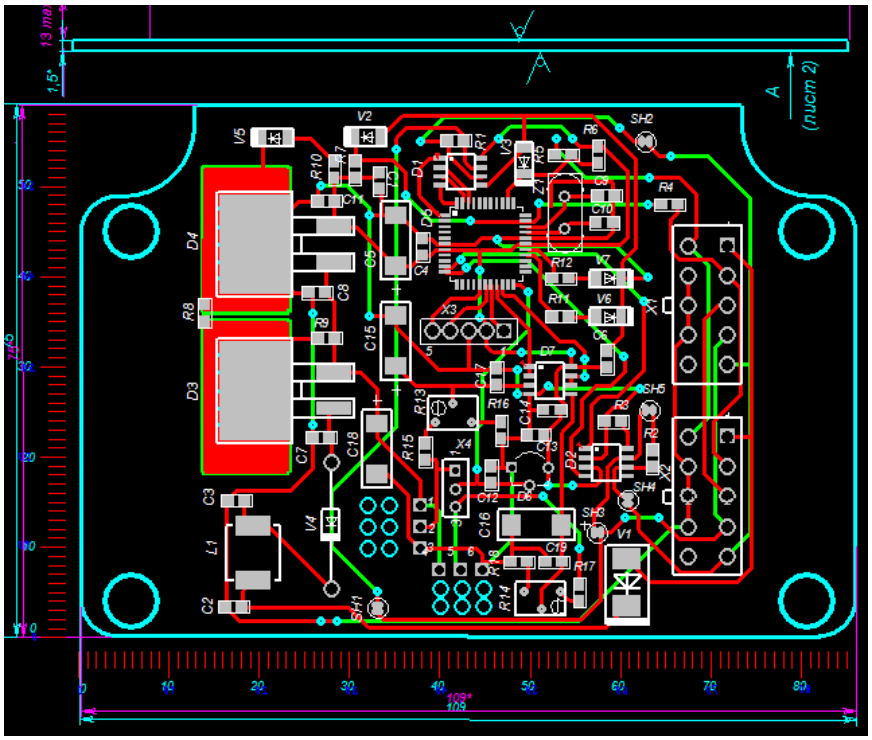


Рис. 6.34. Разводка печатного узла блока в системе PCAD

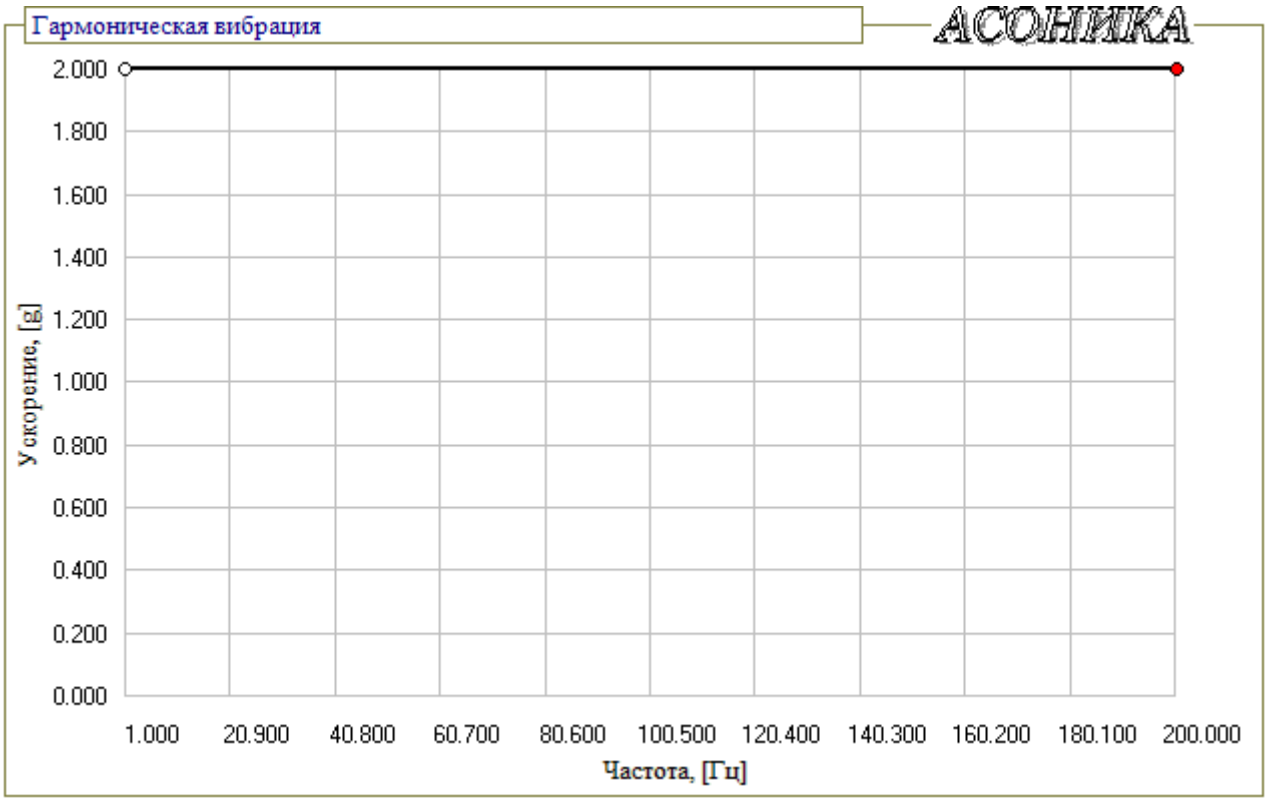


Рис. 6.35. Внешнее механическое воздействие – синусоидальная вибрация

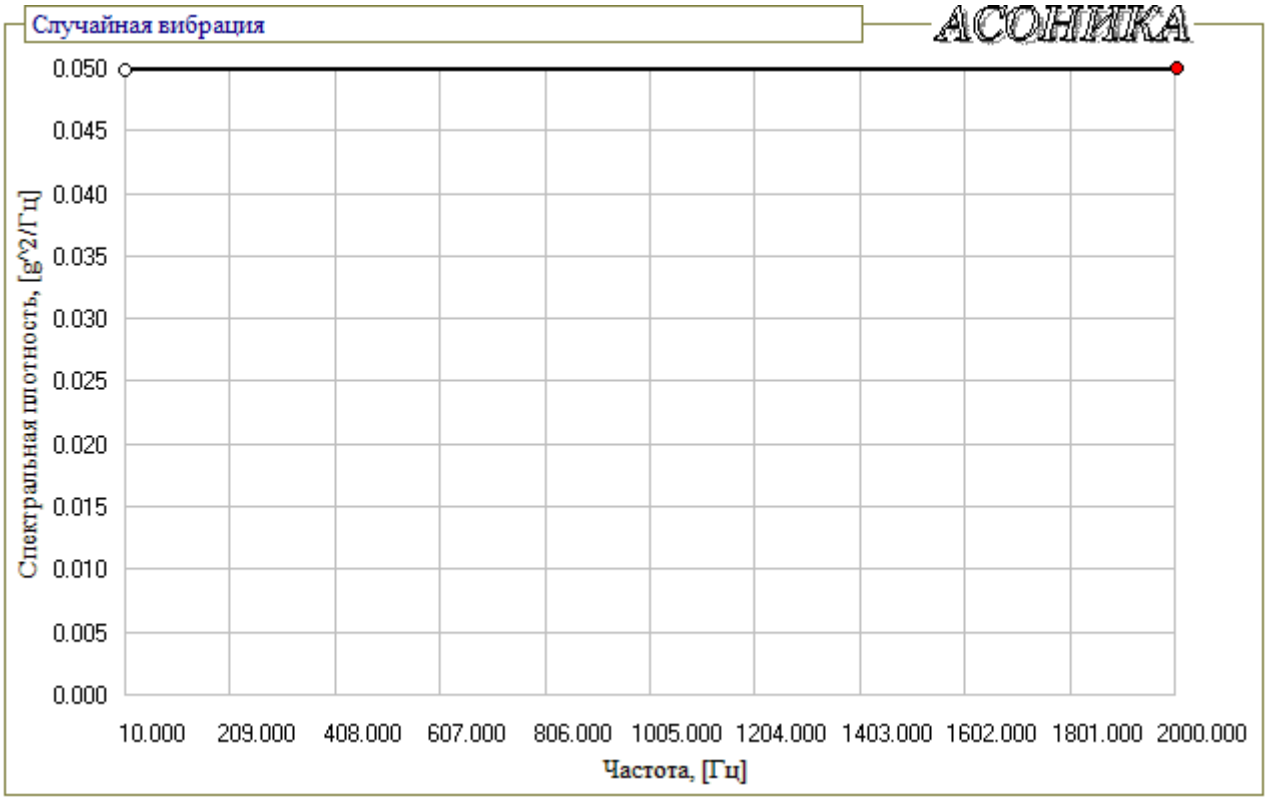


Рис. 6.36. Внешнее механическое воздействие – случайная вибрация

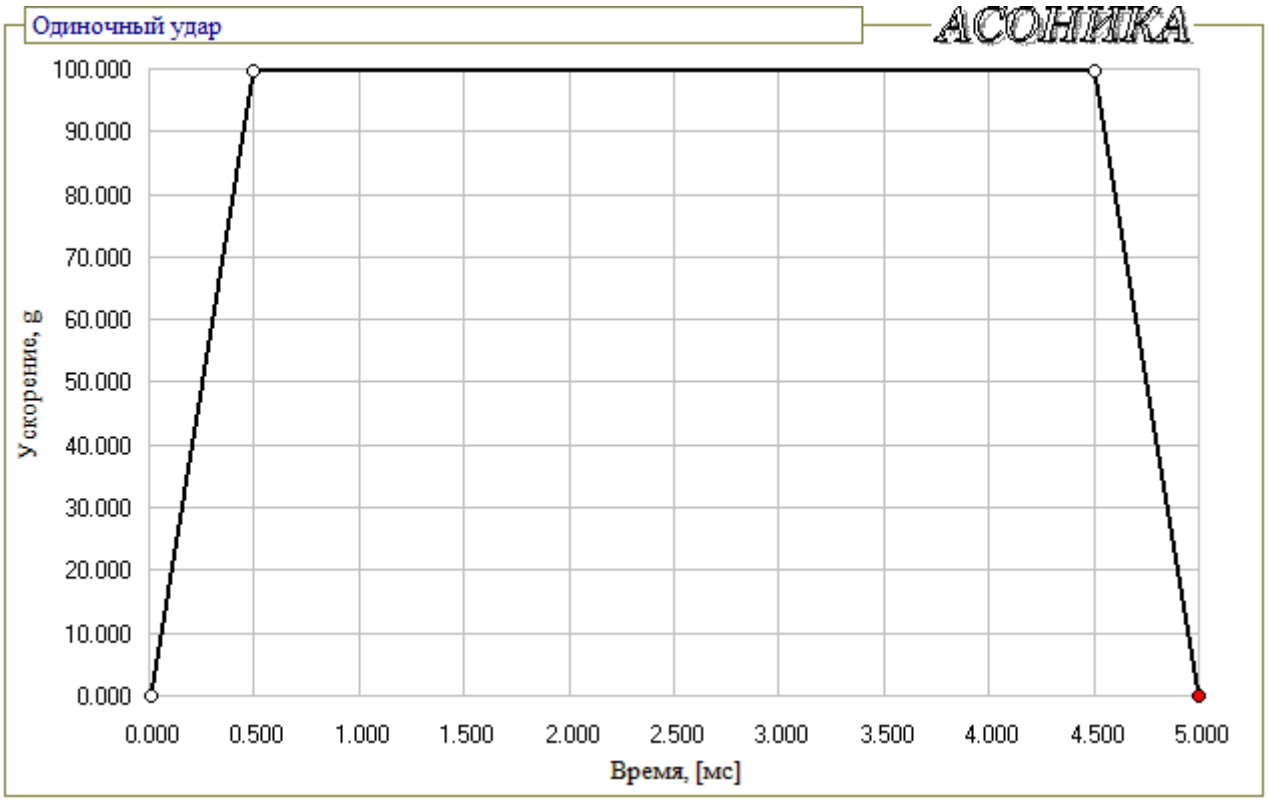


Рис. 6.37. Внешнее механическое воздействие – удар одиночного действия



Рис. 6.38. Внешнее механическое воздействие – удар многократного действия (количество импульсов 4, шаг между импульсами 7 мс)

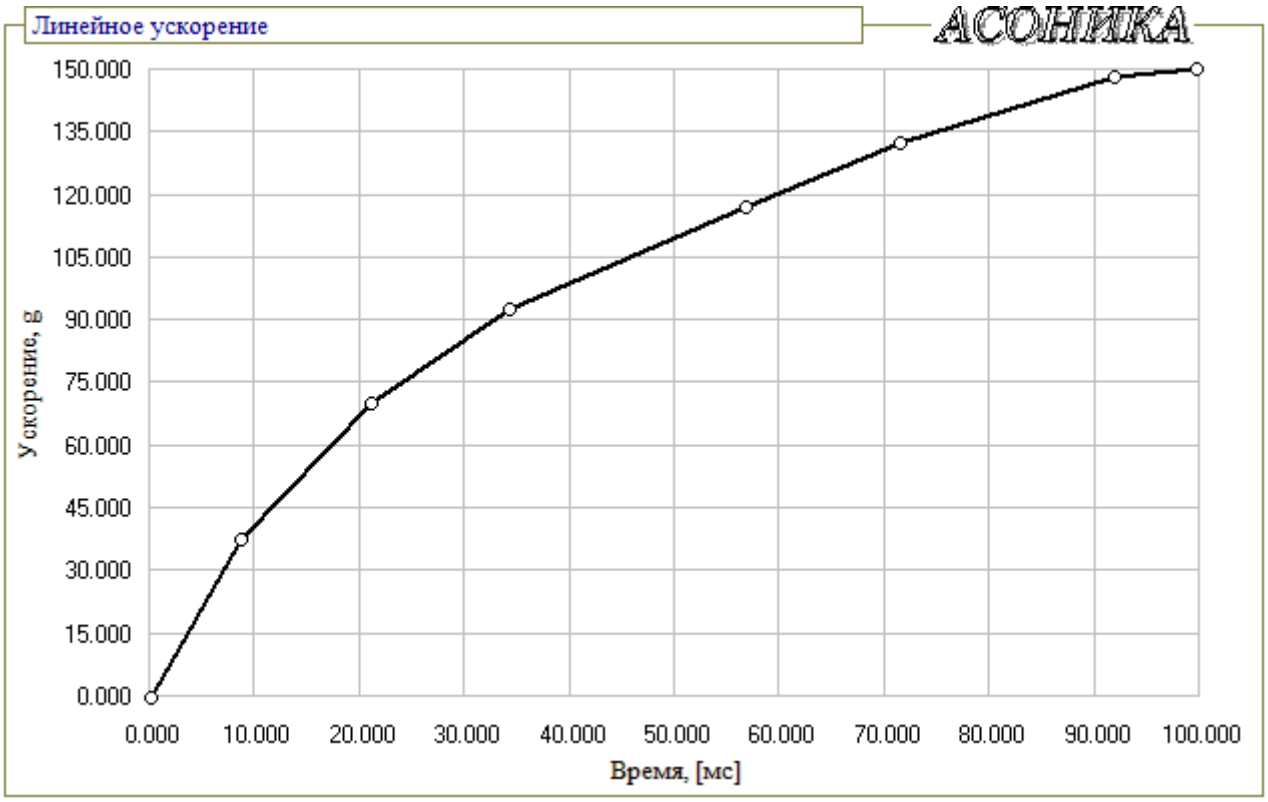


Рис. 6.39. Внешнее механическое воздействие – линейное ускорение

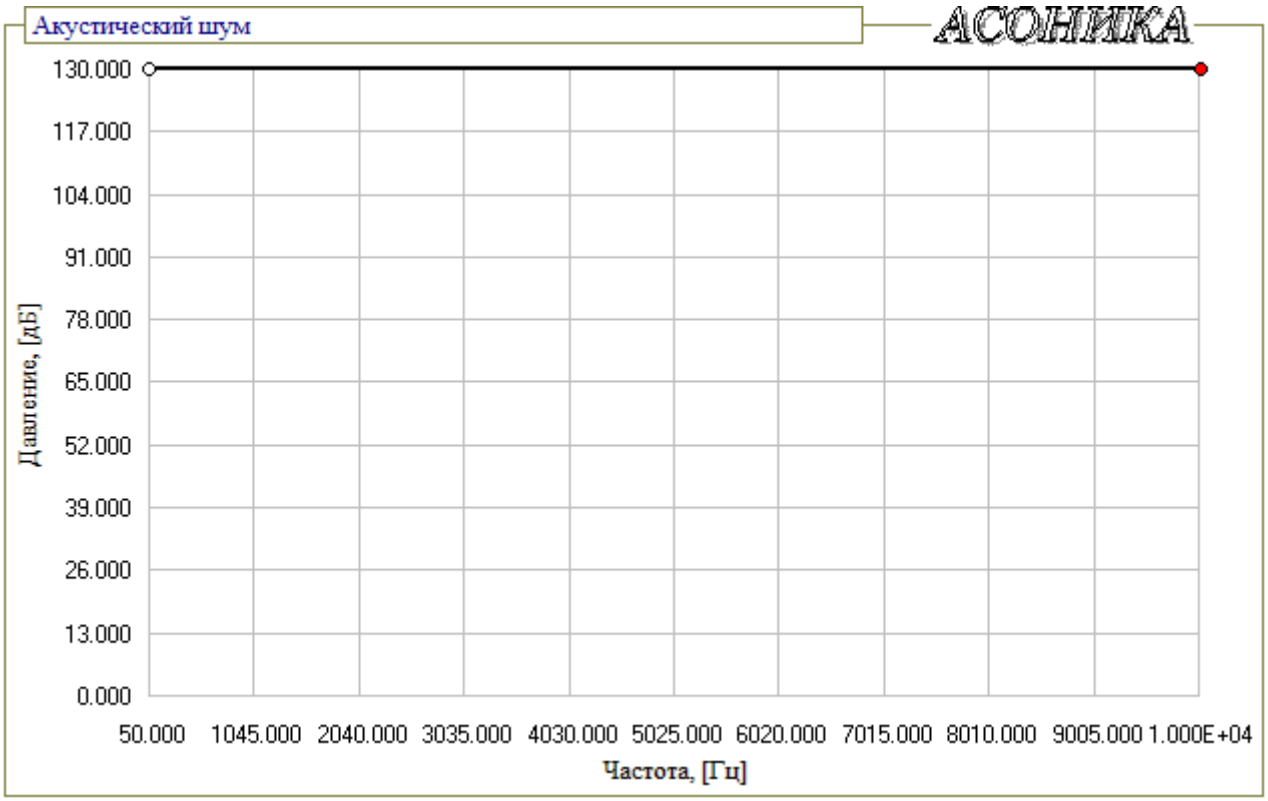


Рис. 6.40. Внешнее механическое воздействие – акустический шум

Модель печатного узла в подсистеме АСОНИКА-ТМ.В подсистему АСОНИКА-ТМ импортирован выходной файл системы PCAD. Для каждого ЭРИ заданы его геометрические, физико-механические и теплофизические параметры либо из базы данных АСОНИКА-БД, либо вручную.

Необходимо отметить, что элементная база печатного узла преимущественно импортная. Максимально допустимые значения ускорения гармонической вибрации, ускорения однократного удара, ускорения многократного удара, линейного ускорения в описаниях на импортные изделия не указываются, поэтому данные значения заданы по аналогии с отечественными:максимально допустимое ускорение гармонической вибрации – 40g, максимально допустимое ускорение однократного удара – 1000g,максимально допустимое ускорение многократного удара – 500g,максимально допустимое линейное ускорение – 150g.

Крепление платы осуществлено в четырех точках четырьмя круглыми креплениями диаметром 6,4 мм. В центре платы установлена контрольная точка (имитатор вибрационного датчика).

Модель печатного узла в подсистеме АСОНИКА-ТМ представлена на рис. 6.41 и6.42.

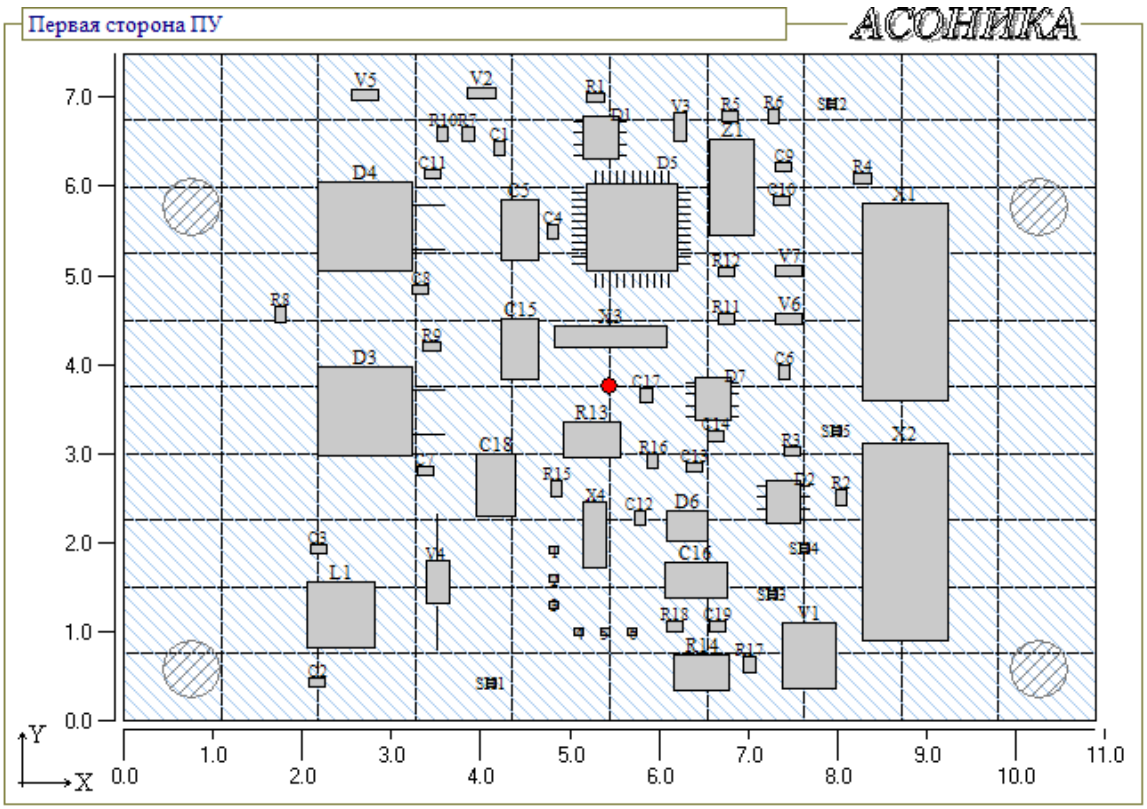


Рис. 6.41. Плоское изображение печатного узла

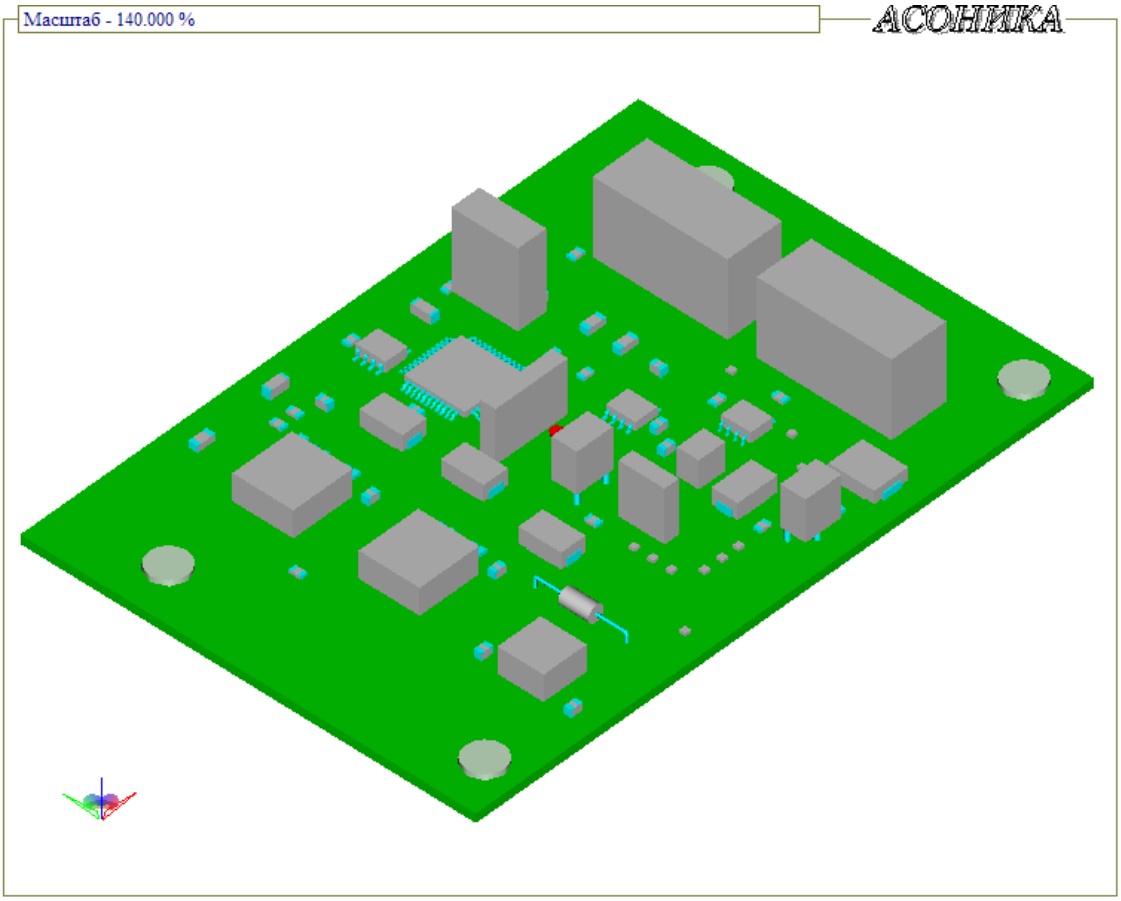


Рис. 6.42. Объемное изображение печатного узла

Результаты моделирования механических воздействий на печатный узел.В результате моделирования при воздействии заданной синусоидальной гармонической вибрации получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от частоты (рис. 6.43), поле ускорений на заданной частоте (рис. 6.44), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.14).

В результате моделирования при воздействии заданной случайной вибрации получены поле среднеквадратических ускорений (рис. 6.45), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.15).

В результате моделирования при воздействии заданного одиночного удара получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от времени (рис. 6.46), поле ускорений в заданный момент времени (рис. 6.48), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.16).

В результате моделирования при воздействии заданного многократного удара получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от времени (рис. 6.47), поле ускорений в задан-

ный момент времени (рис. 6.49), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.17).

В результате моделирования при воздействии заданного линейного ускорения получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от времени (рис. 6.50), поле ускорений в заданный момент времени (рис. 6.52), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.18).

В результате моделирования при воздействии заданного акустического шума получены график зависимости амплитуды ускорения в контрольной точке от частоты (рис. 6.51), поле ускорений на резонансной частоте (рис. 6.53), карта механических режимов ЭРИ (табл. 6.19).

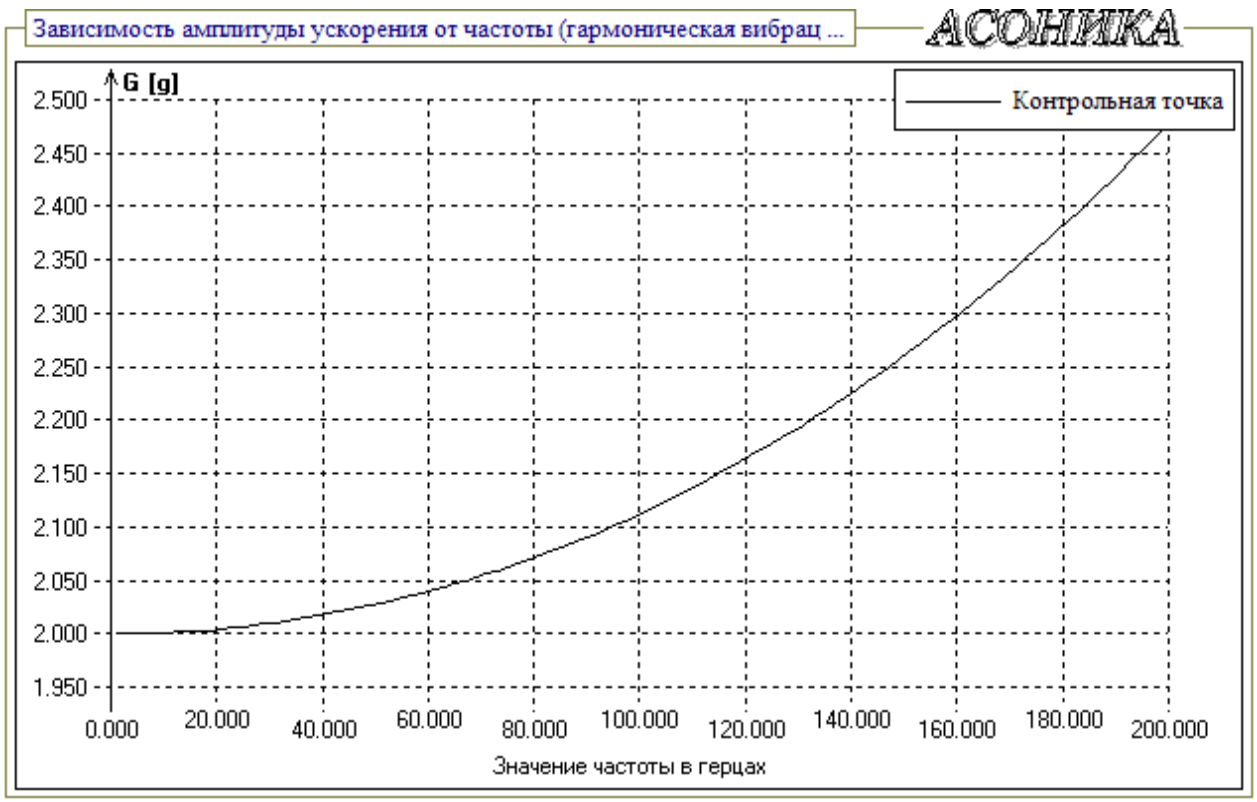
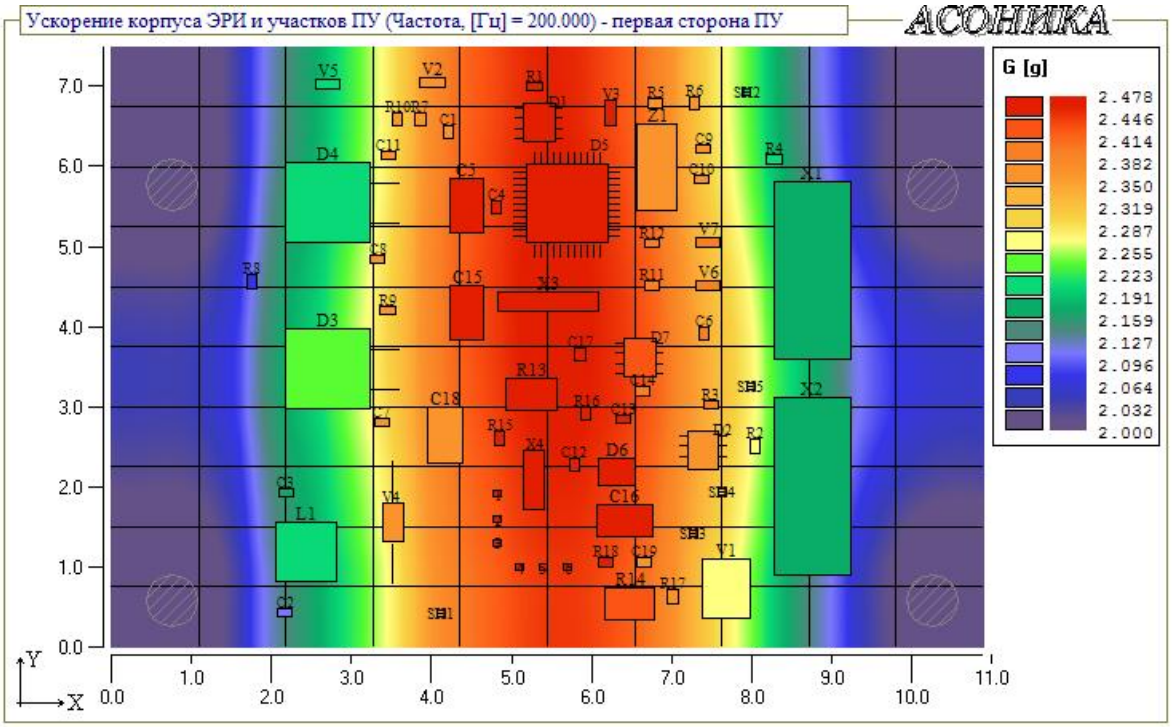
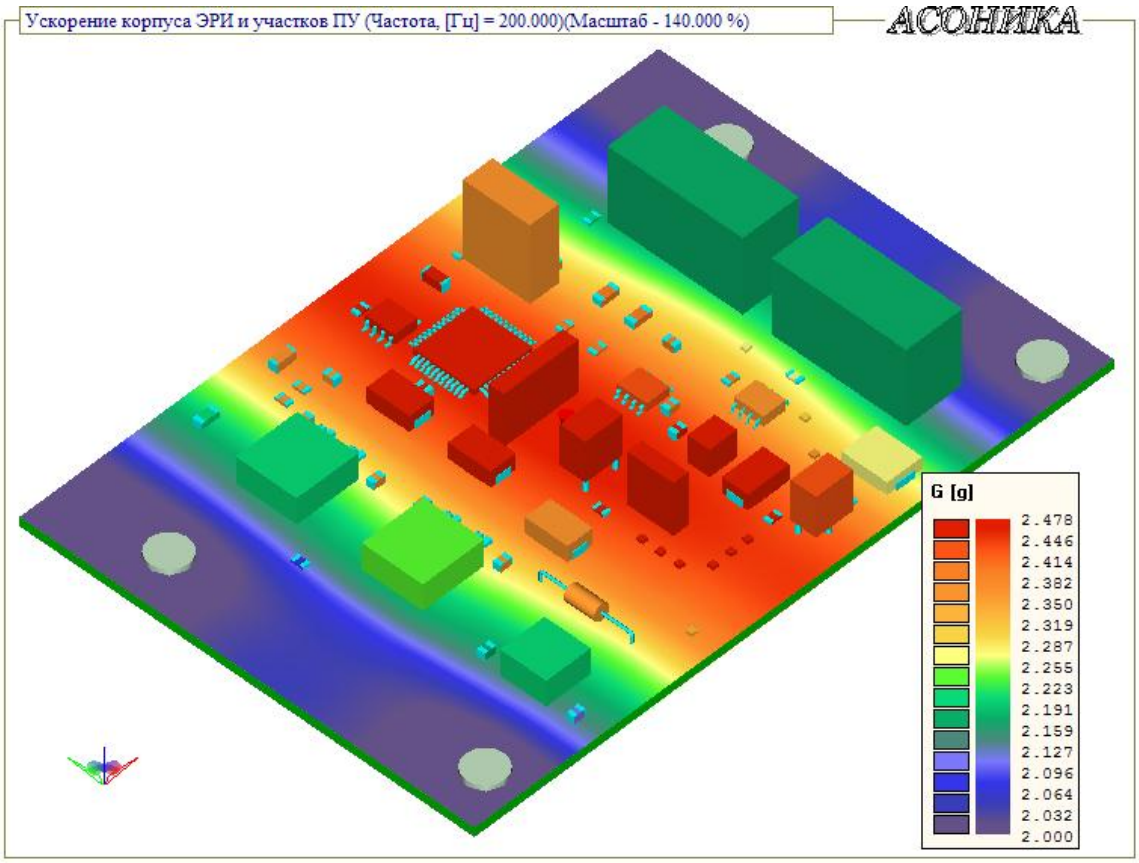


Рис. 6.43. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке от частоты при гармонической вибрации

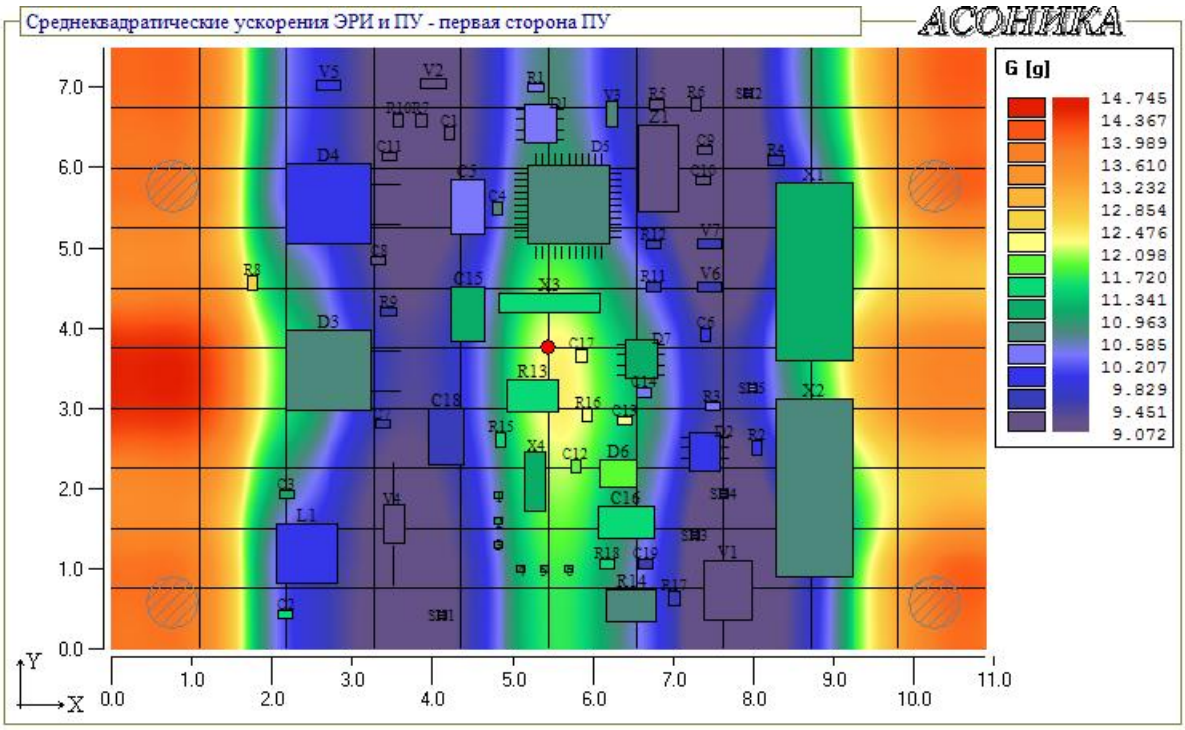


а

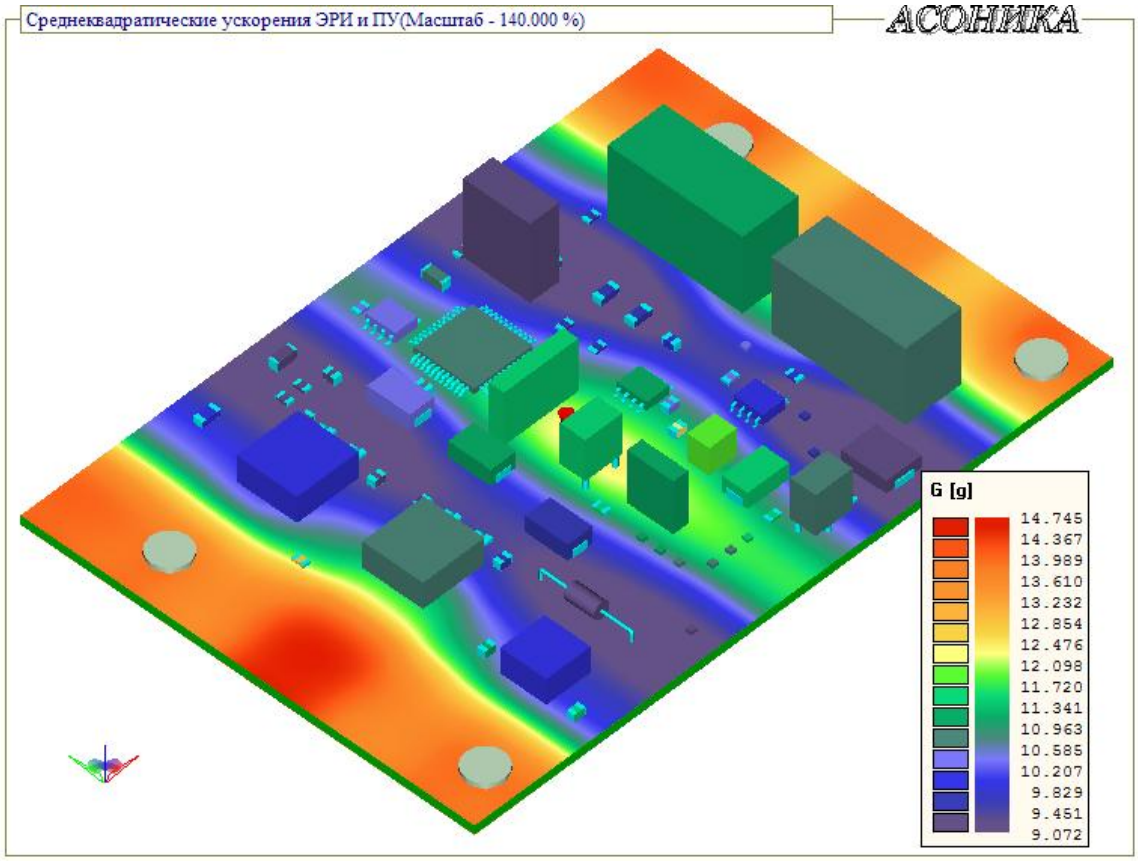


б

Рис. 6.44. Поле ускорений на частоте 200 Гц при гармонической вибрации:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение



а



б

Рис. 6.45. Поле среднеквадратических ускорений при случайной вибрации:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение

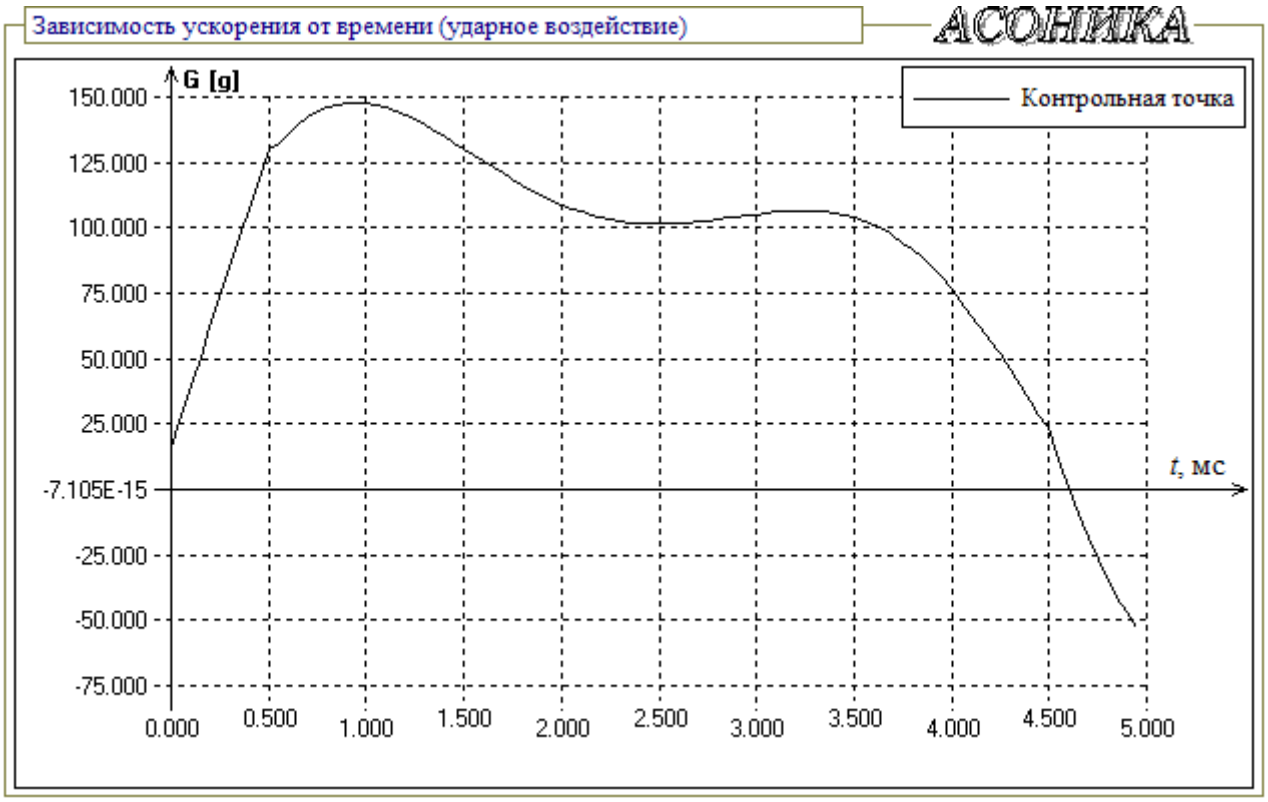


Рис. 6.46. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке от времени при одиночном ударе

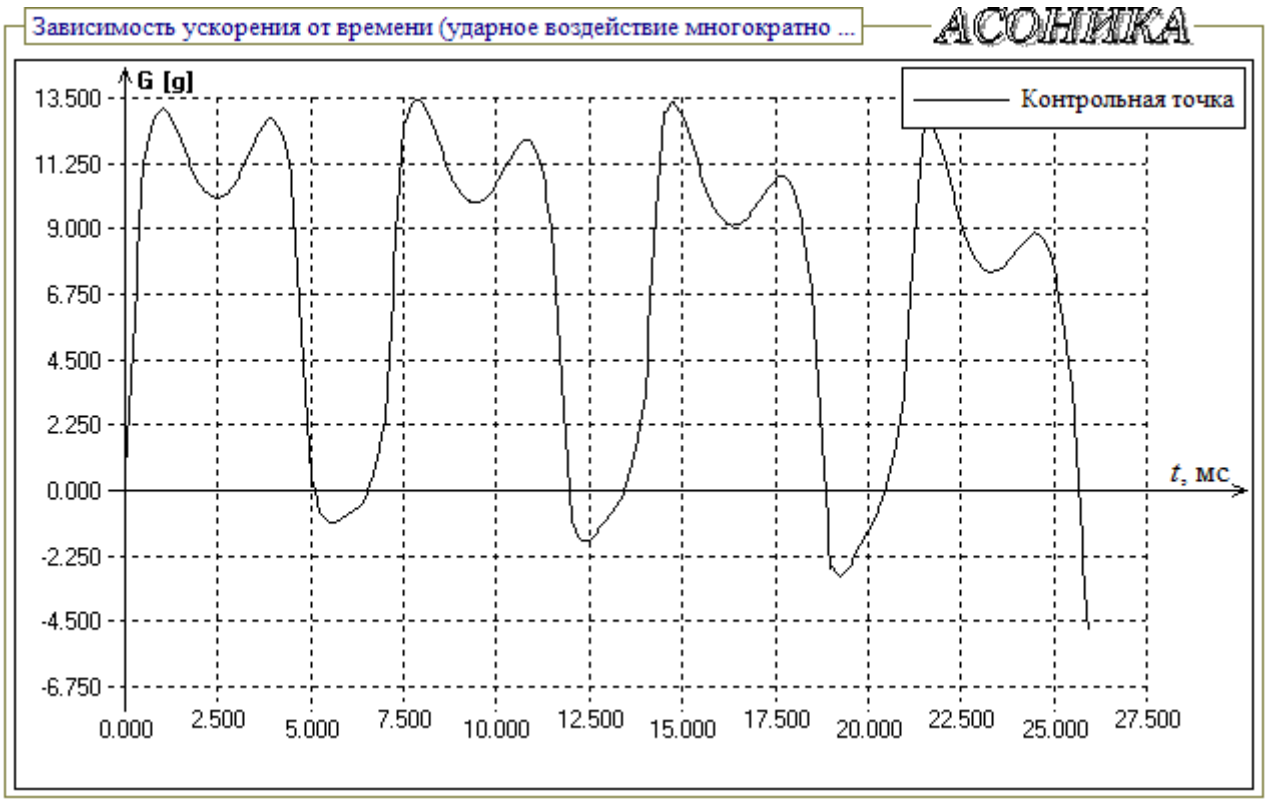
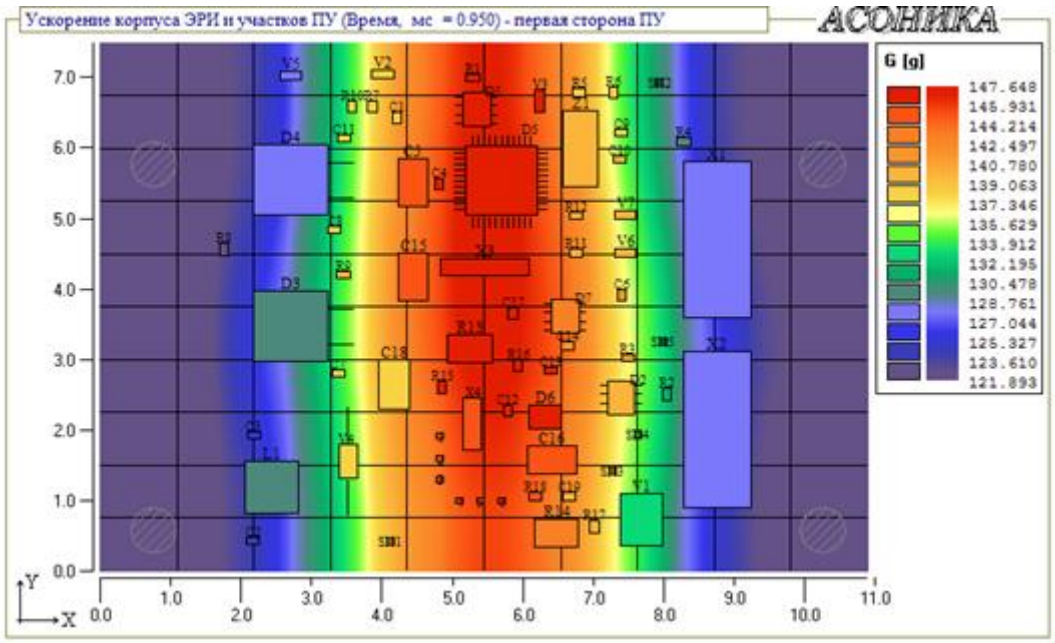
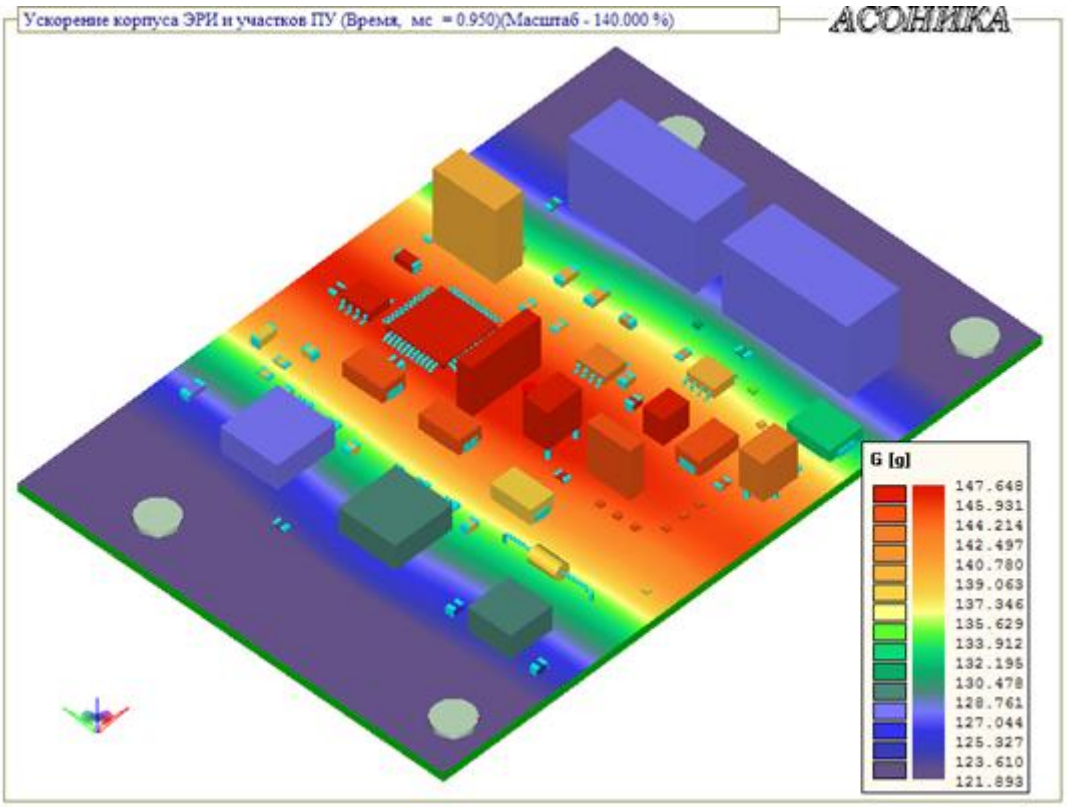


Рис. 6.47. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке от времени при многократном ударе

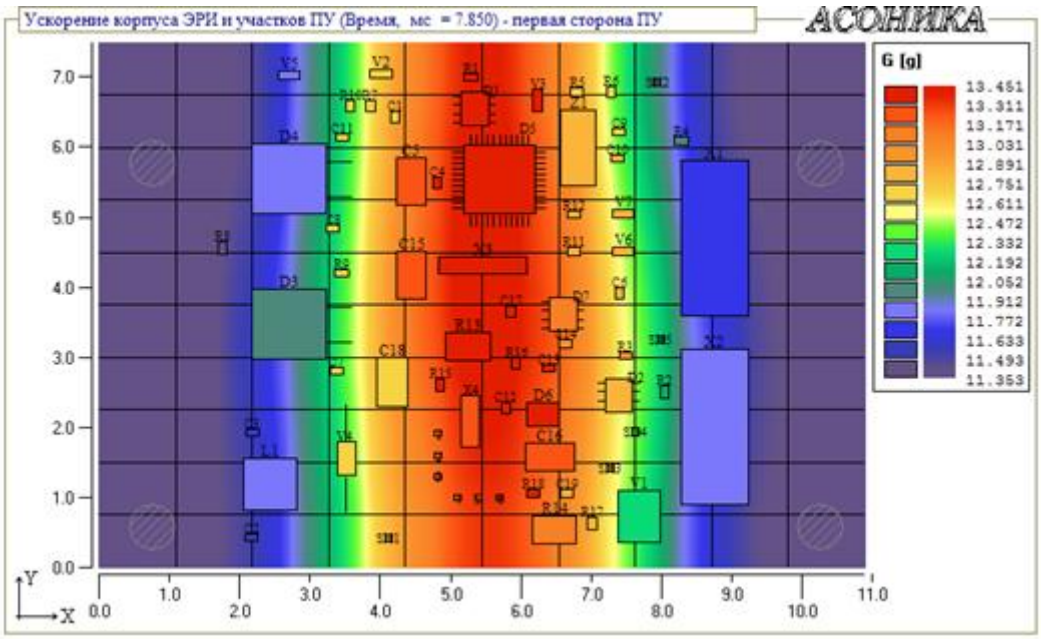


а

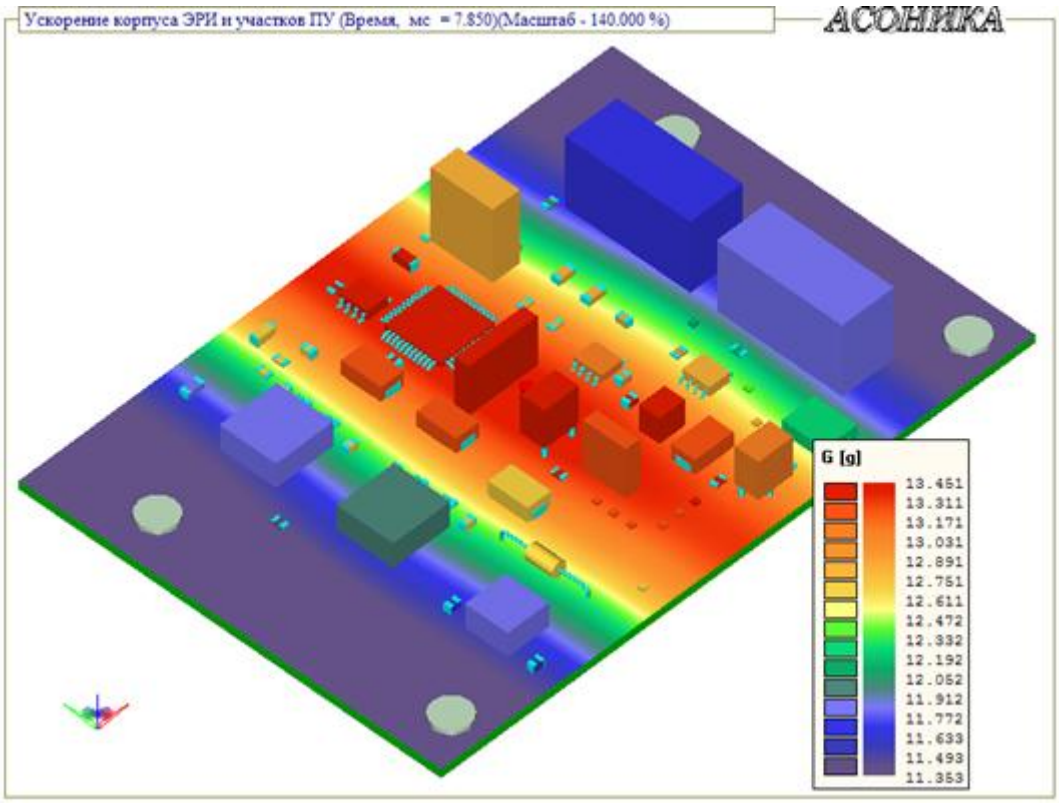


б

Рис. 6.48. Поле ускорений в заданный момент времени
при воздействии одиночного удара:
а – плоское изображение, *б*– объемное изображение



а



б

Рис. 6.49. Поле ускорений в заданный момент времени при воздействии многократного удара:
а – плоское изображение, *б*– объемное изображение

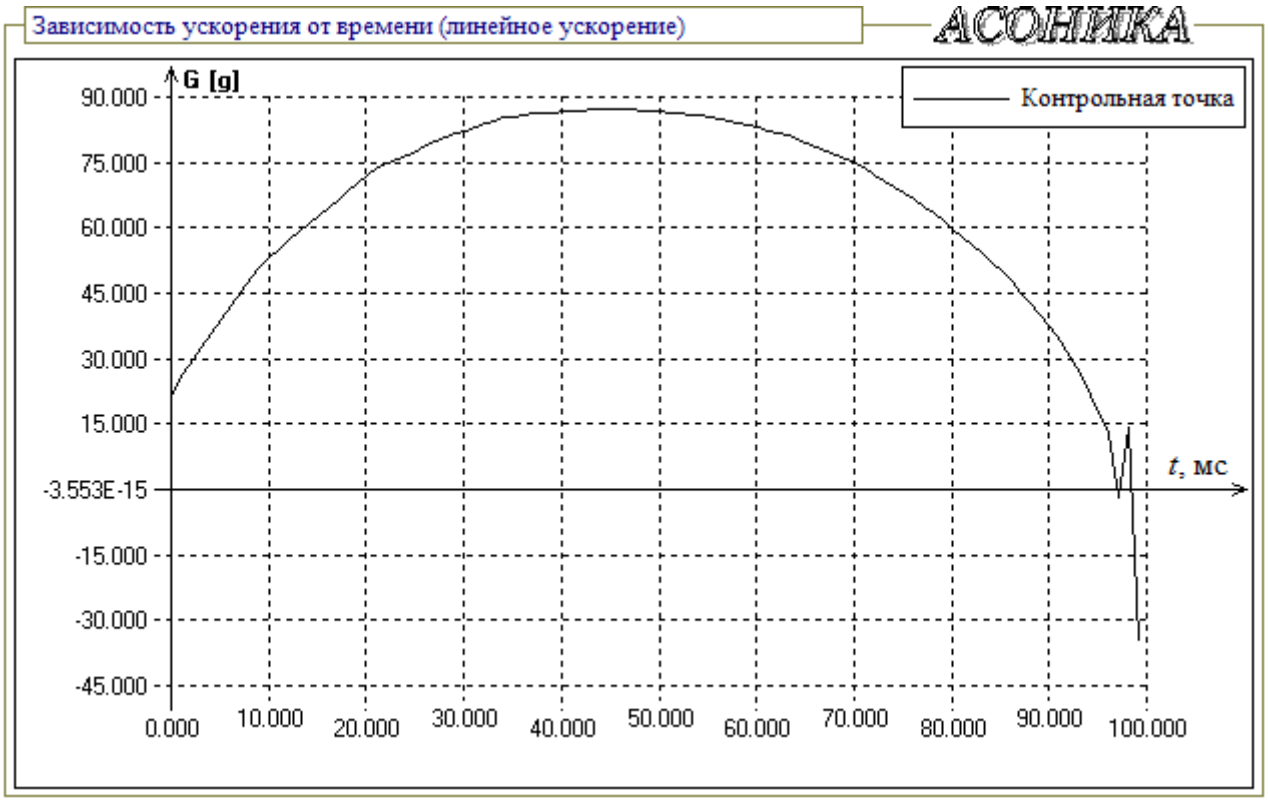


Рис. 6.50. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке от времени при линейном ускорении

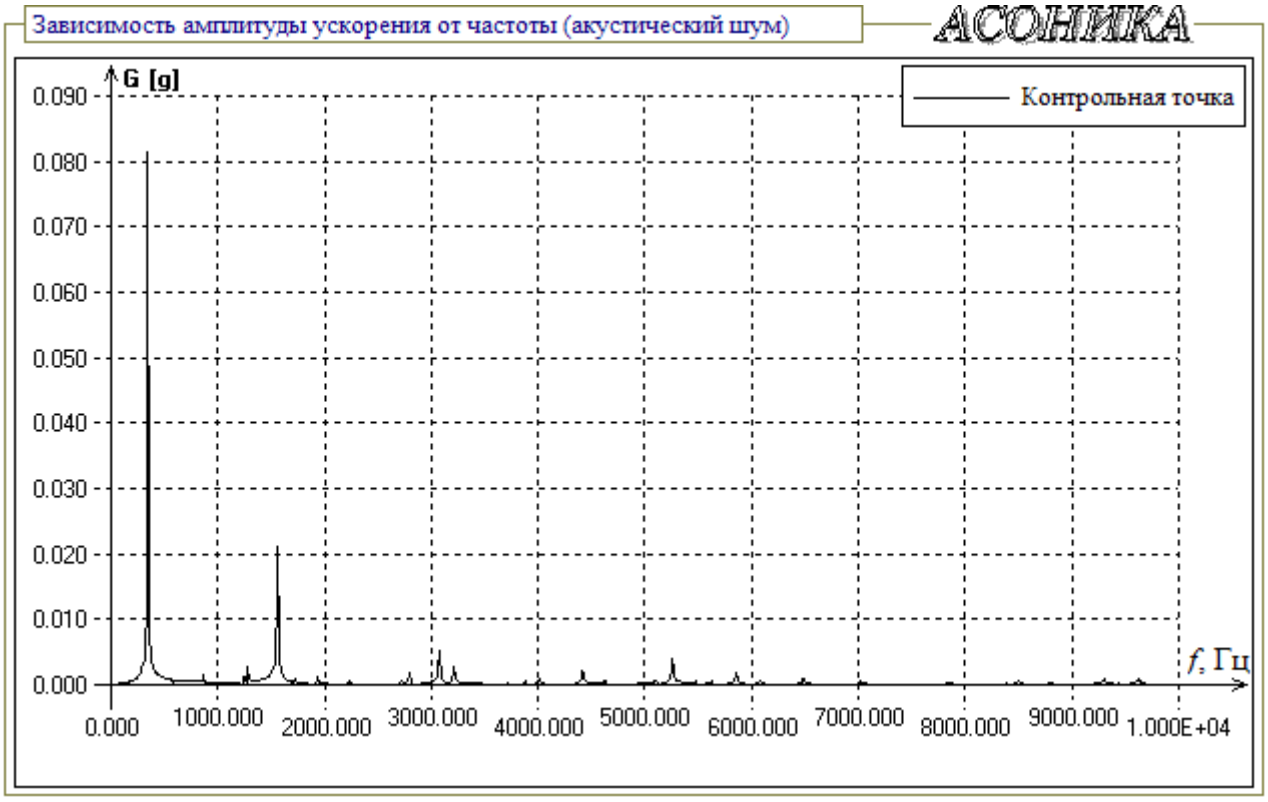
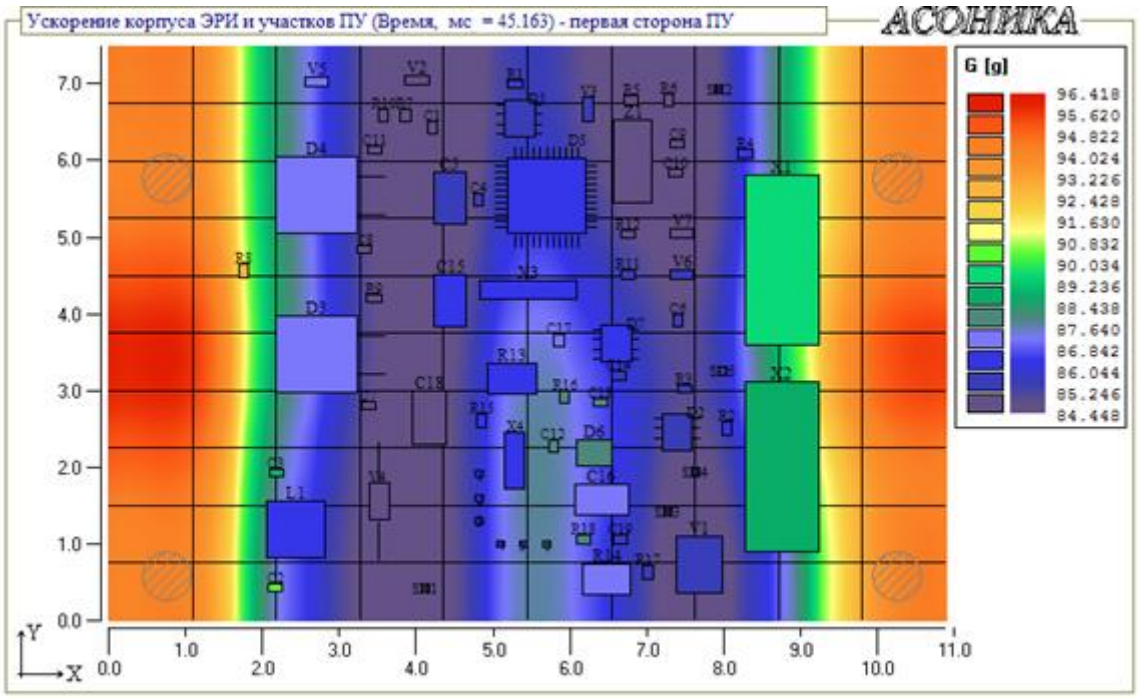
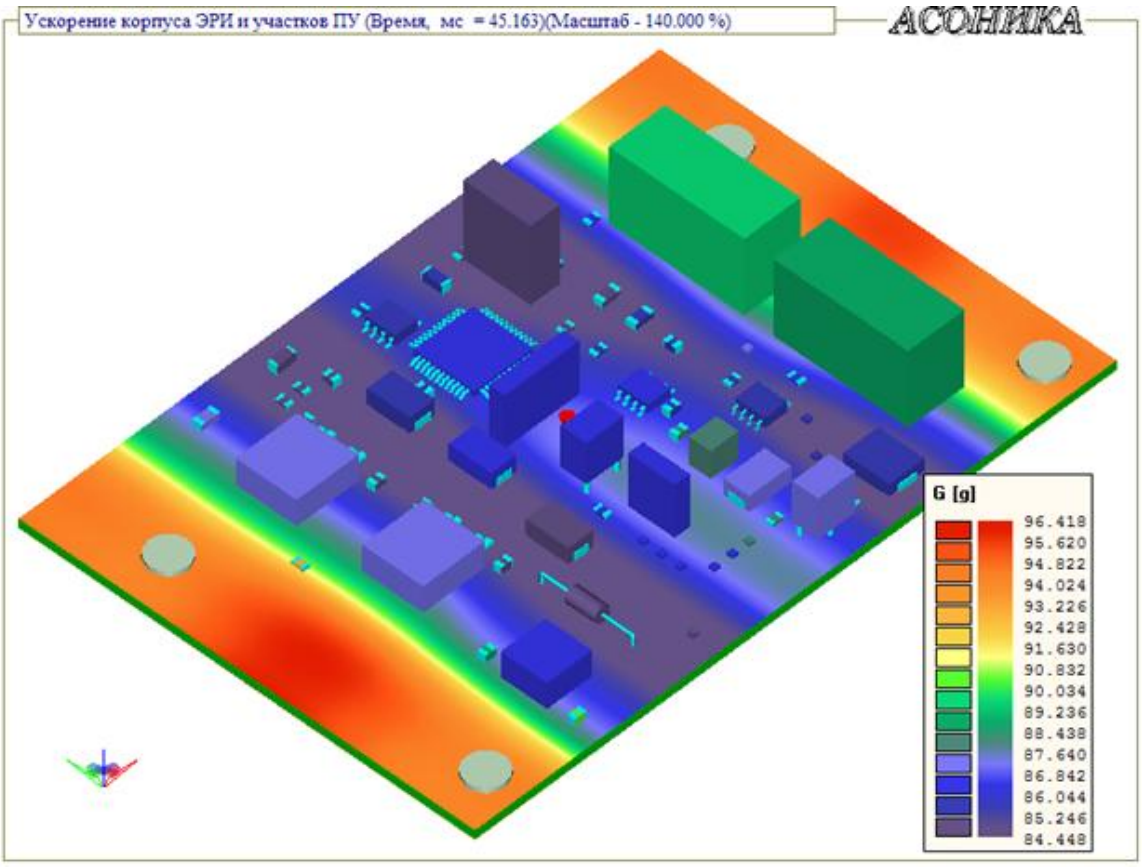


Рис. 6.51. Зависимость амплитуды ускорения в контрольной точке от частотыпри акустическом шуме

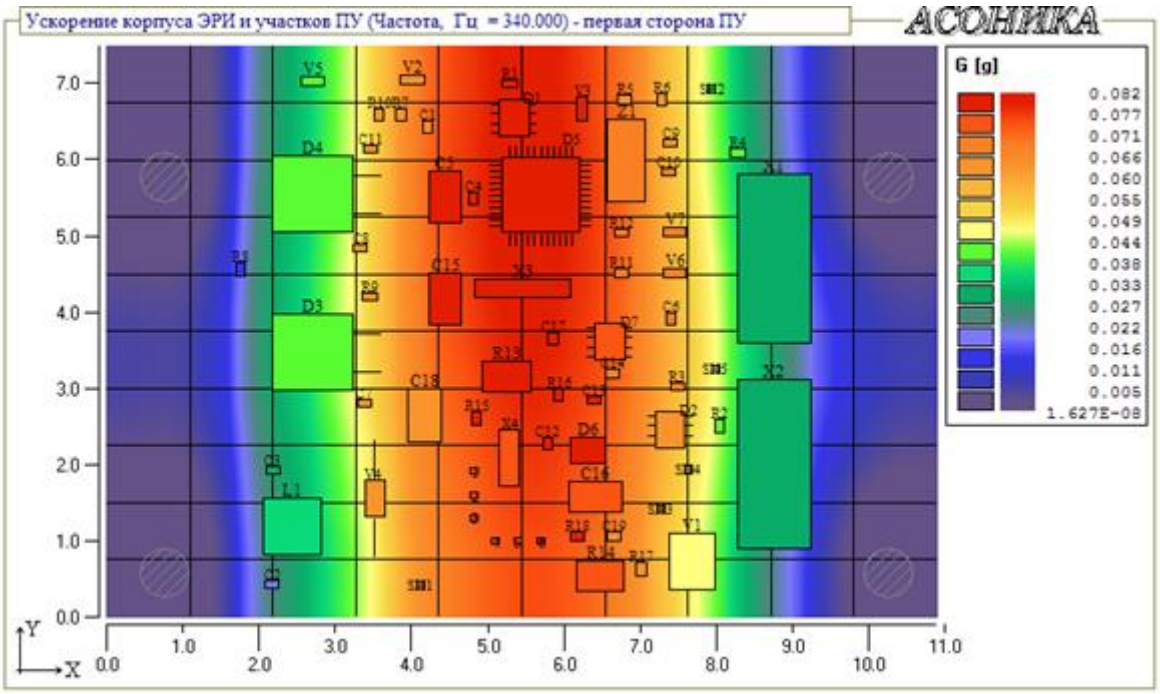


а

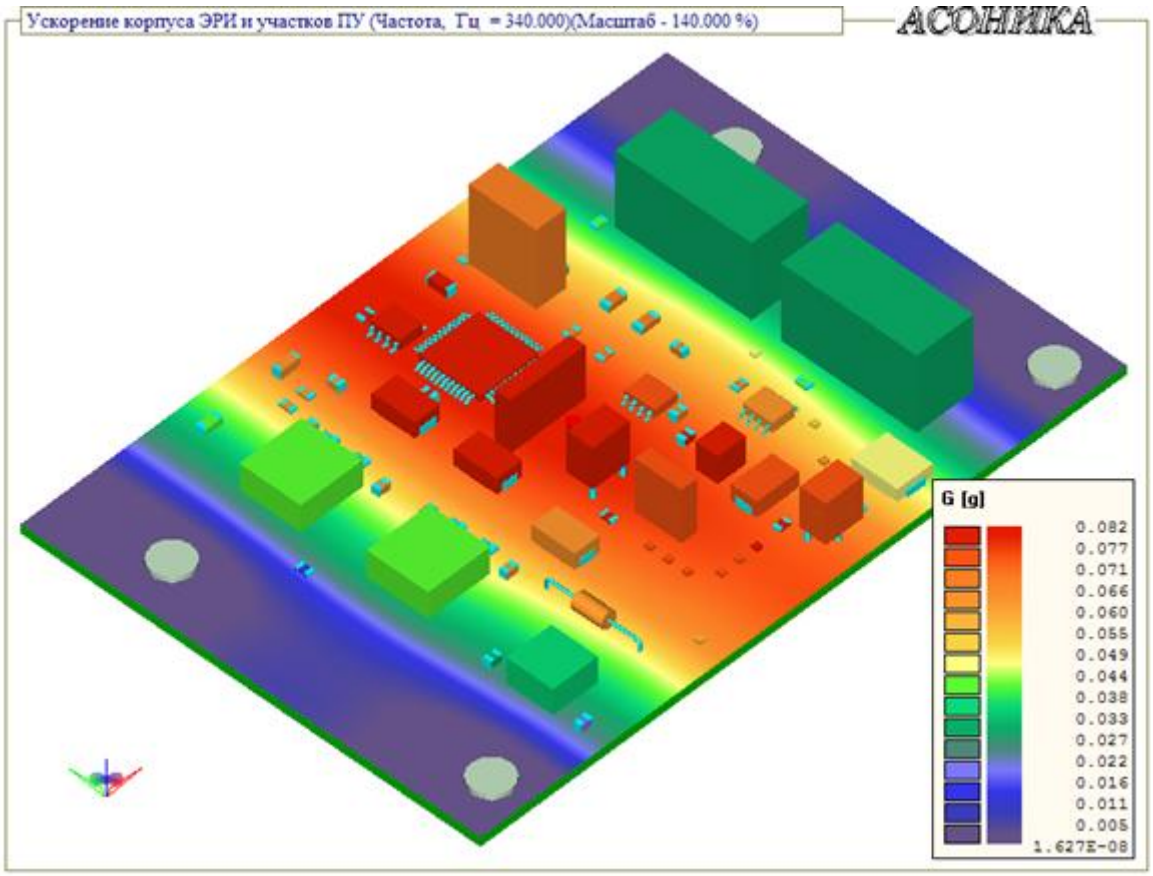


б

Рис. 6.52. Поле ускорений в заданный момент времени при воздействии линейном ускорении:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение



а



б

Рис. 6.53. Поле ускорений на резонансной частоте
при воздействии акустического шума:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение

Таблица 6.14

Карта механических режимов работы ЭРИ при гармонической вибрации

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Частота, Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	200,0	2,429	40,000	0,061	–
2	D4	1	200,0	2,218	40,000	0,055	–
3	R12	1	200,0	2,389	40,000	0,060	–
4	R11	1	200,0	2,392	40,000	0,060	–
5	R10	1	200,0	2,362	40,000	0,059	–
6	R17	1	200,0	2,376	40,000	0,059	–
7	R16	1	200,0	2,473	40,000	0,062	–
8	R15	1	200,0	2,460	40,000	0,062	–
9	R18	1	200,0	2,459	40,000	0,061	–
…	…	…	…	…	…	…	…
51	D1	1	200,0	2,463	40,000	0,062	–
52	SH3	1	200,0	2,379	40,000	0,059	–
53	SH2	1	200,0	2,218	40,000	0,055	–
54	SH1	1	200,0	2,348	40,000	0,059	–
55	SH5	1	200,0	2,267	40,000	0,057	–
56	SH4	1	200,0	2,296	40,000	0,057	–
57	D5	1	200,0	2,470	40,000	0,062	–
58	X4	1	200,0	2,454	40,000	0,061	–
59	V1	1	200,0	2,277	40,000	0,057	–
60	L1	1	200,0	2,209	40,000	0,055	–
61	D3	1	200,0	2,237	40,000	0,056	–
62	V4	1	200,0	2,355	40,000	0,059	–

Таблица 6.15

Карта механических режимов работы ЭРИ при случайной вибрации

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ		Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	10,998	40,000	0,275	–
2	D4	1	10,039	40,000	0,251	–
3	R12	1	9,539	40,000	0,238	–
4	R11	1	9,709	40,000	0,243	–
5	R10	1	9,075	40,000	0,227	–
6	R17	1	9,594	40,000	0,240	–
7	R16	1	12,131	40,000	0,303	–
8	R15	1	11,383	40,000	0,285	–
9	R18	1	11,589	40,000	0,290	–
…	…	…	…	…	…	…
51	D1	1	10,475	40,000	0,262	–
52	SH3	1	9,627	40,000	0,241	–
53	SH2	1	9,835	40,000	0,246	–
54	SH1	1	9,107	40,000	0,228	–
55	SH5	1	10,389	40,000	0,260	–
56	SH4	1	9,542	40,000	0,239	–
57	D5	1	10,962	40,000	0,274	–
58	X4	1	11,154	40,000	0,279	–
59	V1	1	9,287	40,000	0,232	–
60	L1	1	9,863	40,000	0,247	–
61	D3	1	10,957	40,000	0,274	–
62	V4	1	9,195	40,000	0,230	–

Таблица 6.16

Карта механических режимов работы ЭРИ при одиночном ударе

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Время, мс	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	1,000	143,801	1000,000	0,144	–
2	D4	1	1,150	130,961	1000,000	0,131	–
3	R12	1	1,050	140,914	1000,000	0,141	–
4	R11	1	1,050	141,083	1000,000	0,141	–
5	R10	1	1,050	139,199	1000,000	0,139	–
6	R17	1	1,050	139,937	1000,000	0,140	–
7	R16	1	0,950	147,114	1000,000	0,147	–
8	R15	1	0,950	146,199	1000,000	0,146	–
9	R18	1	0,950	145,844	1000,000	0,146	–
…	…	…	…	…	…	…	…
51	D1	1	1,000	146,531	1000,000	0,147	–
52	SH3	1	1,050	140,147	1000,000	0,140	–
53	SH2	1	1,100	130,831	1000,000	0,131	–
54	SH1	1	1,050	138,409	1000,000	0,138	–
55	SH5	1	1,100	133,316	1000,000	0,133	–
56	SH4	1	1,050	135,165	1000,000	0,135	–
57	D5	1	1,000	147,070	1000,000	0,147	–
58	X4	1	0,950	145,576	1000,000	0,146	–
59	V1	1	1,050	134,234	1000,000	0,134	–
60	L1	1	1,100	130,782	1000,000	0,131	–
61	D3	1	1,100	132,037	1000,000	0,132	–
62	V4	1	1,050	138,859	1000,000	0,139	–

Таблица 6.17

Карта механических режимов работы ЭРИ при многократном ударе

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Время, мс	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	7,850	13,116	500,000	0,026	–
2	D4	1	8,100	12,113	500,000	0,024	–
3	R12	1	8,000	12,876	500,000	0,026	–
4	R11	1	8,000	12,889	500,000	0,026	–
5	R10	1	8,000	12,748	500,000	0,025	–
6	R17	1	7,900	12,810	500,000	0,026	–
7	R16	1	7,800	13,432	500,000	0,027	–
8	R15	1	7,800	13,356	500,000	0,027	–
9	R18	1	7,800	13,358	500,000	0,027	–
…	…	…	…	…	…	…	…
51	D1	1	7,850	13,351	500,000	0,027	–
52	SH3	1	7,900	12,826	500,000	0,026	–
53	SH2	1	8,100	12,104	500,000	0,024	–
54	SH1	1	8,000	12,691	500,000	0,025	–
55	SH5	1	8,050	12,287	500,000	0,025	–
56	SH4	1	8,050	12,431	500,000	0,025	–
57	D5	1	7,850	13,399	500,000	0,027	–
58	X4	1	7,800	13,318	500,000	0,027	–
59	V1	1	8,050	12,364	500,000	0,025	–
60	L1	1	8,100	12,100	500,000	0,024	–
61	D3	1	8,100	12,197	500,000	0,024	–
62	V4	1	8,000	12,725	500,000	0,025	–

Таблица 6.18

Карта механических режимов ЭРИ при линейном ускорении

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Время, мс	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	44,163	86,439	150,000	0,576	–
2	D4	1	45,163	87,246	150,000	0,582	–
3	R12	1	43,163	85,171	150,000	0,568	–
4	R11	1	43,163	85,307	150,000	0,569	–
5	R10	1	43,163	84,555	150,000	0,564	–
6	R17	1	43,163	85,404	150,000	0,569	–
7	R16	1	46,163	87,831	150,000	0,586	–
8	R15	1	45,163	86,801	150,000	0,579	–
…	…	…	…	…	…	…	–
51	D1	1	44,163	85,541	150,000	0,570	…
52	SH3	1	43,163	85,483	150,000	0,570	–
53	SH2	1	44,163	86,383	150,000	0,576	–
54	SH1	1	43,163	84,605	150,000	0,564	–
55	SH5	1	45,163	87,071	150,000	0,580	–
56	SH4	1	44,163	85,973	150,000	0,573	–
57	D5	1	44,163	86,067	150,000	0,574	–
58	X4	1	45,163	86,827	150,000	0,579	–
59	V1	1	44,163	85,547	150,000	0,570	–
60	L1	1	45,163	86,485	150,000	0,577	–
61	D3	1	45,163	87,353	150,000	0,582	–
62	V4	1	43,163	84,673	150,000	0,564	–

Таблица 6.19

Карта механических режимов ЭРИ при акустическом шуме

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Ускорение ЭРИ			Коэффициент механической нагрузки, отн. ед.	Перегрузка, g
			Частота, Гц	Максимальное расчетное, g	Максимальное допустимое по ТУ, g		
1	D7	1	340,000	0,072	40,000	0,002	–
2	D4	1	340,000	0,039	40,000	9,789E-04	–
3	R12	1	340,000	0,067	40,000	0,002	–
4	R11	1	340,000	0,067	40,000	0,002	–
5	R10	1	340,000	0,064	40,000	0,002	–
6	R17	1	340,000	0,063	40,000	0,002	–
7	R16	1	340,000	0,079	40,000	0,002	–
8	R15	1	340,000	0,078	40,000	0,002	–
9	R18	1	340,000	0,077	40,000	0,002	–
…	…	…	…	…	…	…	…
51	D1	1	340,000	0,081	40,000	0,002	–
52	SH3	1	340,000	0,063	40,000	0,002	–
53	SH2	1	340,000	0,039	40,000	9,840E-04	–
54	SH1	1	340,000	0,059	40,000	0,001	–
55	SH5	1	340,000	0,044	40,000	0,001	–
56	SH4	1	340,000	0,049	40,000	0,001	–
57	D5	1	340,000	0,082	40,000	0,002	–
58	X4	1	340,000	0,076	40,000	0,002	–
59	V1	1	340,000	0,047	40,000	0,001	–
60	L1	1	340,000	0,036	40,000	9,024E-04	–
61	D3	1	340,000	0,040	40,000	0,001	–
62	V4	1	340,000	0,060	40,000	0,002	–

Результаты моделирования тепловых воздействий на печатный узел. В результате моделирования тепловых процессов в печатном узле при рабочей температуре окружающей среды +30,9 °С получены поле температур (рис. 6.54), карта тепловых режимов работы ЭРИ (табл. 6.20).

В результате моделирования тепловых процессов в печатном узле при повышенной рабочей температуре окружающей среды +70,3 °С получены поле температур (рис. 6.55), карта тепловых режимов работы ЭРИ (табл. 6.21).

В результате моделирования тепловых процессов в печатном узле при пониженной температуре окружающей среды – 23,6 °Сполучены поле температур (рис. 6.56), карта тепловых режимов работы ЭРИ (таблю 6.23).

Таблица 6.20

Карта тепловых режимов работы ЭРИ при +30,9 °С

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	D5	1	50,160	85,000	0,590	–
2	V3	1	48,883	105,000	0,466	–
3	R12	1	48,502	155,000	0,313	–
4	R10	1	48,329	155,000	0,312	–
5	R7	1	48,329	155,000	0,312	–
6	R11	1	48,246	155,000	0,311	–
7	R3	1	47,878	155,000	0,309	–
8	R5	1	47,877	155,000	0,309	–
9	R6	1	47,826	155,000	0,309	–
…	…	…	…	…	…	…
63	C2	1	32,816	125,000	0,263	–
64	Z1	1	32,791	85,000	0,386	–
65	C18	1	31,951	125,000	0,256	–
66	X4	1	31,801	105,000	0,303	–
67	X2	1	31,753	105,000	0,302	–
68	X1	1	31,347	105,000	0,299	–

Таблица 6.21

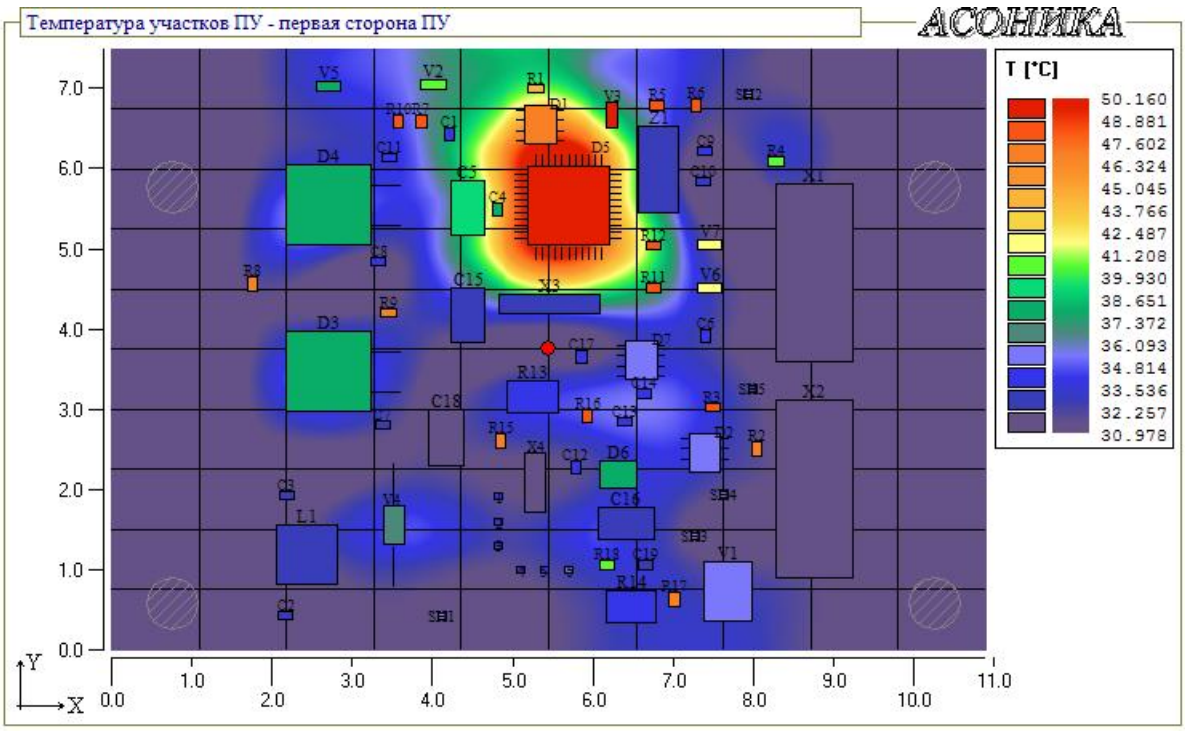
Карта тепловых режимов работы ЭРИ при +70,3 °С

№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Перегрев, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	D5	1	88,070	85,000	1,036	3,070
2	R12	1	87,052	155,000	0,562	–
3	V3	1	86,929	105,000	0,828	–
4	R10	1	86,862	155,000	0,560	–
5	R7	1	86,862	155,000	0,560	–
6	R11	1	86,831	155,000	0,560	–
7	R3	1	86,544	155,000	0,558	–
8	R5	1	86,484	155,000	0,558	–
9	R6	1	86,441	155,000	0,558	–
…	…	…	…	…	…	…
56	SH5	1	72,575	100,000	0,726	–
57	C7	1	72,352	125,000	0,579	–
58	C3	1	72,182	125,000	0,577	–
59	L1	1	72,177	125,000	0,577	–
60	X3	1	72,142	105,000	0,687	–
61	C2	1	72,084	125,000	0,577	–
62	C16	1	72,070	125,000	0,577	–
63	C15	1	71,895	125,000	0,575	–
64	Z1	1	71,798	85,000	0,845	–
65	C18	1	71,172	125,000	0,569	–
66	X4	1	71,004	105,000	0,676	–
67	X2	1	70,963	105,000	0,676	–
68	X1	1	70,621	105,000	0,673	–

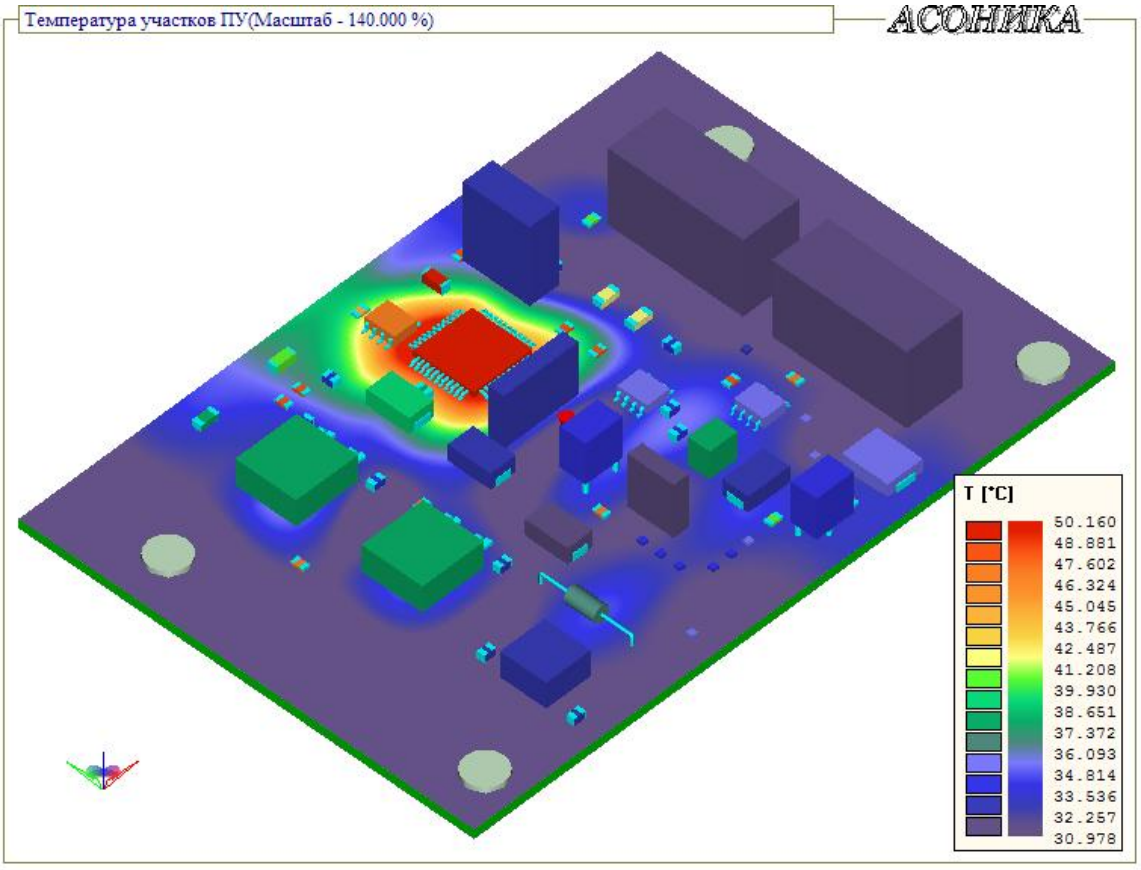
Таблица 6.22

Карта тепловых режимов работы ЭРИ при –23,6 °С

КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ						
(при стационарном тепловом воздействии)						
№ п/п	Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед.	Переохлаждение, °С
			Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
1	D5	1	–2,623	–40,000	0,066	–
2	V3	1	–4,008	–25,000	0,160	–
3	R12	1	–5,005	–55,000	0,091	–
4	R10	1	–5,141	–55,000	0,093	–
5	R7	1	–5,141	–55,000	0,093	–
6	R11	1	–5,298	–55,000	0,096	–
7	R5	1	–5,684	–55,000	0,103	–
8	D1	1	–5,705	–40,000	0,143	–
9	R6	1	–5,747	–55,000	0,104	–
…	…	…	…	…	…	…
57	SH5	1	–20,940	–60,000	0,349	–
58	C7	1	–21,087	–55,000	0,383	–
59	C16	1	–21,122	–55,000	0,384	–
60	L1	1	–21,141	–40,000	0,529	–
61	C15	1	–21,225	–55,000	0,386	–
62	Z1	1	–21,273	–40,000	0,532	–
63	C3	1	–21,330	–55,000	0,388	–
64	C2	1	–21,511	–55,000	0,391	–
65	C18	1	–22,309	–55,000	0,406	–
66	X4	1	–22,409	–25,000	0,896	–
67	X2	1	–22,480	–40,000	0,562	–
68	X1	1	–22,954	–40,000	0,574	–

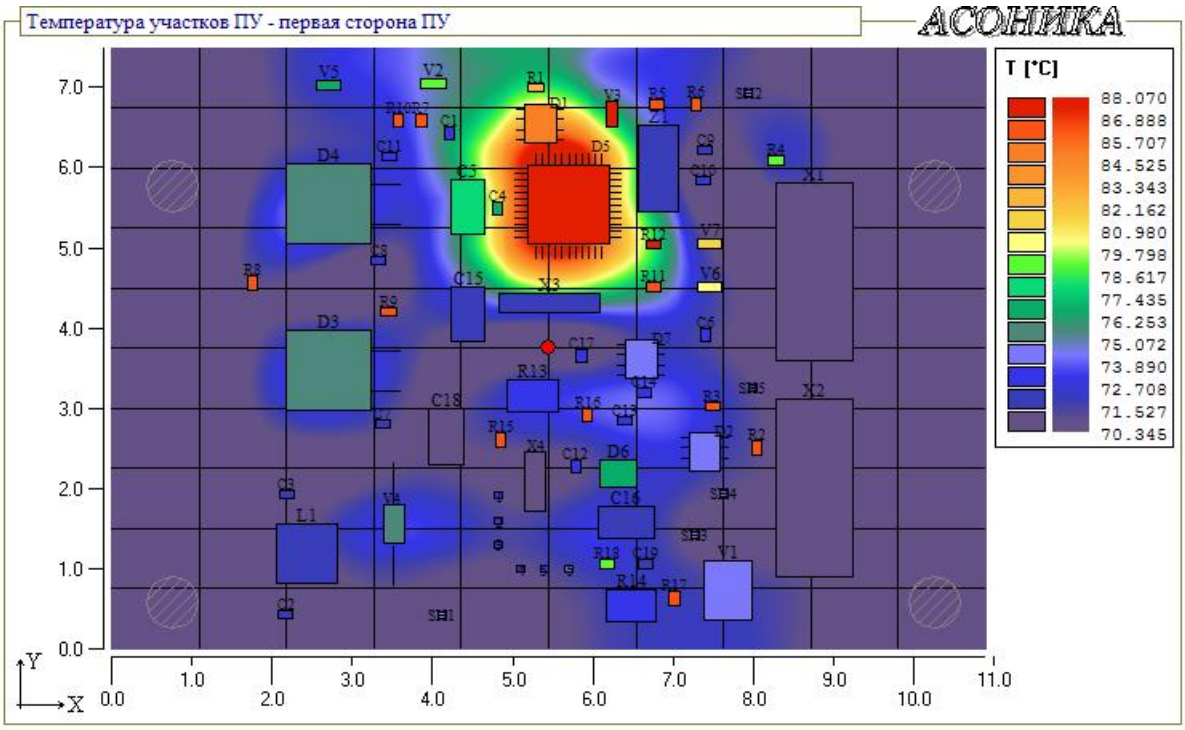


а

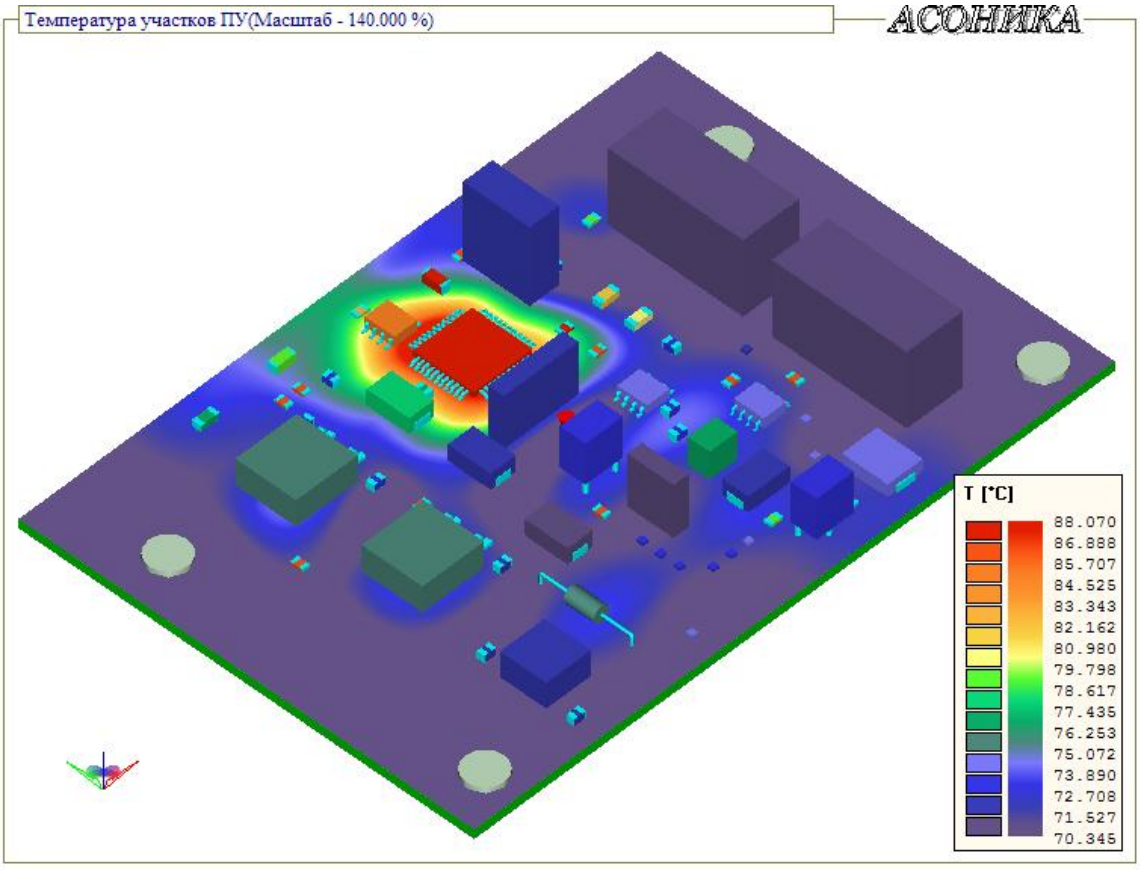


б

Рис. 6.54. Поле температур при +30,9 °Си давлении 760 мм рт. ст.:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение

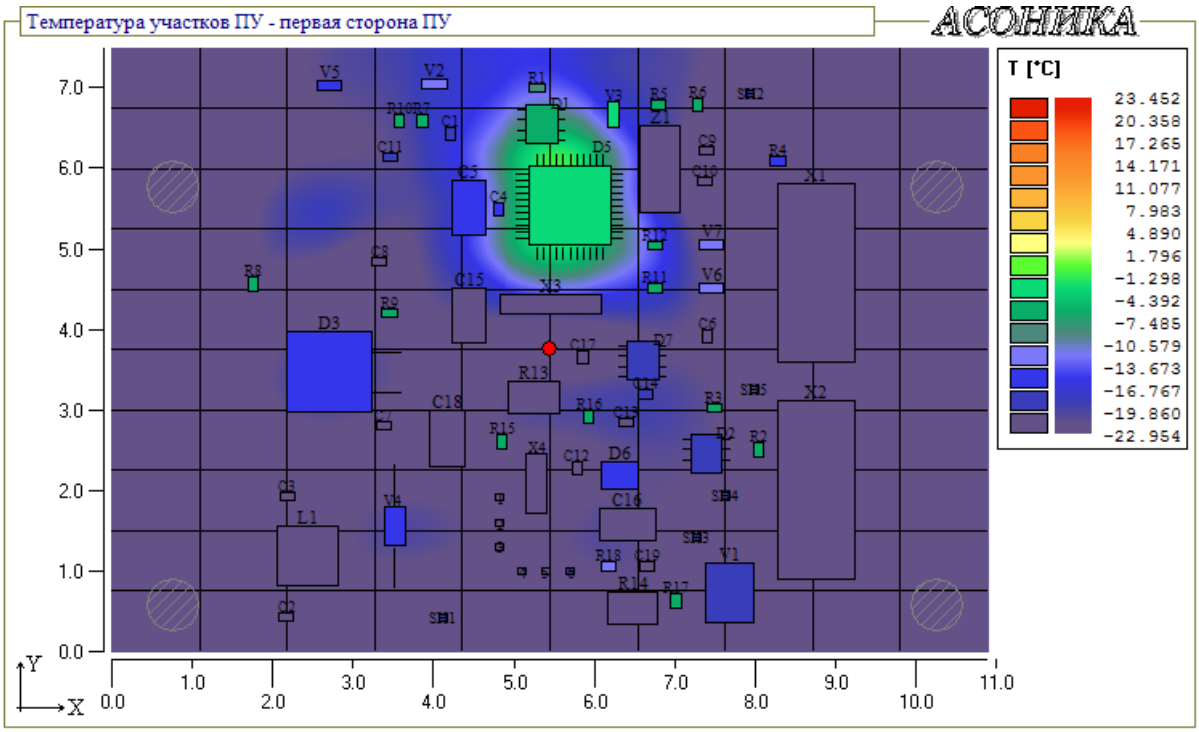


а

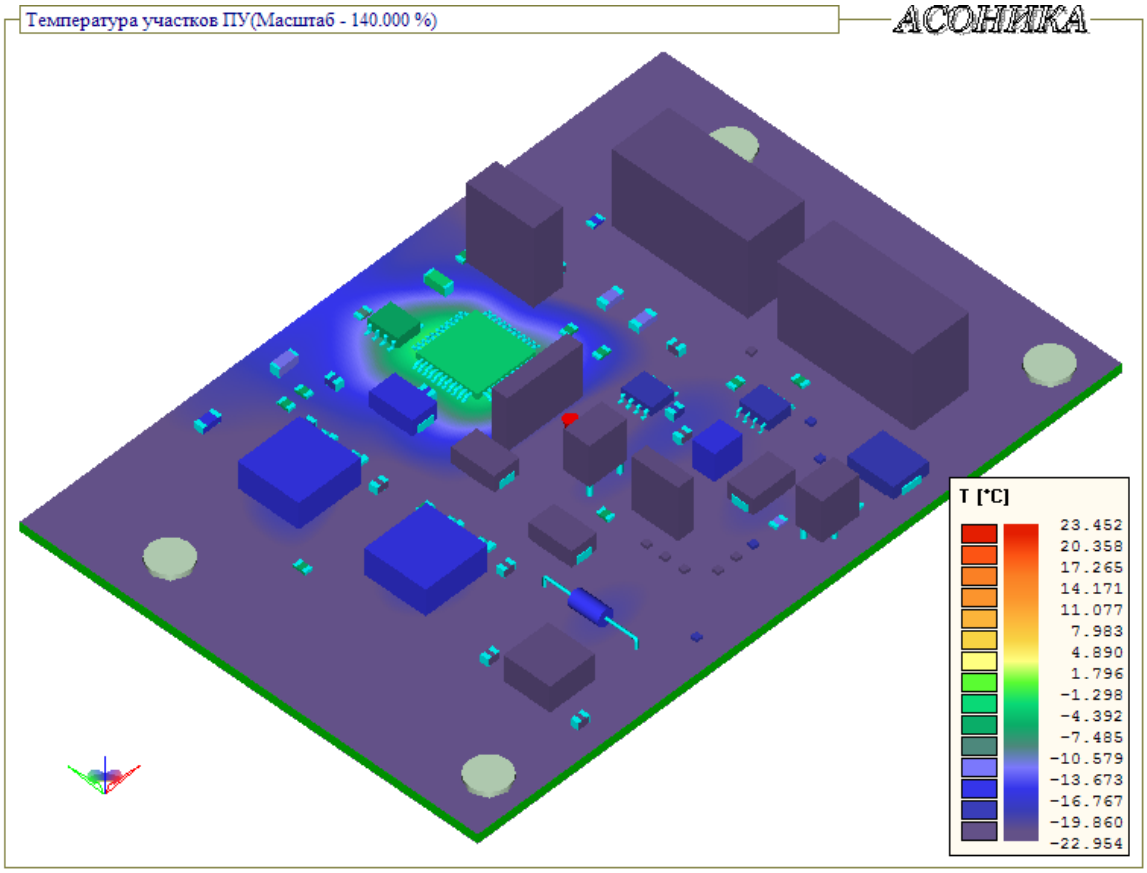


б

Рис. 6.55. Поле температур при +70,3 °С и давлении 760 мм рт. ст.:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение



а



б

Рис. 6.56. Поле температур при –23,6 °С и давлении 760 мм рт. ст.:
а – плоское изображение, *б* – объемное изображение

Таким образом, результаты моделирования механических и тепловых процессов в печатном узле показали, что:

1. При гармонической вибрации в полосе частот 1–200 Гц амплитудой 2g в контрольной точке в центре платы не наблюдается резонансов, перегрузок ЭРИ печатного узла не наблюдается.

2. При случайной вибрации заданного вида в полосе частот 10–2000 Гц перегрузок ЭРИ печатного узла не наблюдается.

3. При механическом ударе однократного действия амплитудой ускорения 100g и длительностью 5 мс перегрузок ЭРИ печатного узла не наблюдается.

4. При механическом ударе многократного действия перегрузок ЭРИ печатного узла не наблюдается.

5. В случае линейного ускорения заданного вида, действующего в течение 100 мс, перегрузок ЭРИ печатного узла не наблюдается.

6. При воздействии на печатный узел акустического шума в полосе 50–10 000 Гц в контрольной точке в центре печатного узла наблюдается резонанс на частоте 160 Гц, но ускорение корпусов ЭРИ и участков ПУ на данной частоте не превышает допустимых пределов и перегрузки ЭРИ не наблюдается.

7. При изменении температуры воздуха внутри корпуса блока от пониженной рабочей –23,6 °С до повышенной рабочей +70,3 °С при нормальном атмосферном давлении в целом не наблюдается значительное переохлаждение либо перегрев ЭРИ.

8. При повышенной рабочей температуре +70,3 °С наблюдается незначительный перегрев микросхемы D1 (ST485) (табл. 6.21).

6.2.4. Результаты апробации системы АСОНИКА

Расчет механических режимов блока с помощью подсистемы АСОНИКА-М2 выявил отсутствие резонансов при гармонической вибрации и показал, что механические напряжения при всех типах механических воздействий не превышают допустимые значения.

Анализ результатов моделирования тестируемого блока на тепловые воздействия в подсистеме АСОНИКА-Т показал, что при изменении температуры окружающей среды от повышенной до пониженной рабочей не наблюдается перегрев корпуса и печатного узла внутри корпуса блока датчиков горизонта.

Результаты моделирования механических и тепловых процессов в печатном узле в подсистеме АСОНИКА-ТМ не выявили перегрузок или перегревов ЭРИ печатного узла.

Таким образом, виртуальные испытания тестового блока РЭС на механические и тепловые воздействия в системе АСОНИКА показали, что конструкция блока обеспечивает его нормальное функционирование при тепловых и механических воздействиях, заданных в соответствиис ГОСТ РВ–20.39.304–98.

В прил. 2 приведена копия акта апробации, утвержденного заместителем начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь – начальником военно-научного управления полковником О. К. Кривоносом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система АСОНИКА внедрена на множестве предприятий военно-промышленного комплекса Российской Федерации и является первой российской автоматизированной системой моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерства обороны Российской Федерации для замены испытаний электронной аппаратуры на ранних этапах проектирования, что позволяет создавать конкурентоспособную аппаратуру в минимальные сроки и с минимальными затратами. Система АСОНИКА обеспечивает дополнение обычного перечня конструкторской документации результатами расчетов и моделями для их проведения. Таким образом, формируется электронный виртуальный макет создаваемой аппаратуры, используемый на этапах изготовления и эксплуатации. В рамках системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой аппаратуры, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы АСОНИКА (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, аэродинамические, механические и деградационные процессы в аппаратуре, осуществляют диагностическое моделирование, анализ показателей надежности, а также позволяют интегрироваться с системами топологического проектирования систем и устройств телекоммуникаций MentorGraphics, AltiumDesignere, PCAD и т. п.).

Приведенные в монографии материалы использованы при разработке новой версии системы АСОНИКА. В настоящее время версия 5.0 проходит апробацию на промышленных предприятиях и в ближайшее время заменит предыдущую версию 4.3, в отличие от которой она будет содержать новые подсистемы (АСОНИКА-ЭМС, АСОНИКА-УСТ, АСОНИКА-М-ШКАФ, АСОНИКА-М-3D, АСОНИКА-ИД), новую СУБД (PostgreSQL), а также будет реализована в сетевом исполнении (с плавающей лицензией).

Система АСОНИКА широко используется для проведения консалтинга, позволяя давать квалифицированное заключение о соответствии электрических, тепловых, механических, электромагнитных и других характеристик аппаратуры требуемым нормам.

По вопросам приобретения автоматизированной системы АСОНИКА можно обращаться по электронному адресу: ALS140965@mail.ru, а также на сайт www.asonika.com.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий /А. С. Шалумов[и др.]; под общ.ред. Ю. Н. Кофанова, Н. В. Малютина, А. С. Шалумова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – Т. 1. – 368 с.

2. Русановский, С. А. Математическое и программное обеспечение человеко-машинных интерфейсов для моделирования бортовых приборов и систем / С. А. Русановский, А. С. Шалумов //Избр. тр. Рос.шк. по проблемам науки и технологий. – М.: РАН, 2007. – 168 с.

3. Титенко, Е. А. Информационные системы и технологии. Кн. 2 / Е. А. Титенко, А. С. Шалумов;отв. ред. Я. А. Максимов. – Красноярск: Науч.-инновац. центр, 2011. – 110 с.

4. Моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях радиоэлектронной аппаратуры с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ / Ю. Н. Кофанов[и др.]; под ред. Ю. Н. Кофанова. – М.: МГИЭМ, 1999. – 139с.

5. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях /Ю. Н. Кофанов[и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 226с.

6. Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов электронной аппаратуры / Ю. Н. Кофанов [и др.]. – М.: Радио и связь, 2000. – 389с.

7. Кофанов, Ю. Н. Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств / Ю. Н. Кофанов, Е. С. Новиков, А. С. Шалумов. – М.: Радио и связь, 2000. – 160 с.

8. Шалумов, А. С. Моделирование механических процессов в конструкциях РЭС на основе МКР и аналитических методов: учеб.пособие / А. С. Шалумов. – Ковров: Ковров.гос. технолог. акад., 2001. – 296 с.

9. Шалумов, А. С. Введение в CALS-технологии: учеб.пособие / А. С. Шалумов,С. И. Никишкин, В. Н. Носков. – Ковров: Ковров.гос. технолог. акад., 2003. – 184 с.

10. Шалумов, А. С. Математические модели и методы анализа тепловых процессов: учеб.пособие / А. С. Шалумов, А.В. Орлов. – Ковров: Ковров.гос. технолог. акад., 2003. – 152с.

11. Шалумов, А. С. Моделирование тепловых процессов в технических объектах с помощью автоматизированной подсистемы АСОНИКА-Т: учеб.пособие / А. С. Шалумов, А. И. Манохин, Н. А. Шалумова. – Ковров: Ковров.гос. технолог. акад., 2004. – 180 с.

12. Прочность, устойчивость, колебания:справ.:в 3 т. / под ред. И. А. Биргера, Я. Г. Пановенко. – М.: Машиностроение, 1968. – Т. 3. – 568 с.

13. Справочник конструктора РЭА: общие принципы конструирования / под ред. Р. Г. Варламова. – М.: Сов.радио, 1980. – 480 с.

14. Ильинский, В. С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий / В. С. Ильинский. – М.: Радио и связь, 1982. – 296 с.

15. Карпушин, В. Б. Виброшумы радиоаппаратуры/ В. Б. Карпушин. – М.: Сов.радио, 1977. – 320 с.

16. Пановко, Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние),1976. – 320 с.

17. Токарев, М. Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры: учеб.пособие для вузов / М. Ф. Токарев,Е. Н. Талицкий, В. А. Фролов; под ред. В. А. Фролова. – М.: Радио и связь, 1984. – 224 с.

18. Кренкель, Т. Э. Персональные ЭВМ в инженерной практике / Т. Э. Кренкель,А. Г. Коган, А. М. Тараторкин.– М.: Радио и связь, 1989. – 337с.

19. Мосин, В. Н. Управление процессом проектирования / В. Н. Мосин, В. А. Трайнев. – М.: Моск. рабочий, 1980. – 128с.

20. Карберри, П. Р. Персональные компьютеры в автоматизированном проектировании / П. Р. Карберри. – М.: Машиностроение, 1989. – 144с.

21. Шалумов, А. С. Разработка алгоритмов и программ автоматического построения моделей механических процессов конструкций РЭС / А. С. Шалумов,Н. А.Шалумова // Высокие технологии в региональной информатике: тез.докл.Всерос. совещания-семинара. – Воронеж, 1998. –Ч. 2. – С. 160.

22. Рвачев, В. А. Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах / В. А. Рвачев,А. П. Слесаренко. – Киев: Навук. думка, 1976. – 287 с.

23. Кофанов, Ю. Н., Идентификация параметров материалов несущих конструкций радиоэлектронных средств с применением компьютерного измерительного стенда / Ю. Н. Кофанов,А. С. Шалумов, Н. И. Гладышев // Измерит.техника. – 1996. – № 12. – С. 52–55.

24. Кофанов, Ю. Н. Моделирование тепловых процессов при проектировании, испытаниях и контроле качества радиоэлектронных средств: учеб.пособие / Ю. Н. Кофанов, А. И. Манохин, С. У. Увайсов. – М.:МГИЭМ, 1998. – 140 с.

25. Исследования тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования:моногр. / В. В. Гольдин[и др.]; под ред. А. В. Сарафанова. – М.: Радио и связь, 2003. – 456 с.

26. Дульнев, Г. Н. Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре / Г. Н. Дульнев. – М.:Высш.шк., 1984.

27. CAE-технологии – критические технологии Российской Федерации / М. П. Федоров[и др.] //Фундаментальные исследования в технических университетах:материалы VI Всерос.конф. по проблемам науки и высш.шк.,Санкт-Петербург, 6 июня 2002 г. / С.-Петерб. гос. ун-т. – СПб.:СПбГПУ, 2002. – Т. 1. – С. 17–24.

28. Методика и программное обеспечение для моделирования радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия / Сетевой электрон.науч. журн. «Системотехника»,[Электронный ресурс]. – 2008. –Режим доступа: http://systech.miem.edu.ru/2008/n6/shalumov.html. – Дата доступа: 3.08.2011.

29. Шалумова, Н. А. Автоматизация параметрических тепловых моделей типовых конструкций радиоэлектронных средств: дис. … канд. техн. наук: 05.13.12 / Н. А. Шалумова. – М., 2009. – 216 с.

30. Сорокин, Е. С. Динамический расчет несущих конструкций зданий / Е. С. Сорокин. – М.: Госстройиздат, 1956. – 340 с.

Приложение 1

БАЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ

(фрагменты)

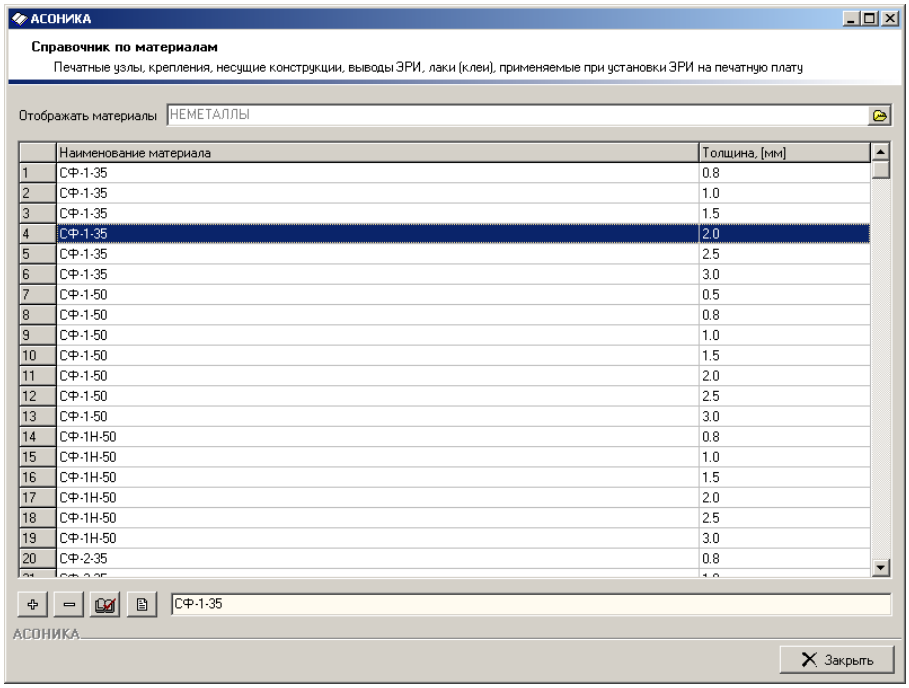


Рис. П.1.1. Материалы

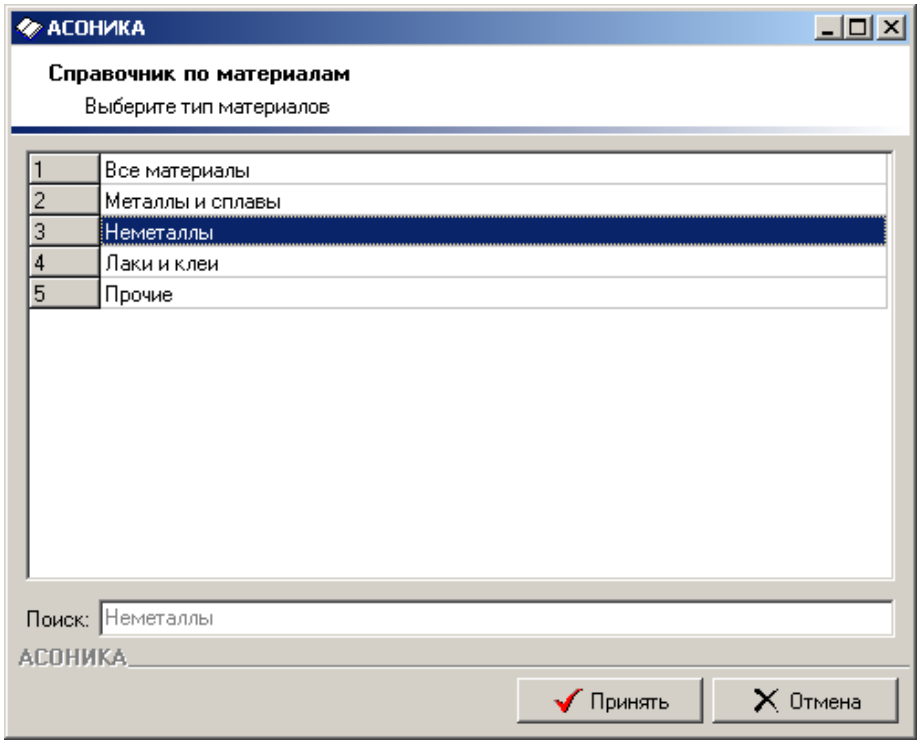


Рис. П.1.2. Выбор типа отображаемых материалов

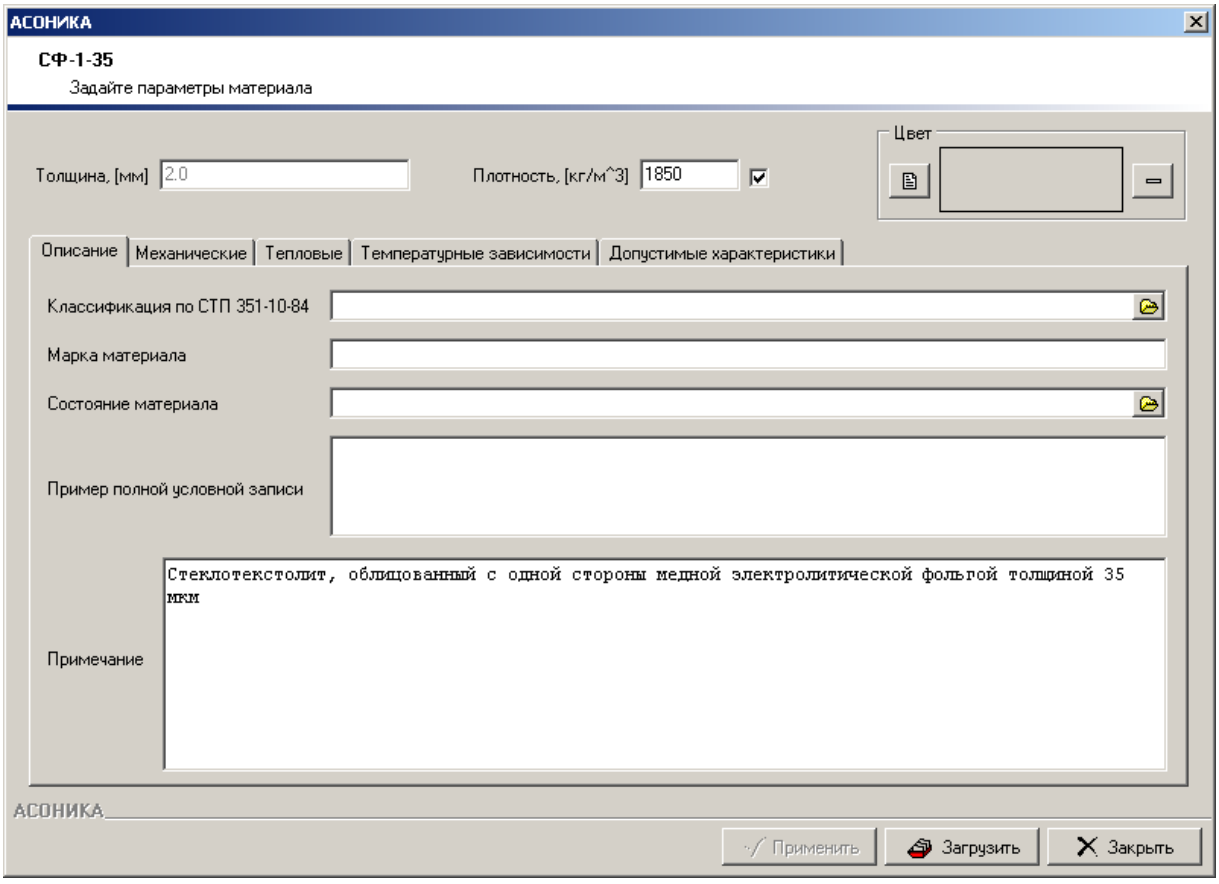


Рис. П.1.3. Свойства материала

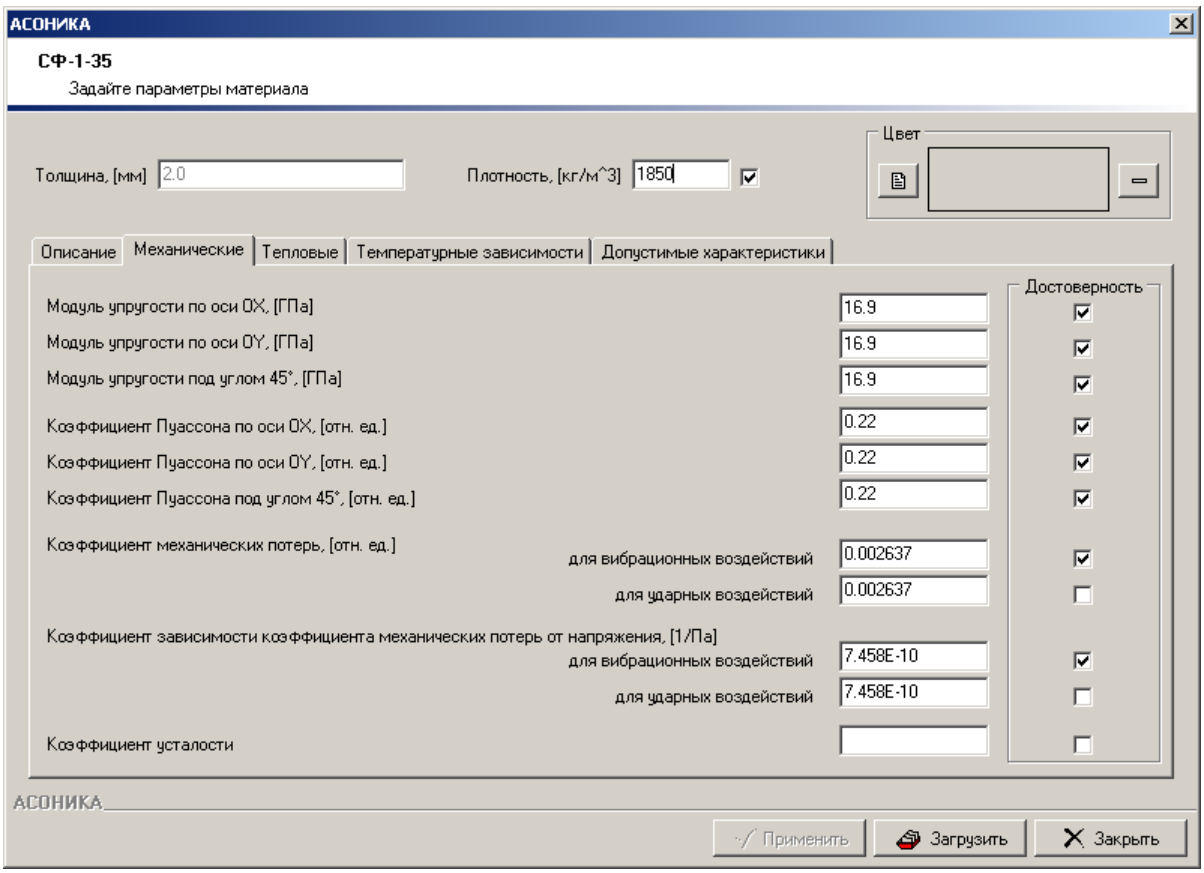


Рис. П.1.4. Механические свойства материала

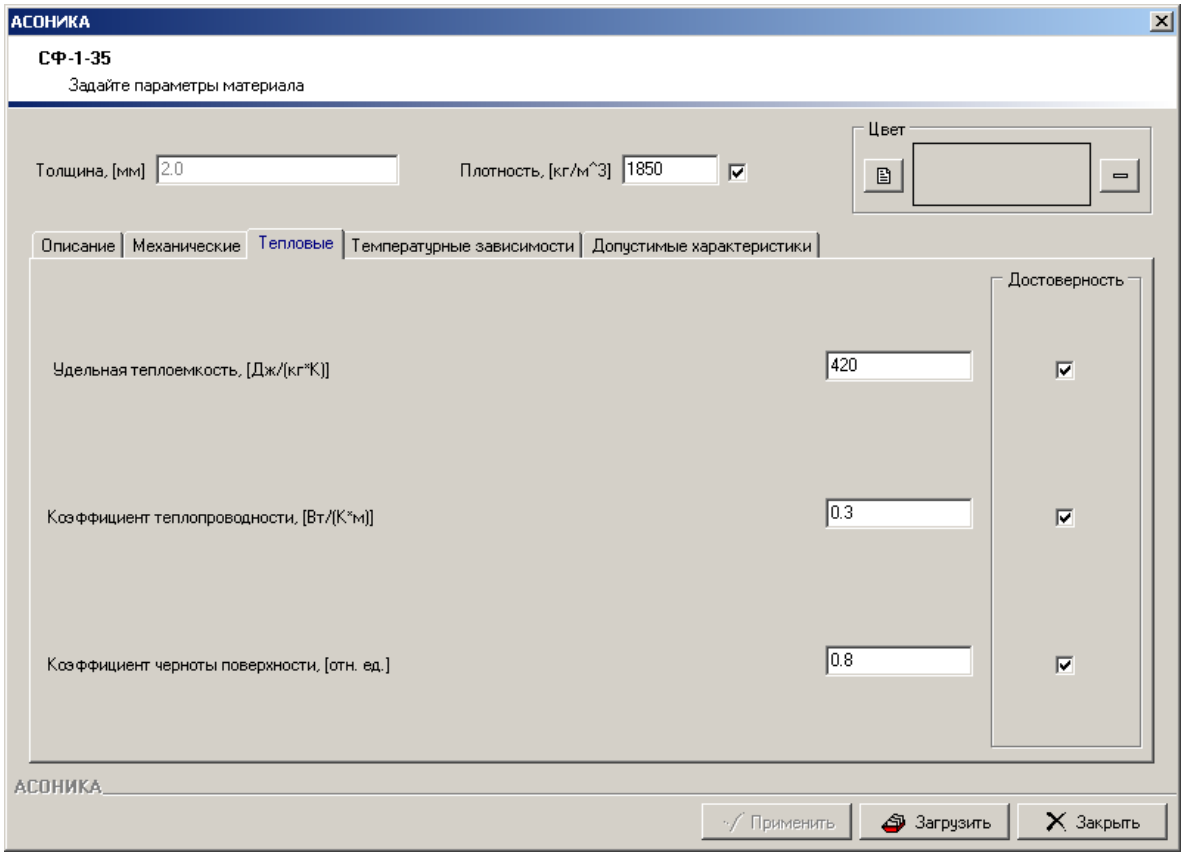


Рис. П.1.5. Тепловые свойства материала

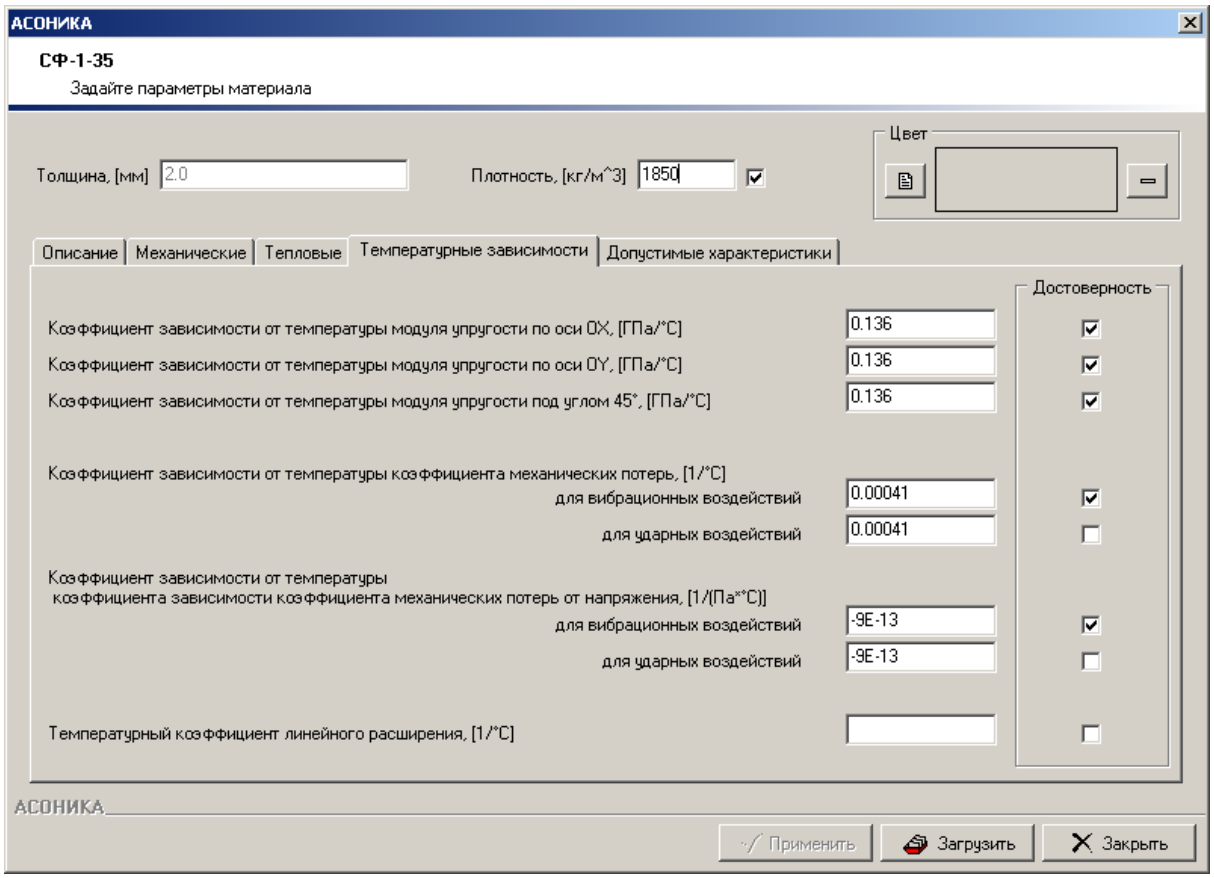


Рис. П.1.6. Температурные зависимости параметров материала

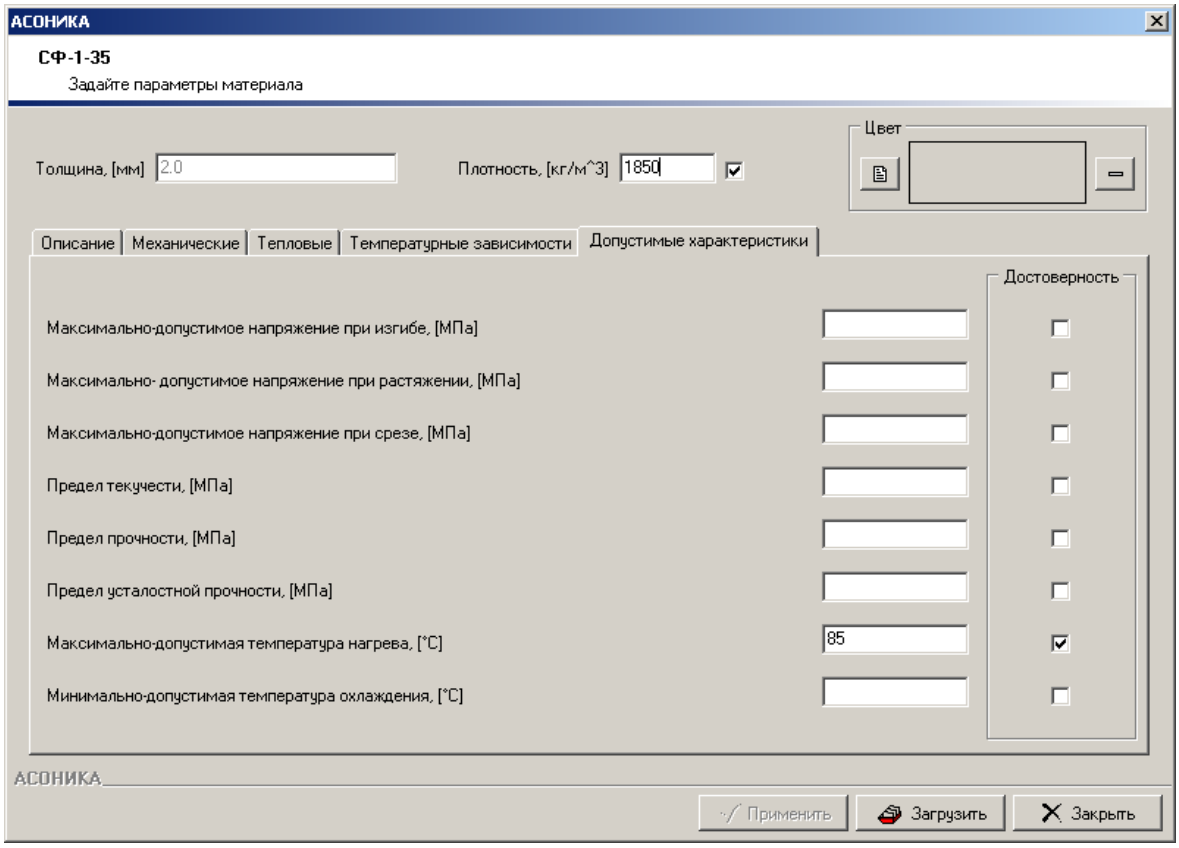


Рис. П.1.7. Допустимые значения параметров материала

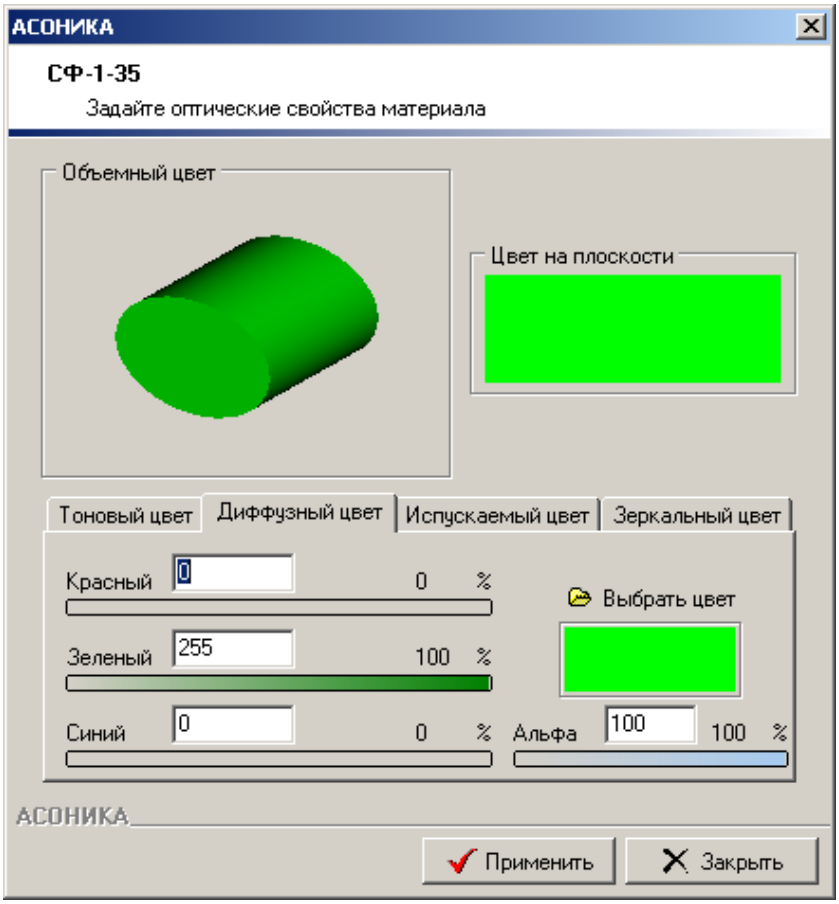


Рис. П.1.8. Оптические свойства материала

К оптическим свойствам материала относятся свойства тонового, диффузного, испускаемого и зеркального цветов, каждый из которых определяется красной, зеленой и синей составляющими и может быть задан при помощи диалогового окна задания цвета (рис. П.1.9). Кроме этого задаются степень прозрачности (альфа-составляющая цвета) и коэффициент зеркального отражения (задается на закладке «Зеркальный цвет»).

Геометрическая фигура отображает, как будет выглядеть деталь из данного материала в пространстве. Возможен выбор геометрической фигуры путем нажатия на ней правой кнопки мыши (рис. П.1.10). Вид материала на плоскости показан в прямоугольнике с заголовком «Цвет на плоскости».

При задании числовых значений параметров материала для указания достоверности введенного значения необходимо активировать галочку «☑».

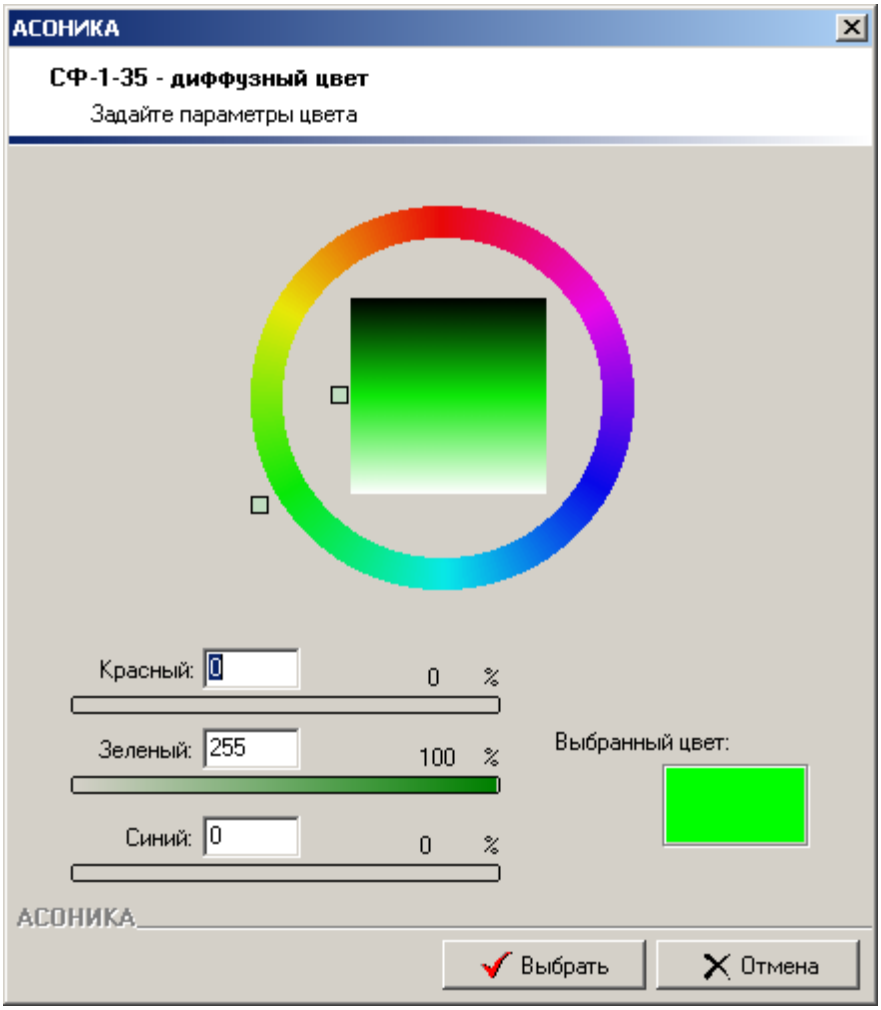


Рис. П.1.9. Диалоговое окно задания параметров цвета

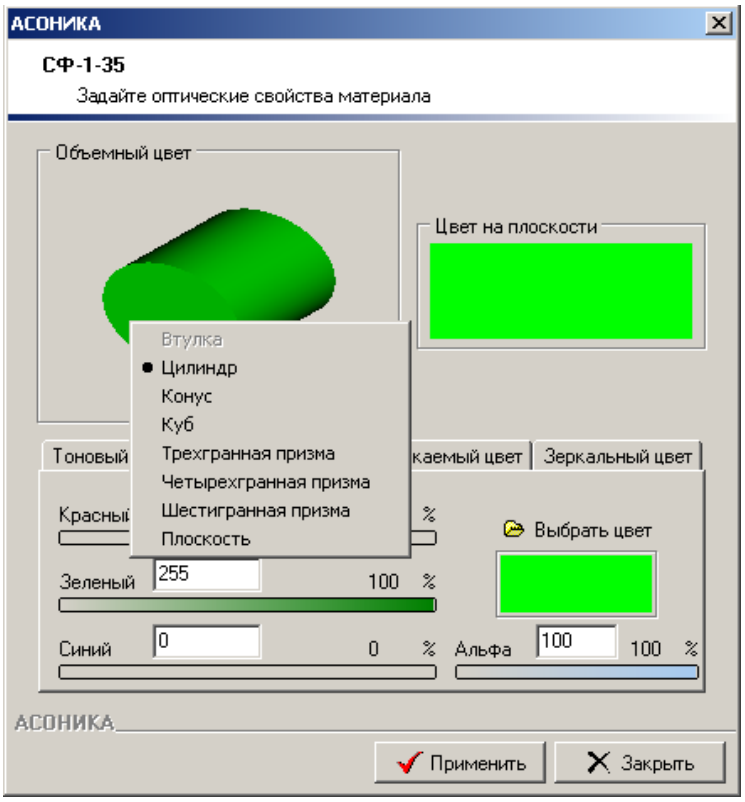


Рис. П.1.10. Выбор геометрической фигуры

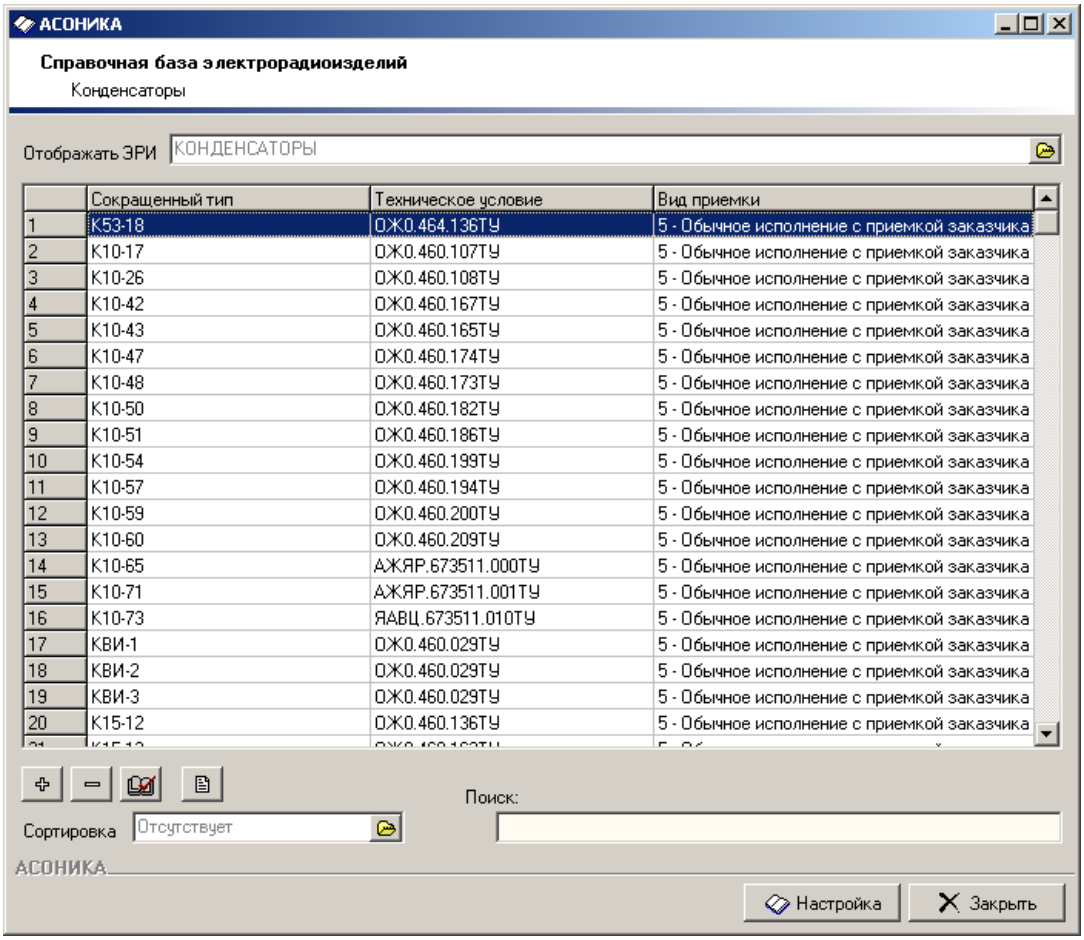


Рис. П.1.11. Электрорадиоизделия

Для выбора типа отображаемого класса необходимо нажать на кнопку напротив поля «Отображать ЭРИ» (рис. П.1.12).

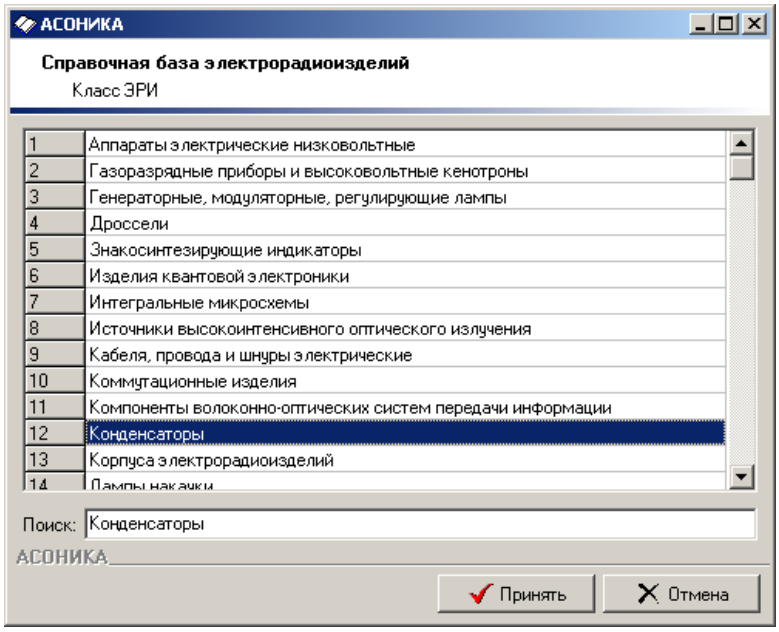


Рис. П.1.12. Выбор типа отображаемых материалов

Для настройки цвета отображения ЭРИ необходимо нажать на кнопку Настройка (рис. П.1.13).

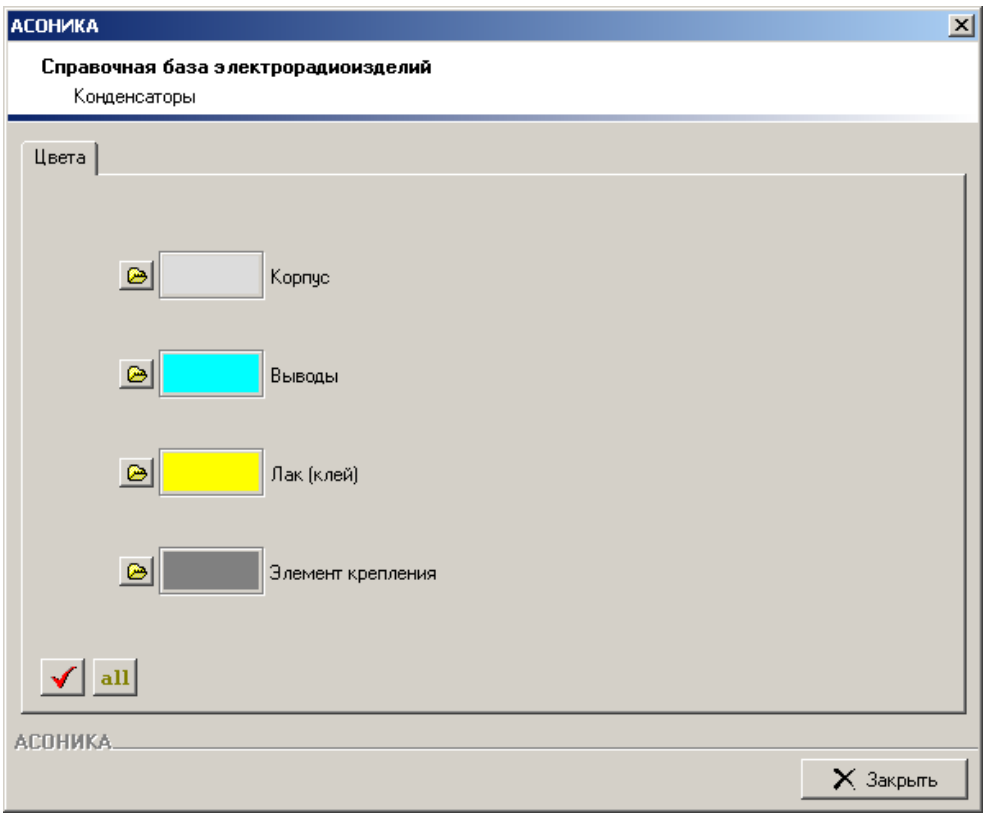


Рис. П.1.13. Настройка цветов отображения ЭРИ

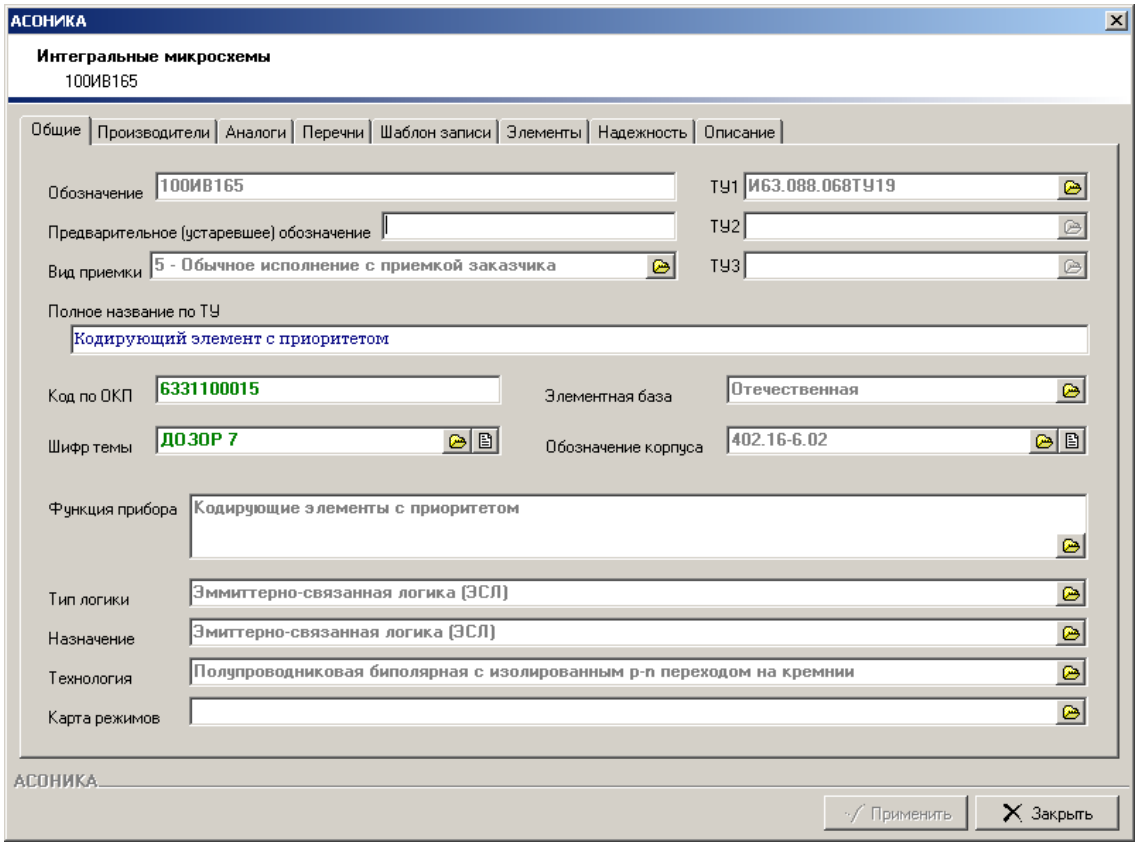


Рис. П.1.14. Общие свойства ЭРИ

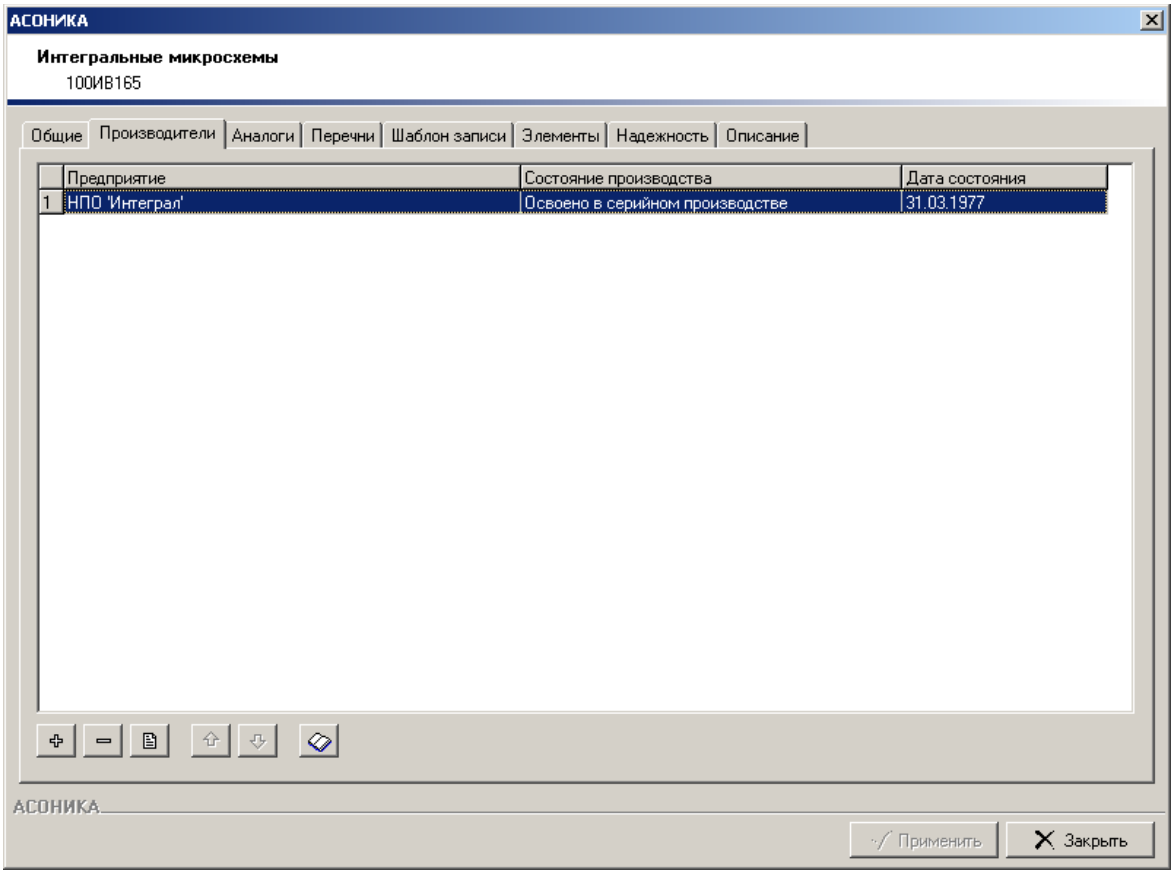


Рис. П.1.15. Производители ЭРИ

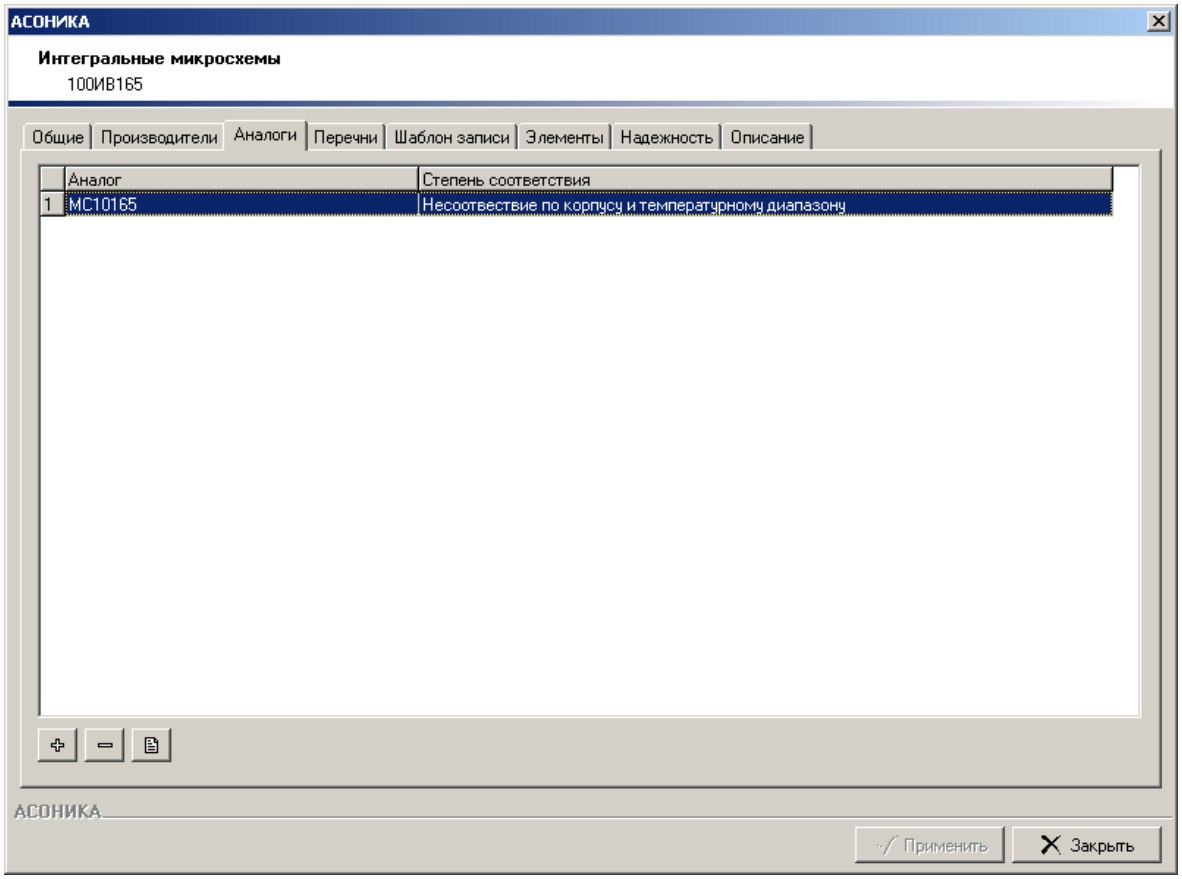


Рис. П.1.16. Аналоги ЭРИ

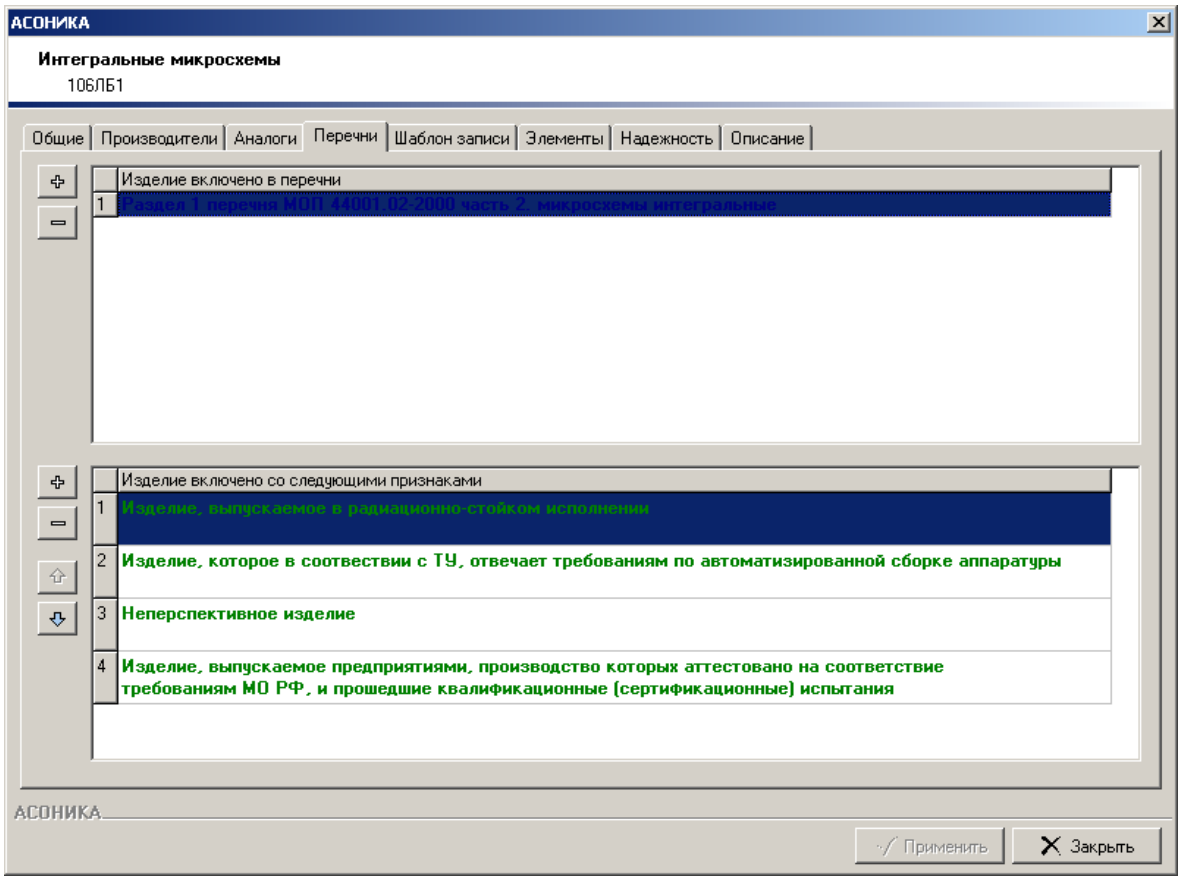


Рис. П.1.17. Перечни ЭРИ

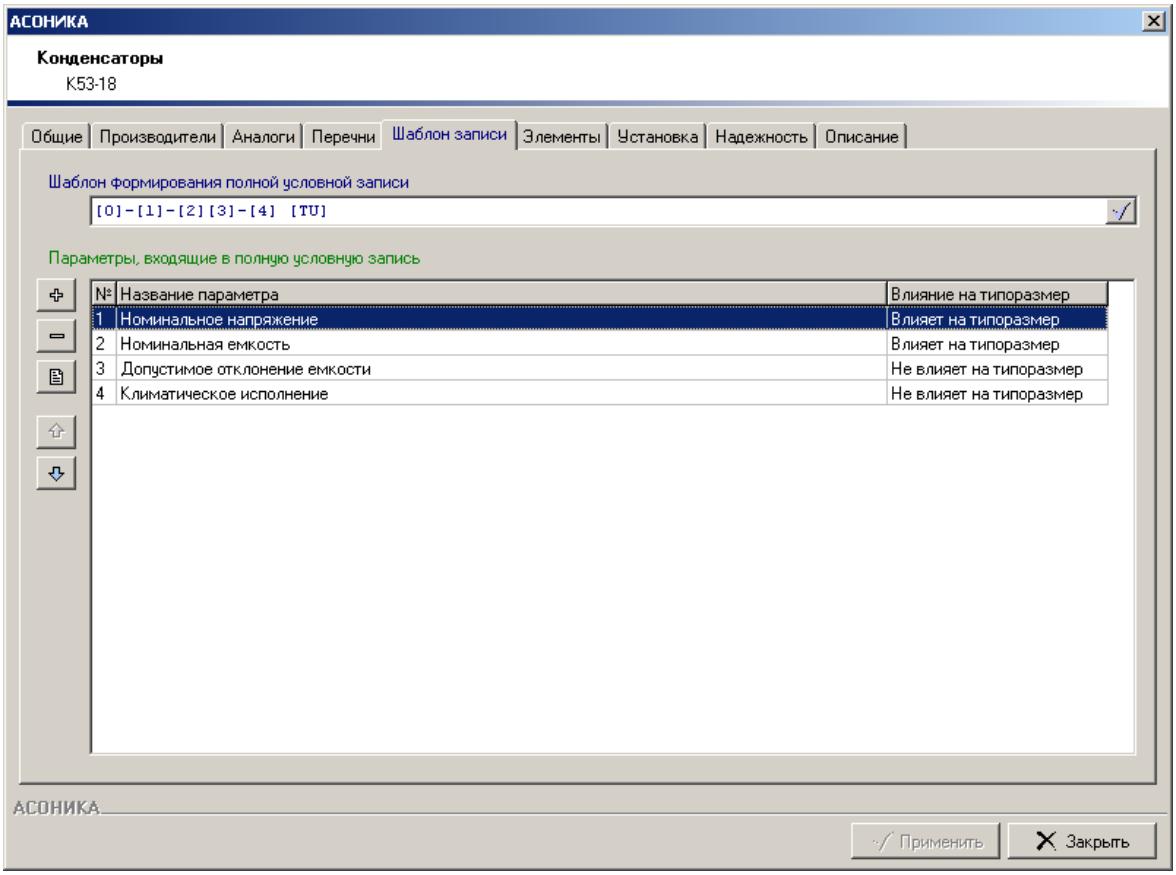


Рис. П.1.18. Шаблон записи ЭРИ

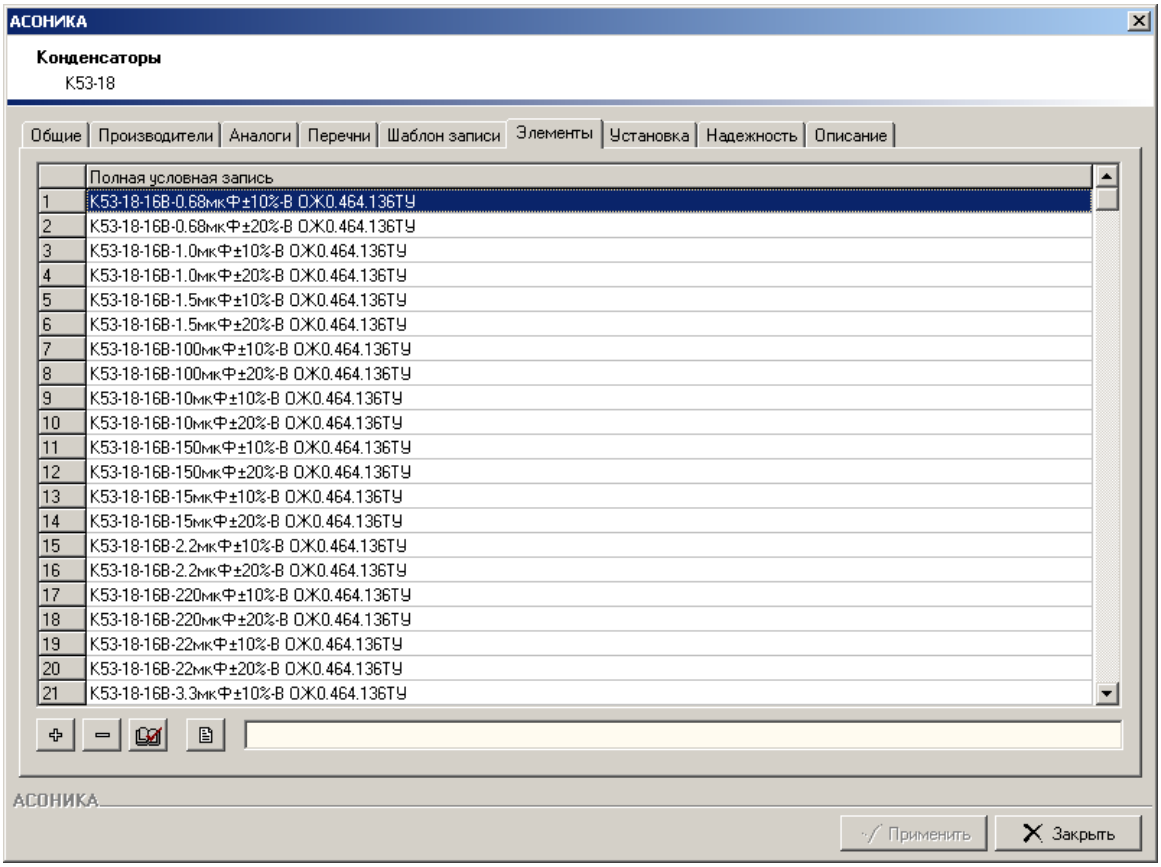


Рис. П.1.19. Полные условные записи

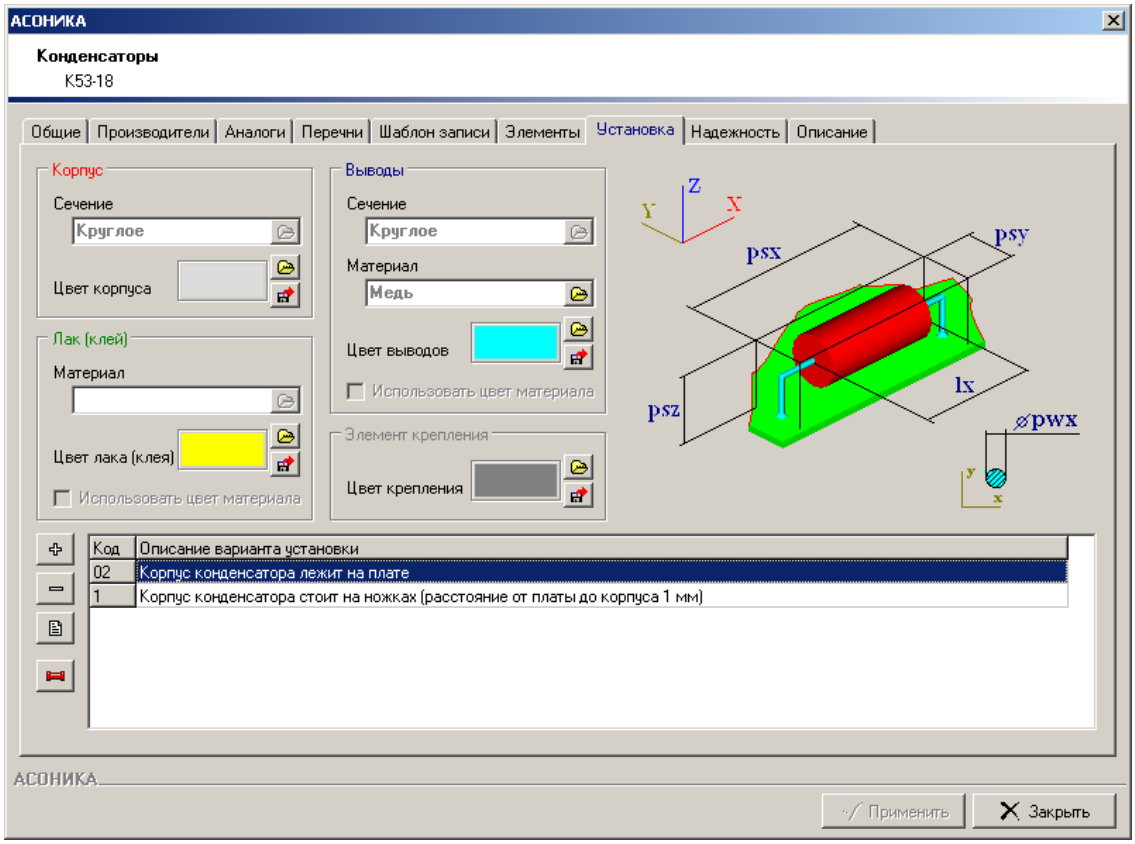


Рис. П.1.20. Варианты установки ЭРИ

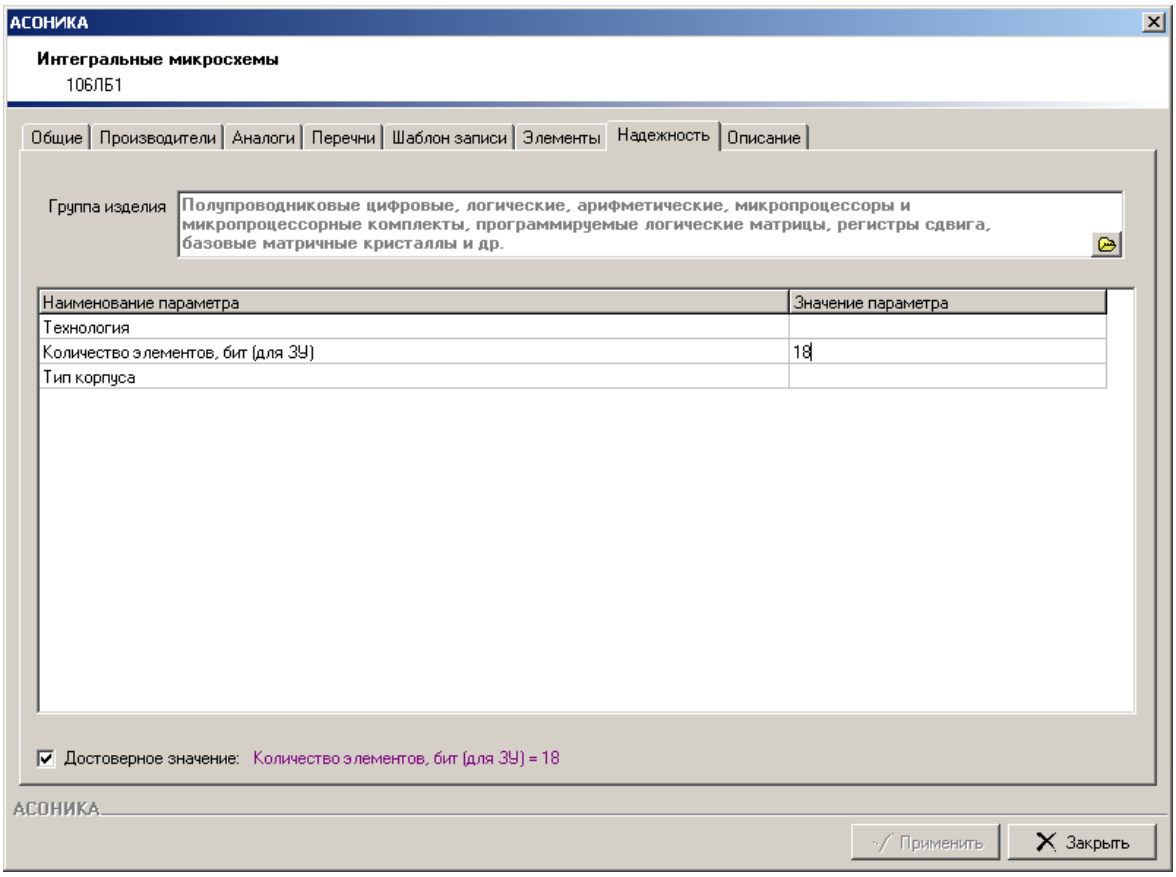


Рис. П.1.21. Параметры, необходимые для расчета надежности ЭРИ

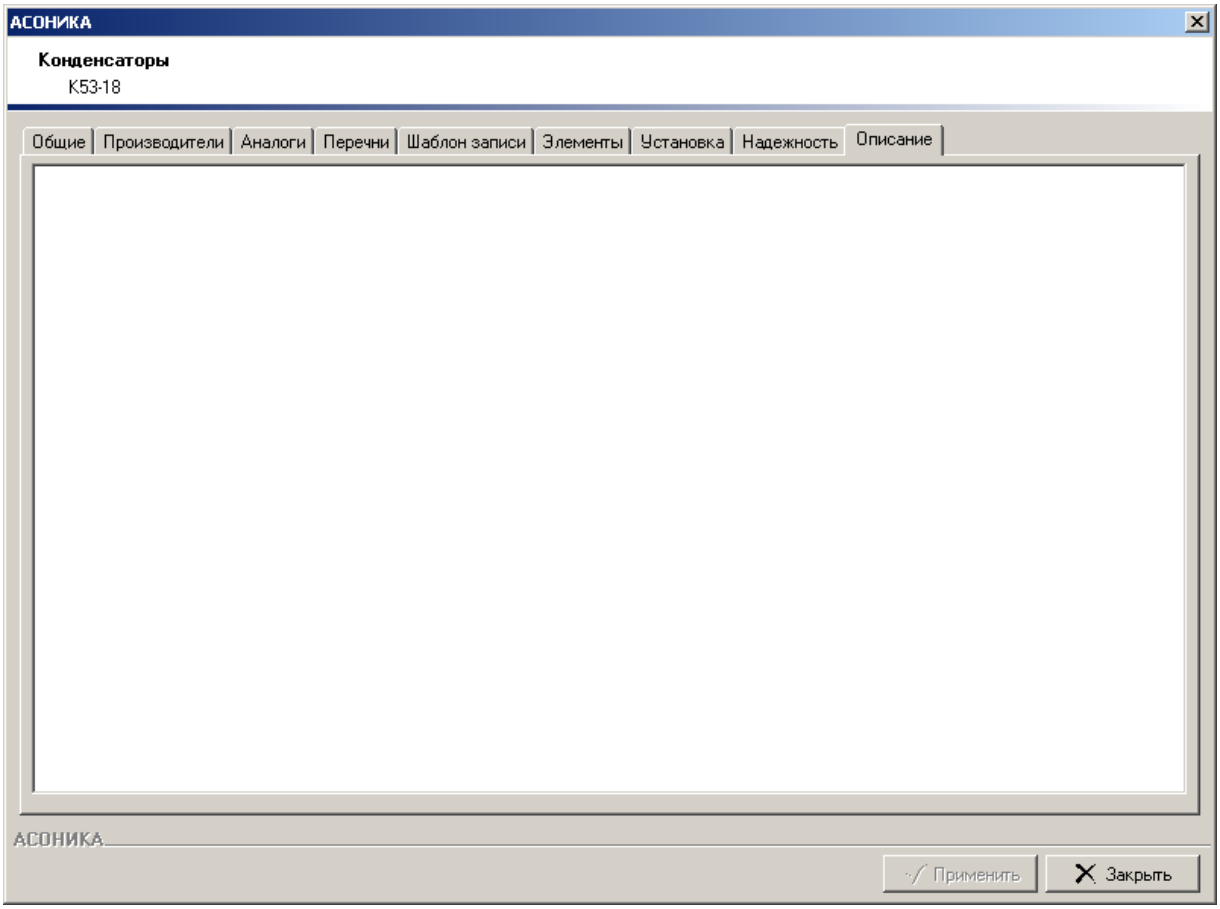


Рис. П.1.22. Описание ЭРИ

Шаблон записи наименования ЭРИ (полная условная запись) выглядит следующим образом: *[0]-[1]-[2][3]-[4] [TU]*, где число в квадратных скобках – номер параметра (сокращенный тип имеет номер «0»); *TU* – номер ТУ.

При формировании полной условной записи ЭРИ за место номера параметра вставляется его значение, квадратные скобки пропускаются, а все остальные символы вставляются в том же порядке. В случае, когда параметр в зависимости от значения может не входить в полную условную запись необходимо использовать специальные символы «&» (вставить символы, следующие после номера параметра, в полную условную запись перед значением параметра, если его значение не равно «*none*») и «^» (вставить символы, следующие после номера параметра, в полную условную запись после значения параметра, если его значение не равно «*none*») после номера параметра в шаблоне полной условной записи, например: *[0]-[1]-[2][3]-[4][5&-][TU]*.

Для сохранения шаблона записи ЭРИ необходимо нажать на кнопку . При изменении шаблона записи все сформированные пол-

ные условные записи для редактируемого сокращенного типа обновляются в автоматическом режиме.

Для редактирования списка возможных значений параметра, входящего в полную условную запись, необходимо нажать на кнопку (рис. Рис. П.1.23). При нажатии на кнопку происходит добавление выбранного значения из списка «Доступные значения» в список «Выбранные значения», а при нажатии на кнопку – удаление выбранного значения параметра из списка «Выбранные значения». Для добавления всех значений из списка «Доступные значения» в список «Выбранные значения» необходимо нажать кнопку , для удаления всех значений из списка «Выбранные значения» – кнопку . Если значение параметра отображается зеленым цветом, то его можно добавить в список «Выбранные значения»; если синим – выбранное значение параметра не включено ни в одну полную условную запись и его можно удалить из списка «Выбранные значения»; если красным – значение параметра присутствует как минимум в одной полной условной записи и не может быть удалено из списка «Выбранные значения». Пустой параметр имеет значение «*none*».

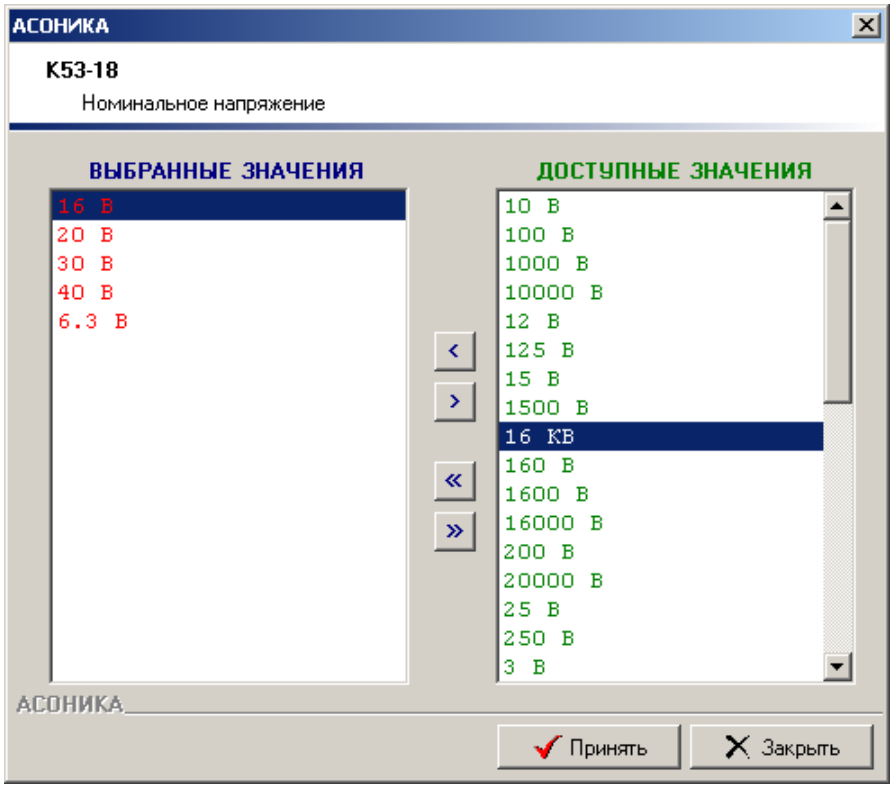


Рис. П.1.23. Список возможных значений параметра, входящего в полную условную запись

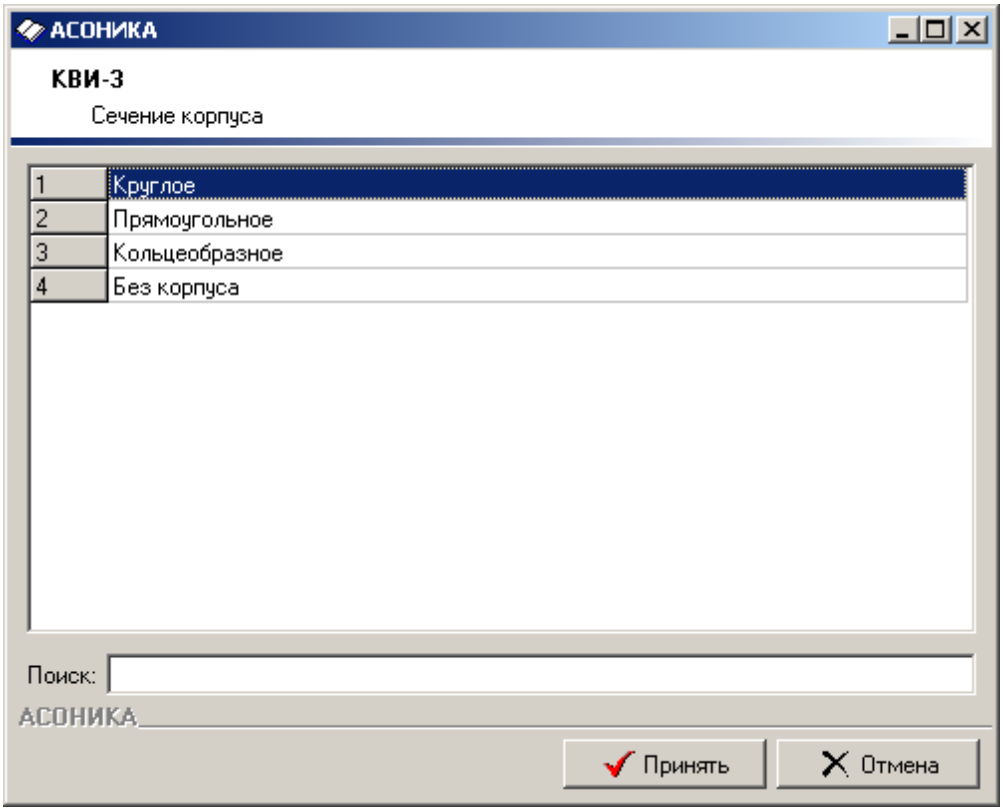


Рис. П.1.24. Выбор формы сечения корпуса

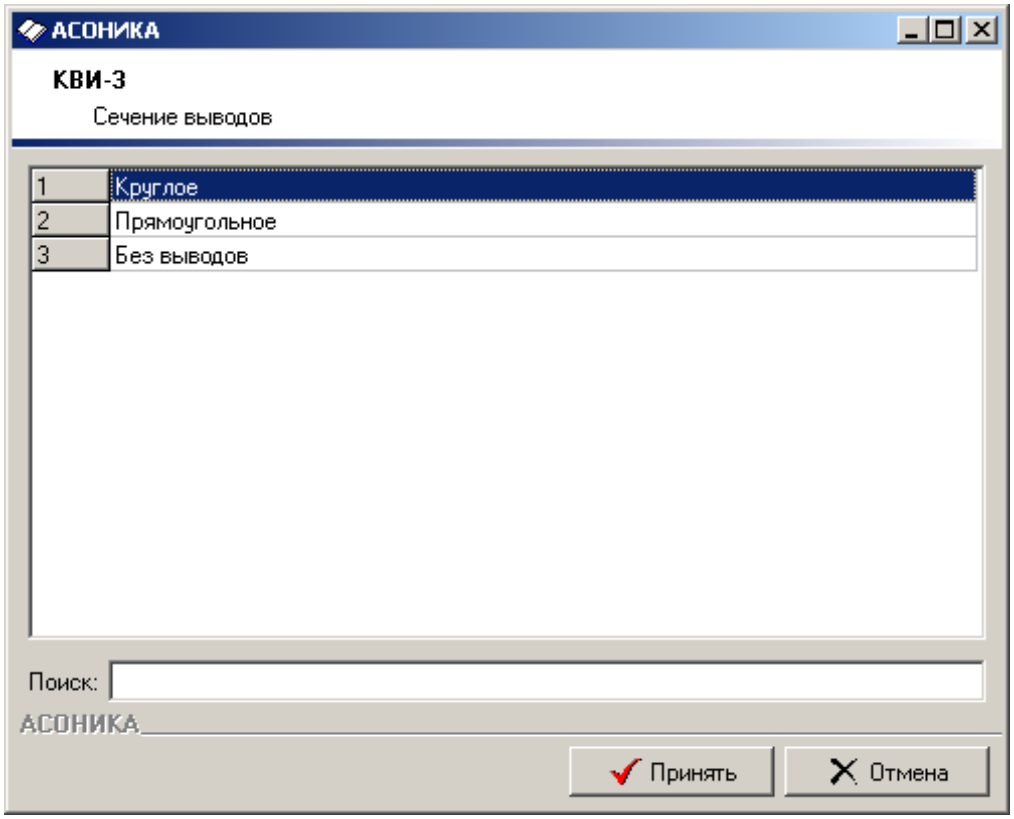


Рис. П.1.25. Выбор формы сечения выводов

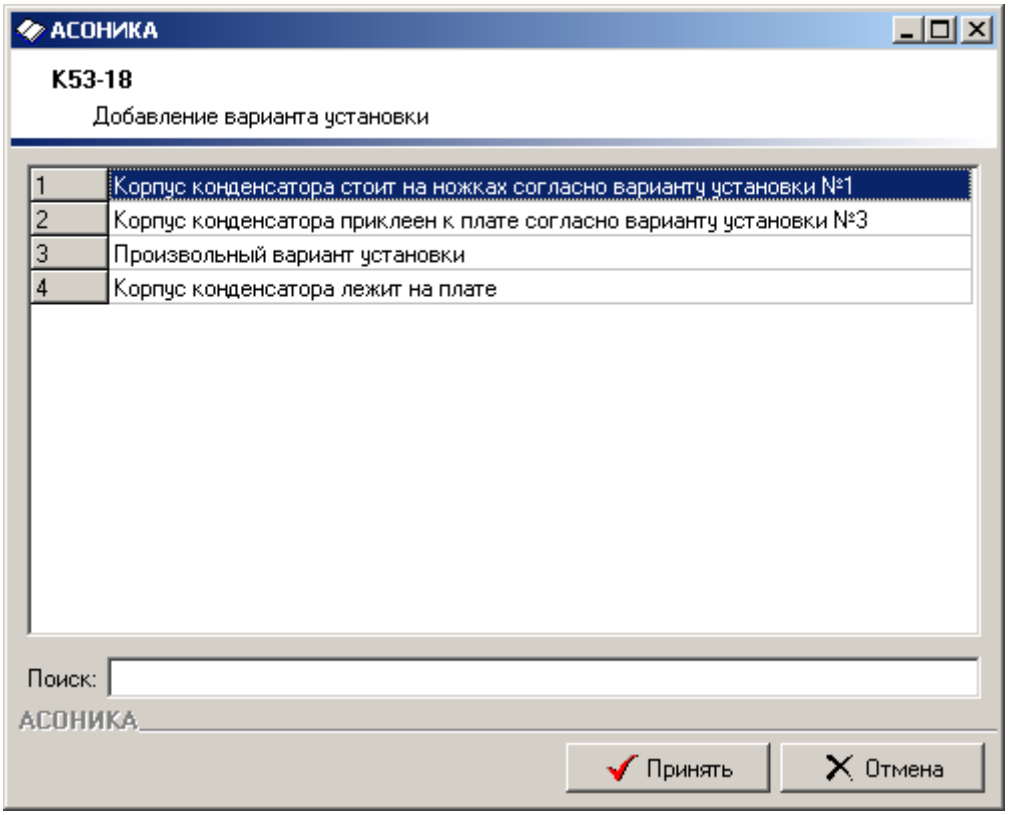


Рис. П.1.26. Добавление возможного варианта установки

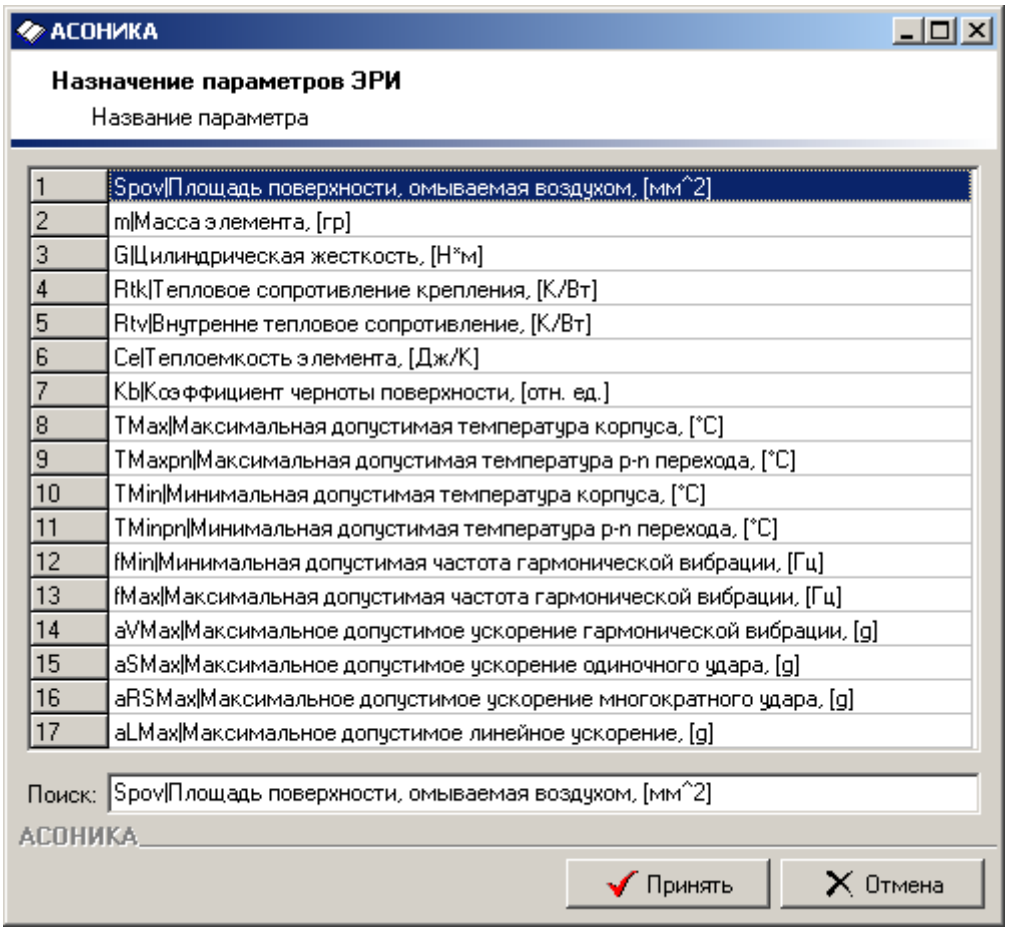


Рис. П.1.27. Выбор задаваемого параметра

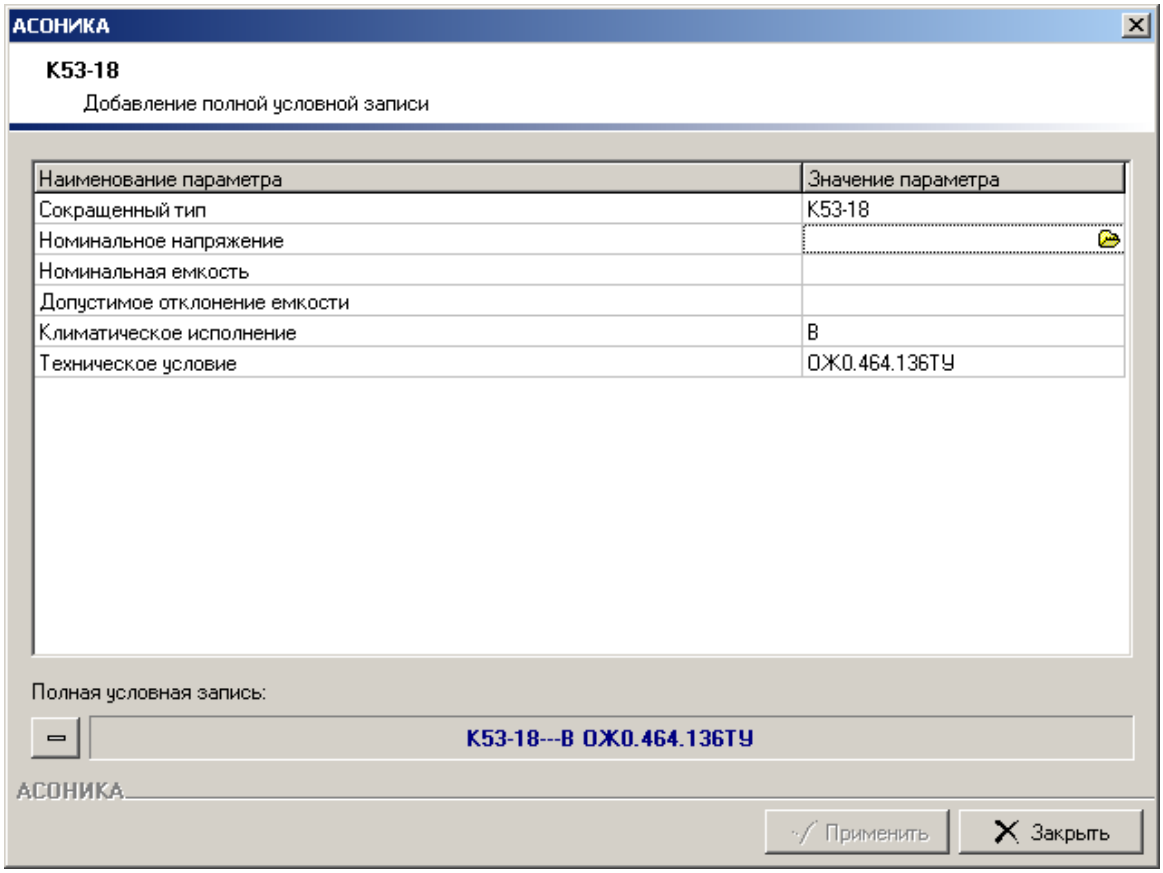


Рис. П.1.28. Добавление возможного варианта установки

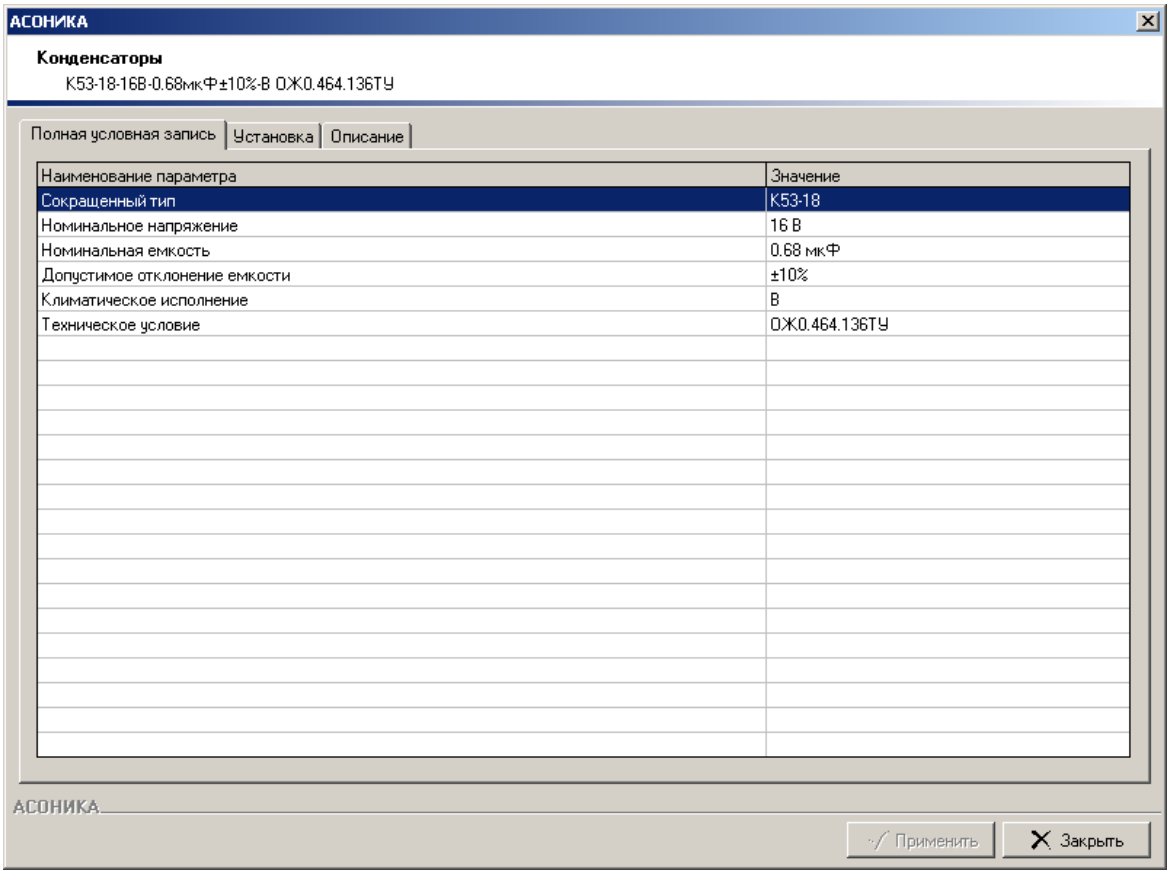


Рис. П.1.29. Список параметров полной условной записи

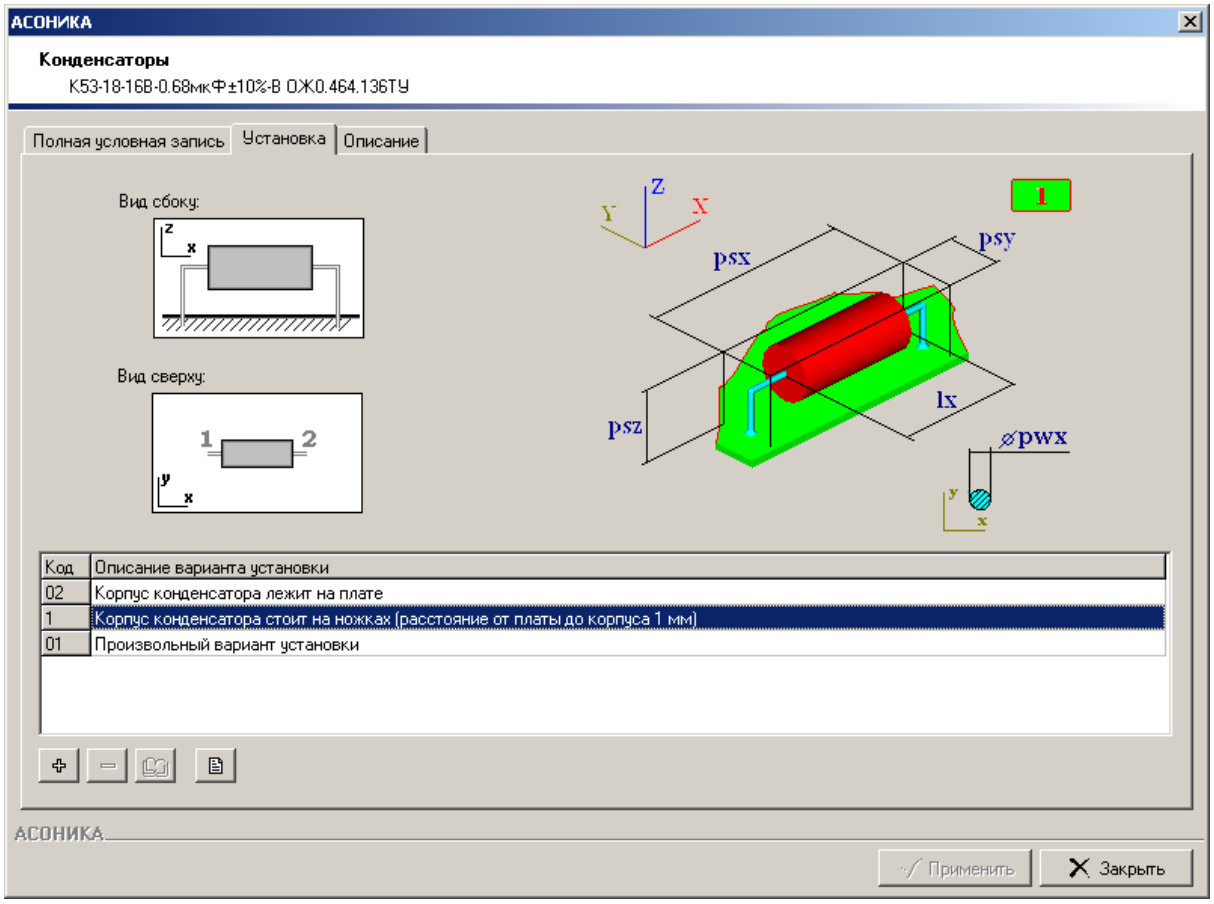


Рис. П.1.30. Варианты установки полной условной записи

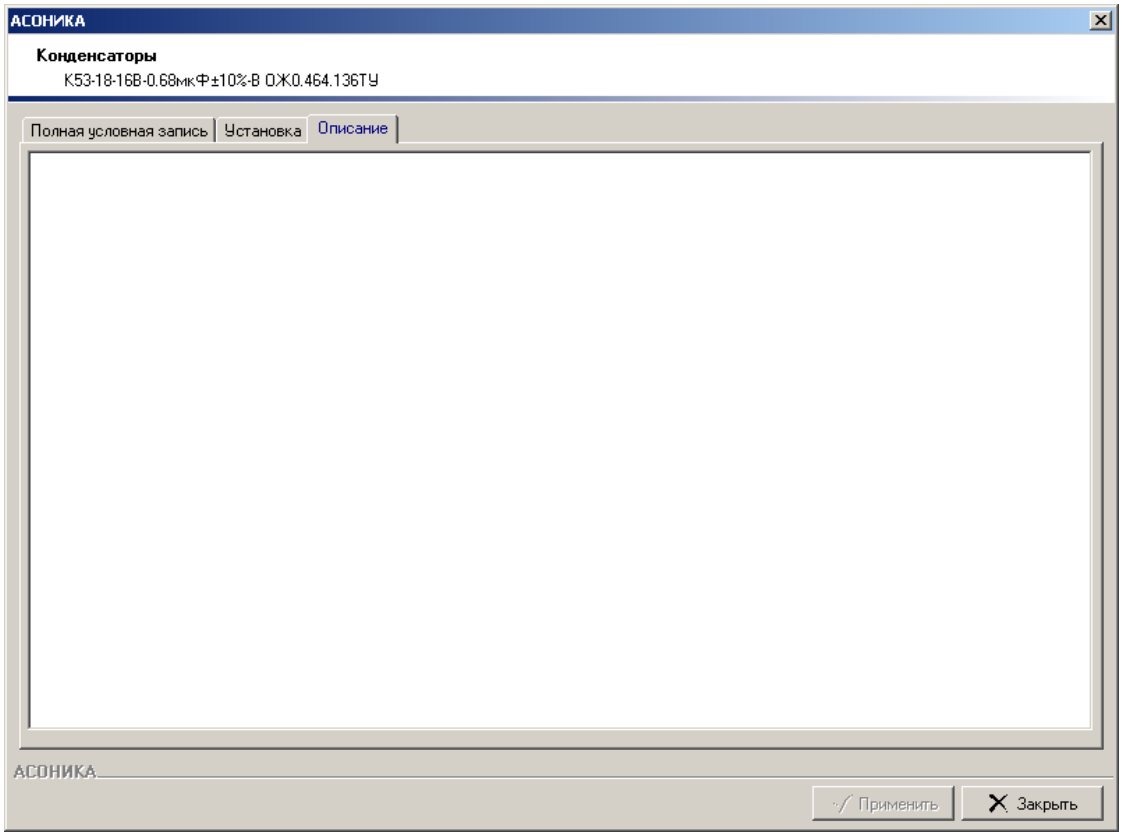


Рис. П.1.31. Описание полной условной записи

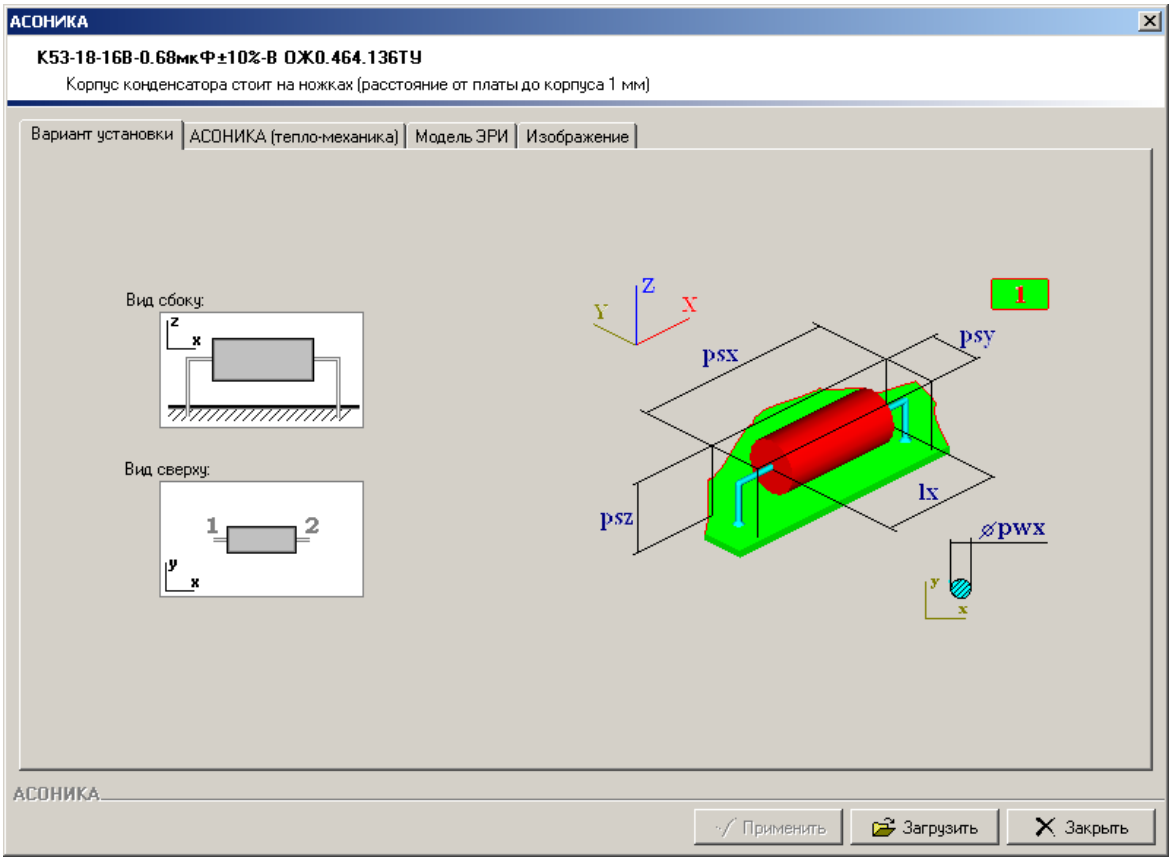


Рис. П.1.32. Изображение варианта установки полной условной записи

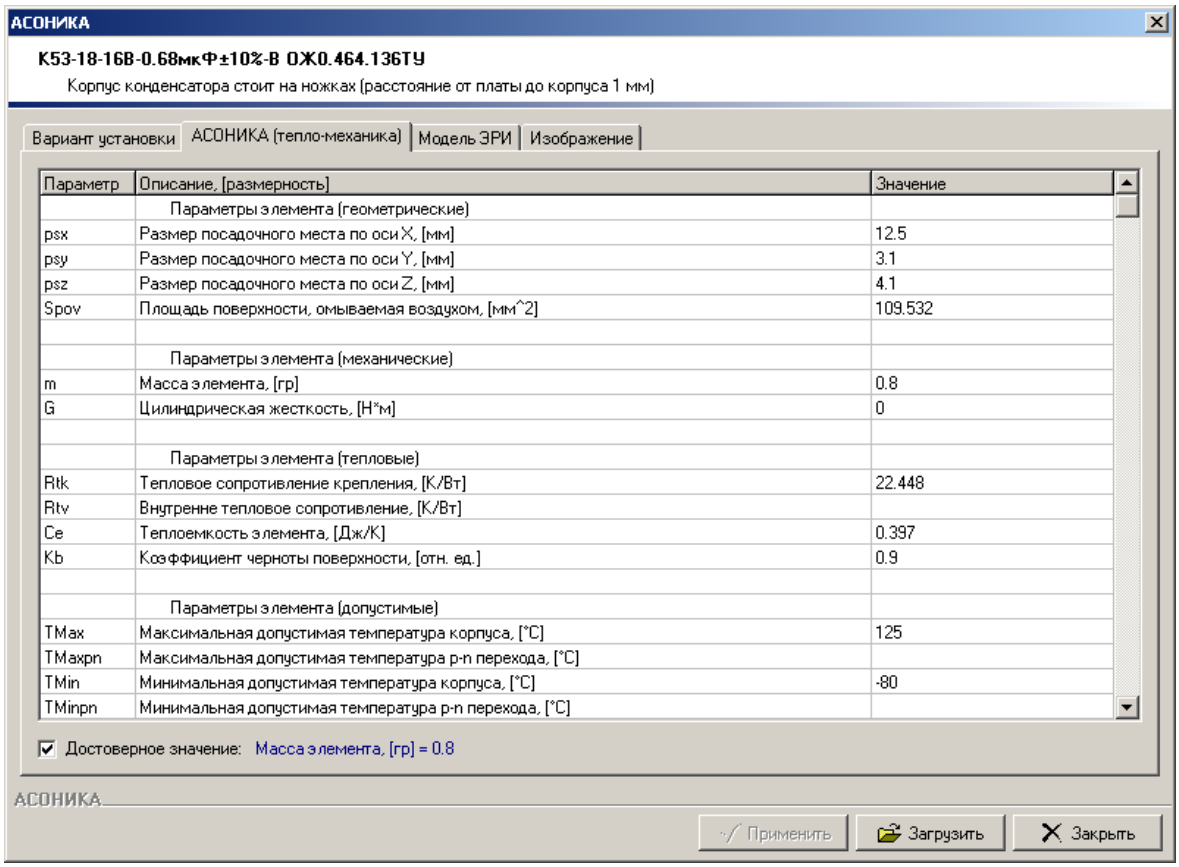


Рис. П.1.33. Геометрические, тепломеханические и допустимые параметры ЭРИ

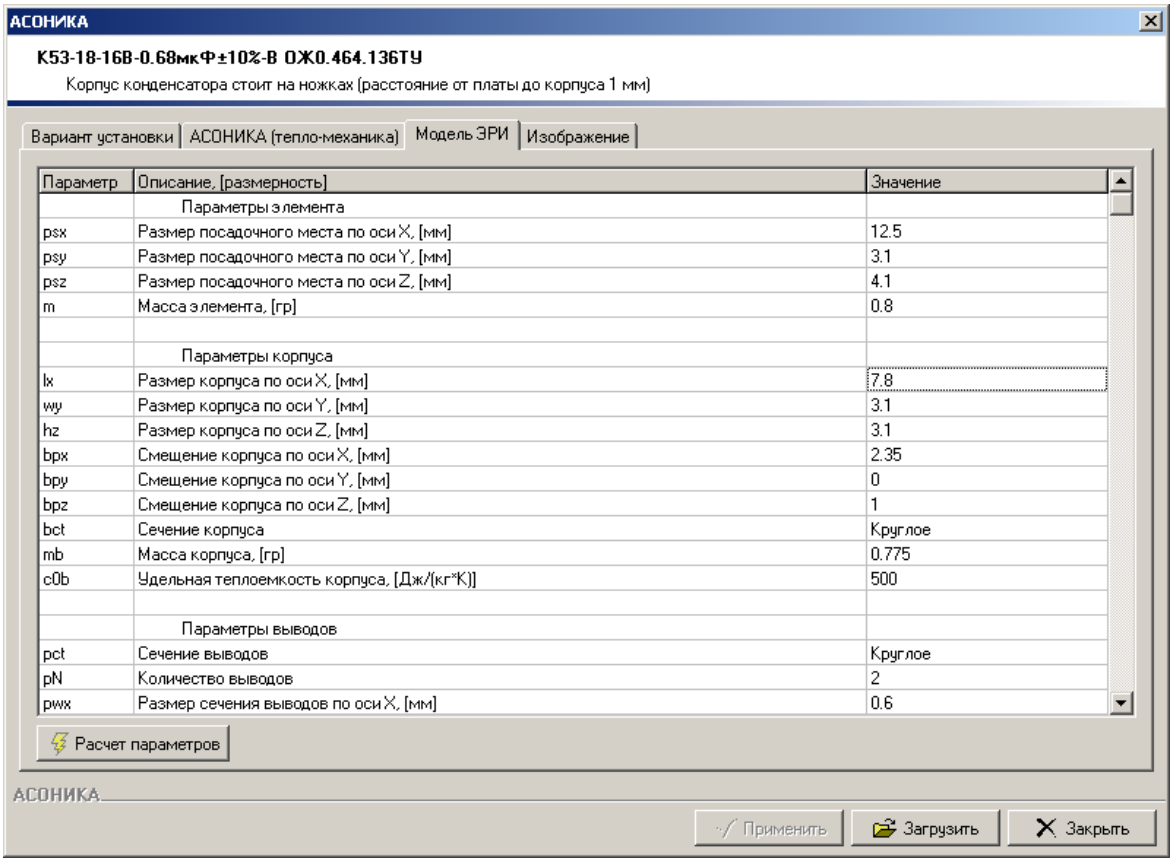


Рис. П.1.34. Параметры модели варианта установки

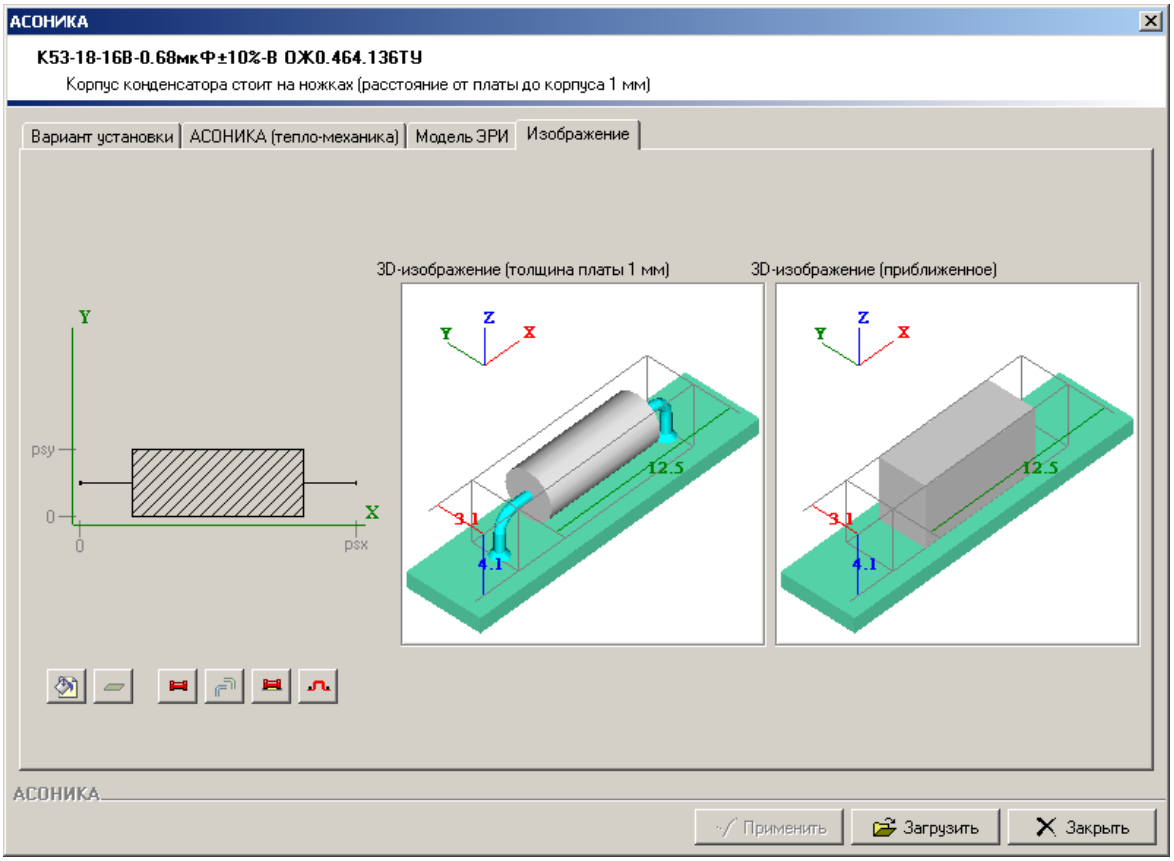


Рис. П.1.35. Изображение ЭРИ на плоскости и в пространстве

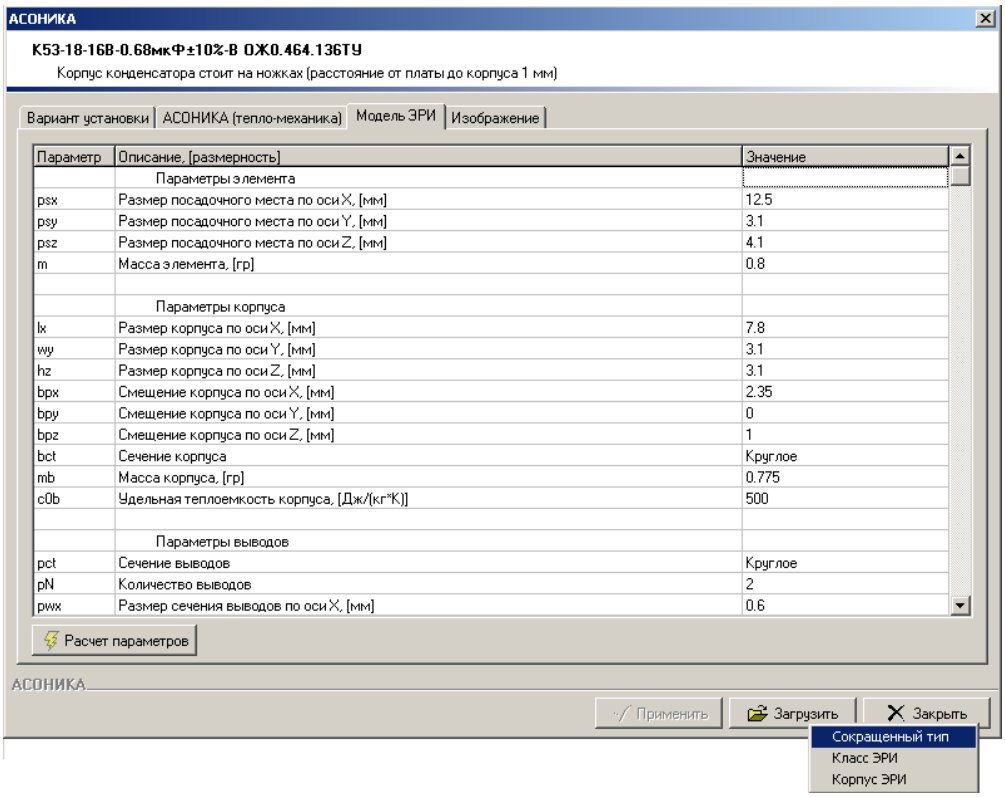


Рис. П.1.36. Импорт значений параметров ЭРИ

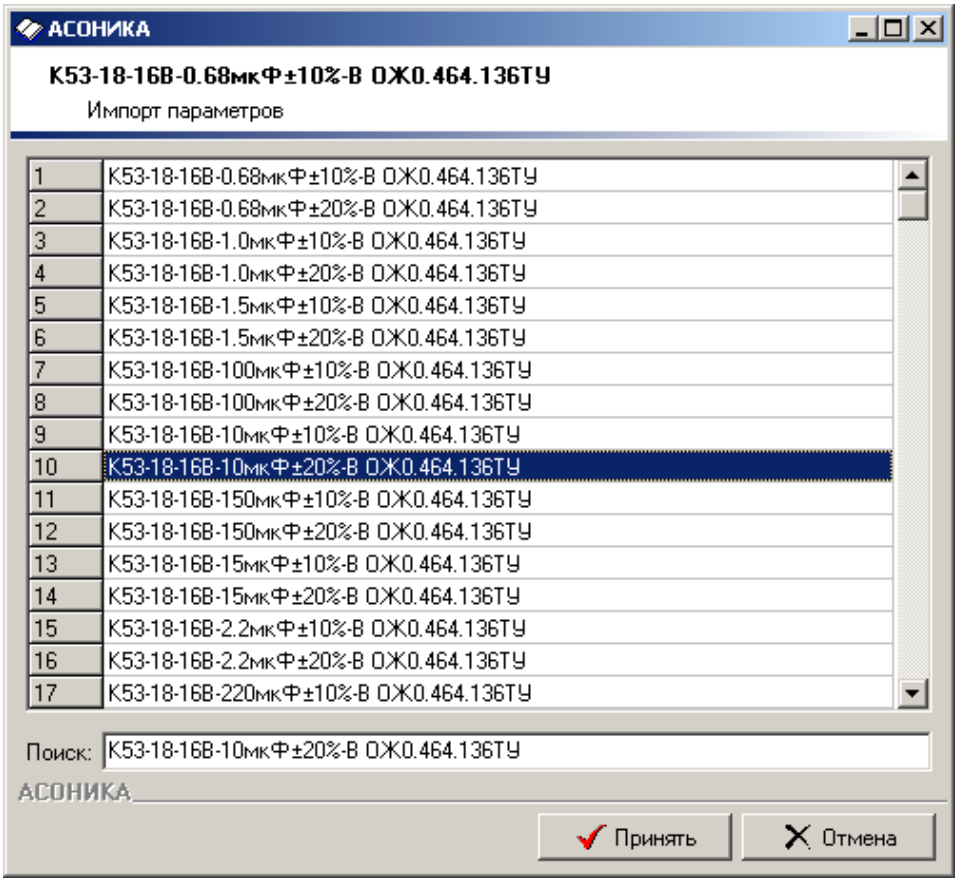


Рис. П.1.37. Импорт значений параметров ЭРИ –
выбор полной условной записи

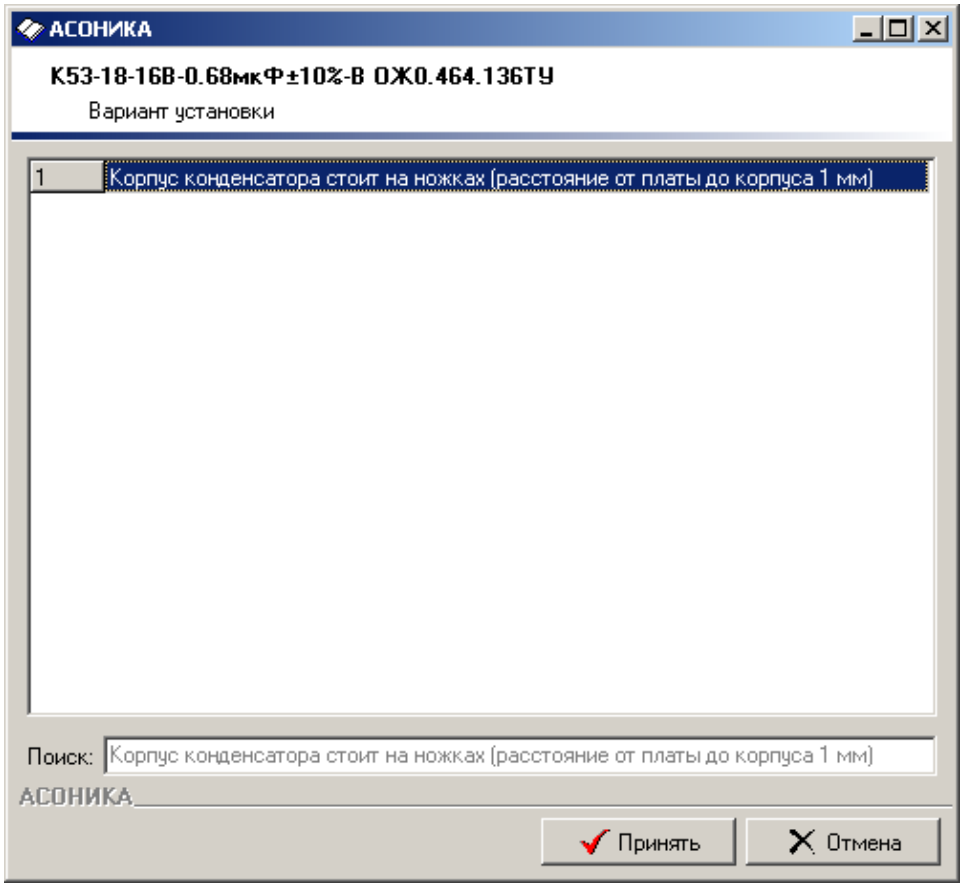


Рис. П.1.38. Импорт значений параметров ЭРИ – выбор варианта установки

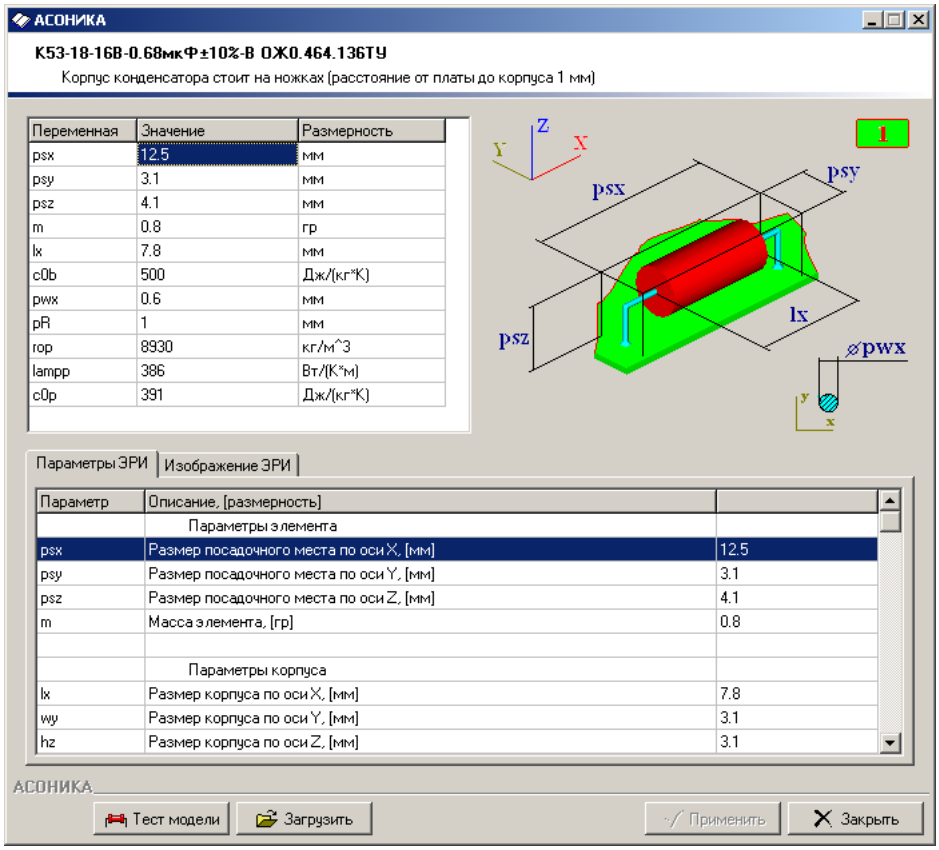


Рис. П.1.39. Расчет параметров ЭРИ

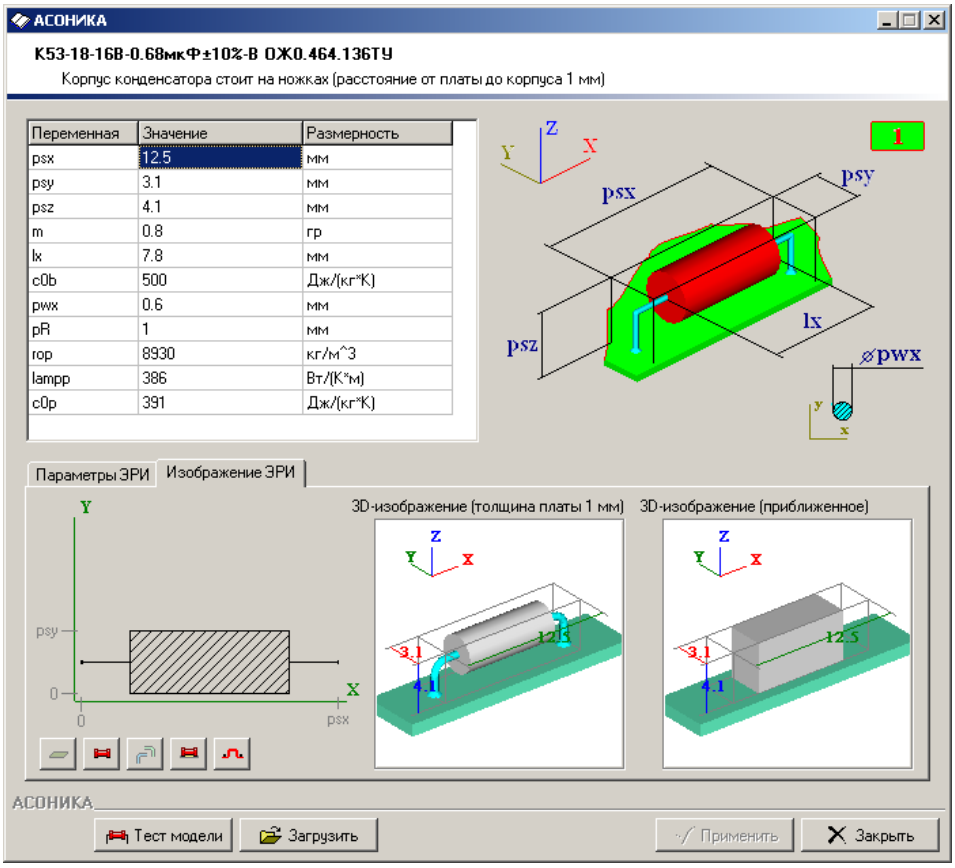


Рис. П.1.40. Сформированное изображение ЭРИ

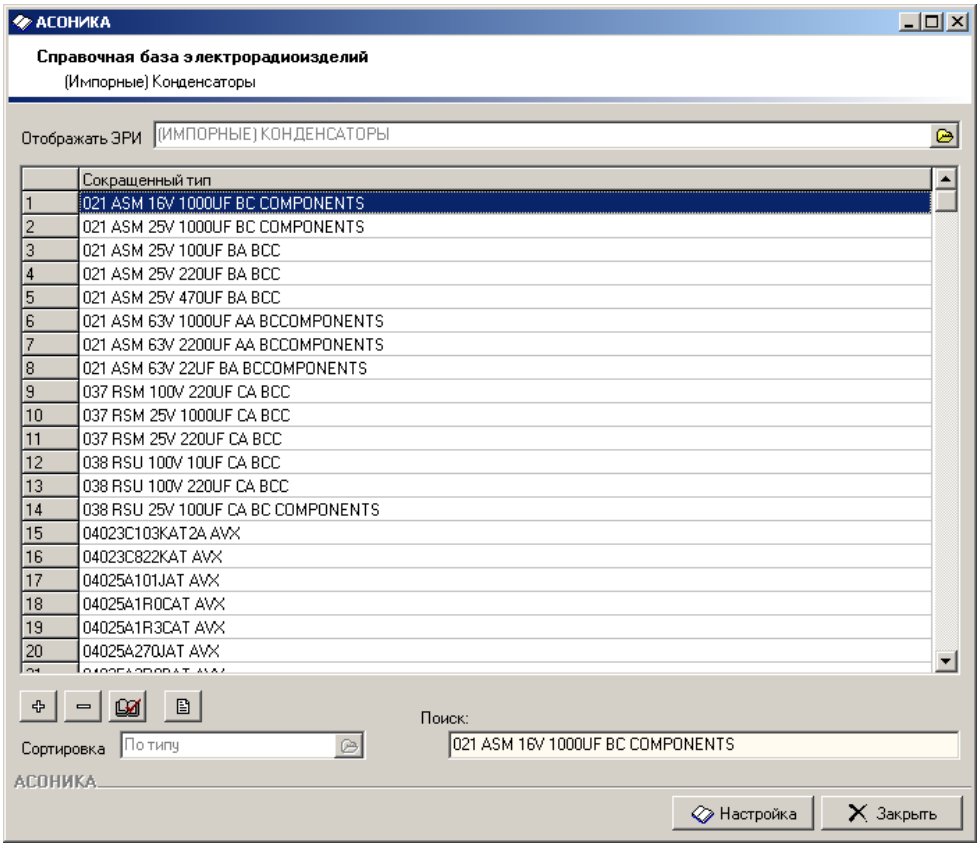


Рис. П.1.41. Список импортных ЭРИ

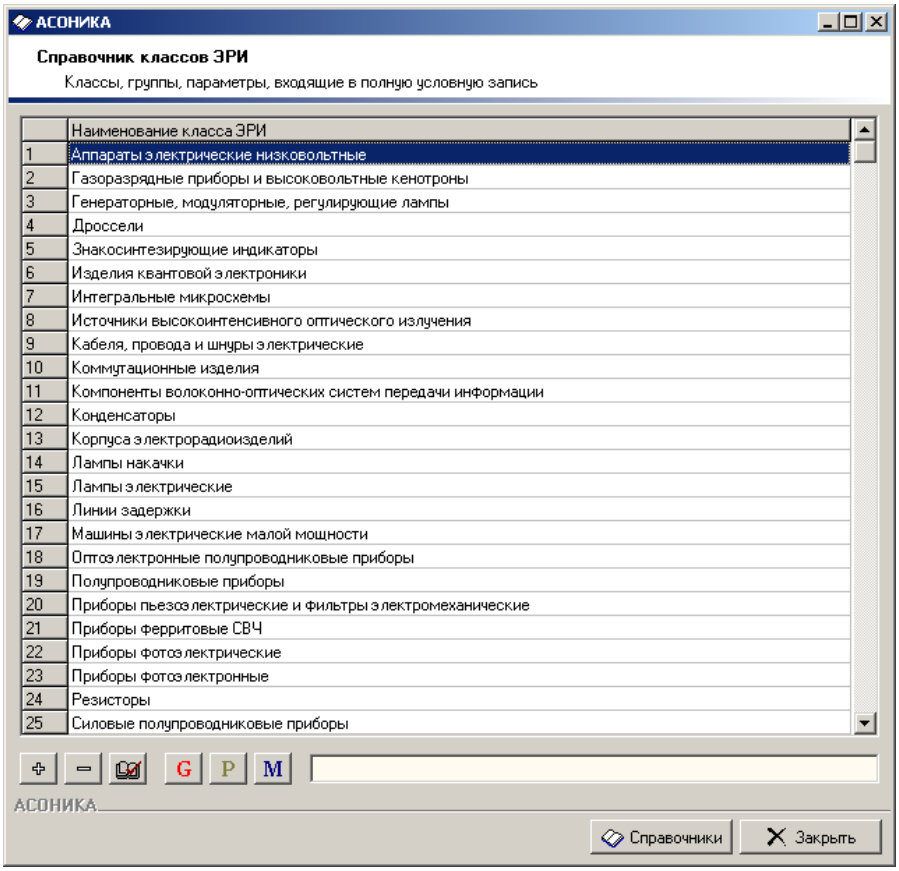


Рис. П.1.42. Классы ЭРИ

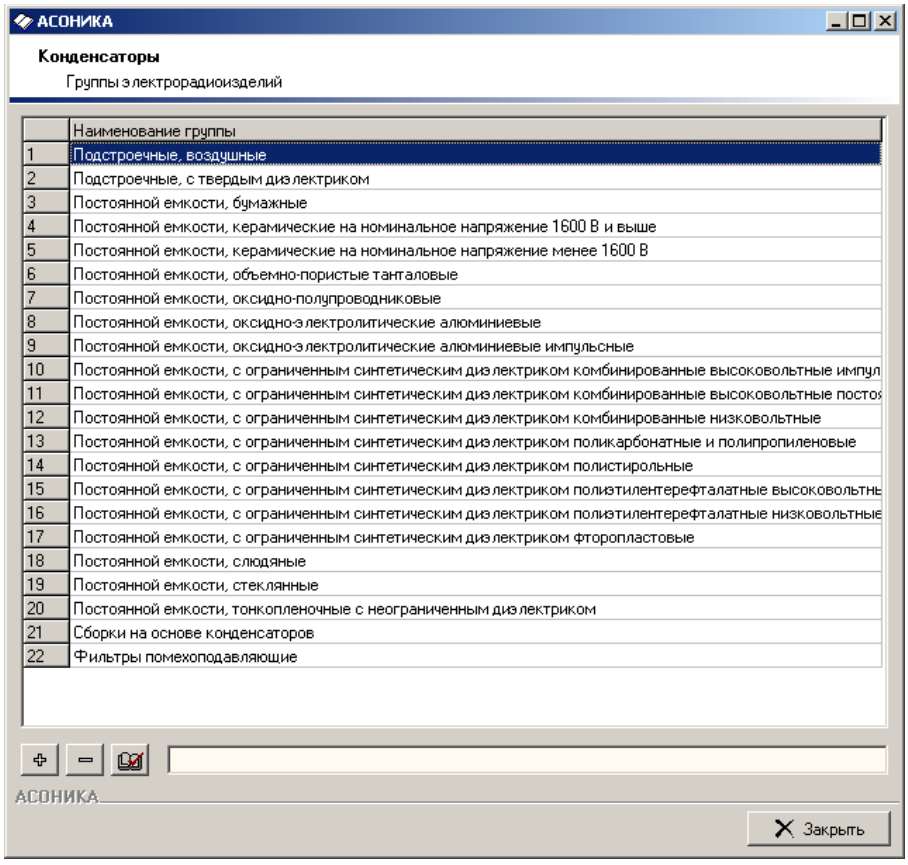


Рис. П.1.43. Группы ЭРИ

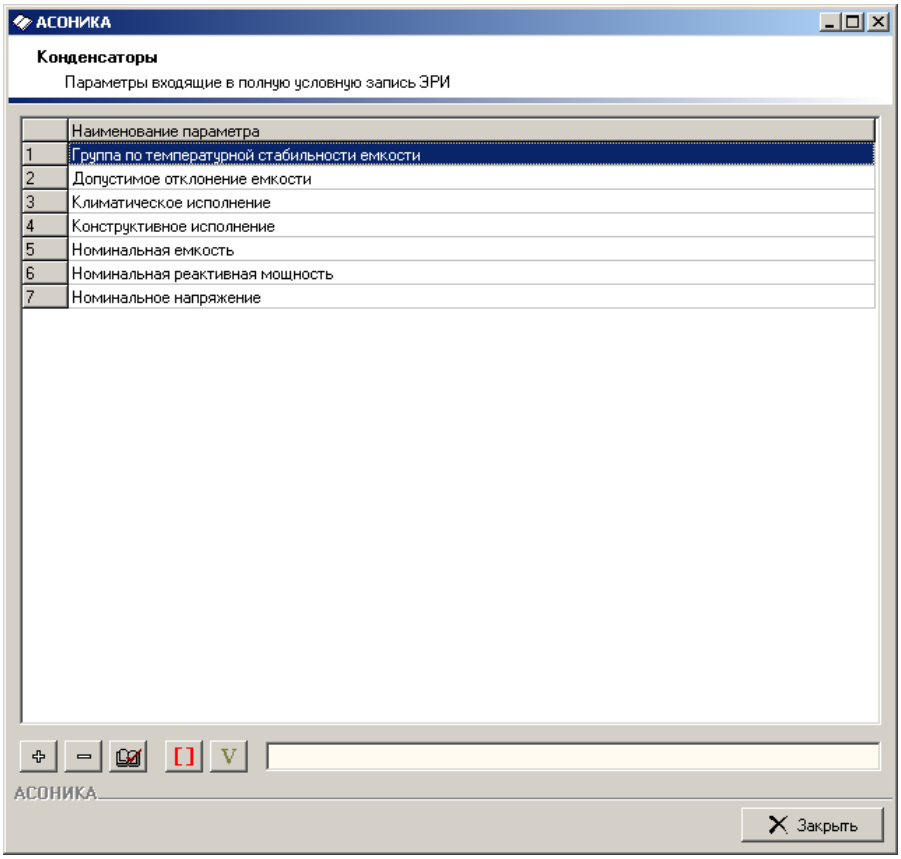


Рис. П.1.44. Параметры, входящие в полную условную запись

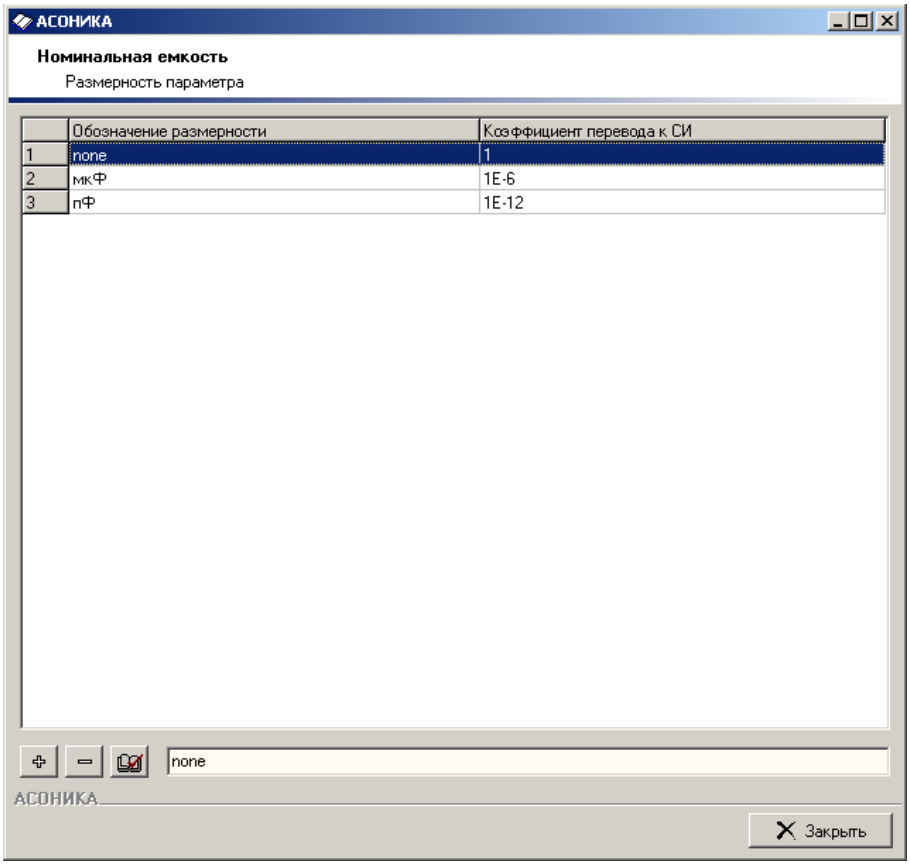


Рис. П.1.45. Размерности возможных значений параметра полной условной записи

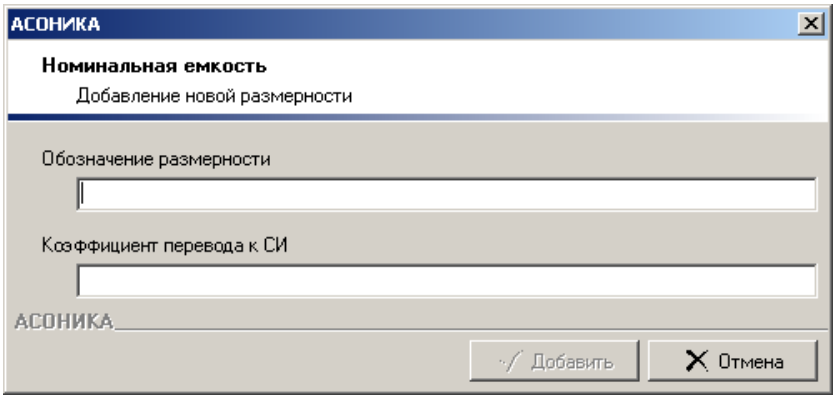


Рис. П.1.46. Добавление размерности значения параметра

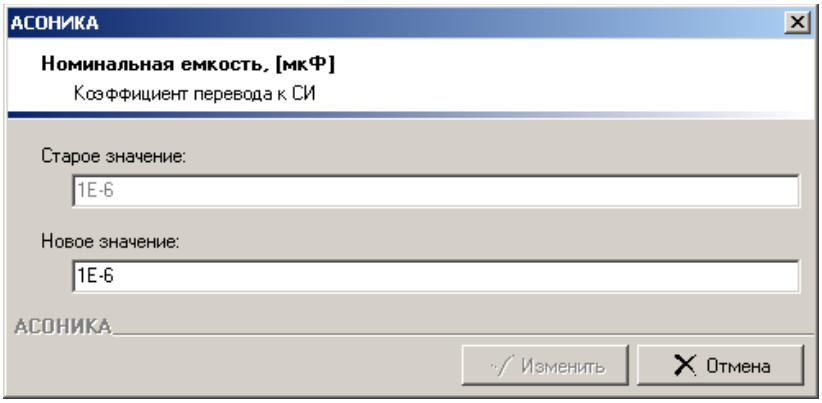


Рис. П.1.47. Изменение наименования параметра

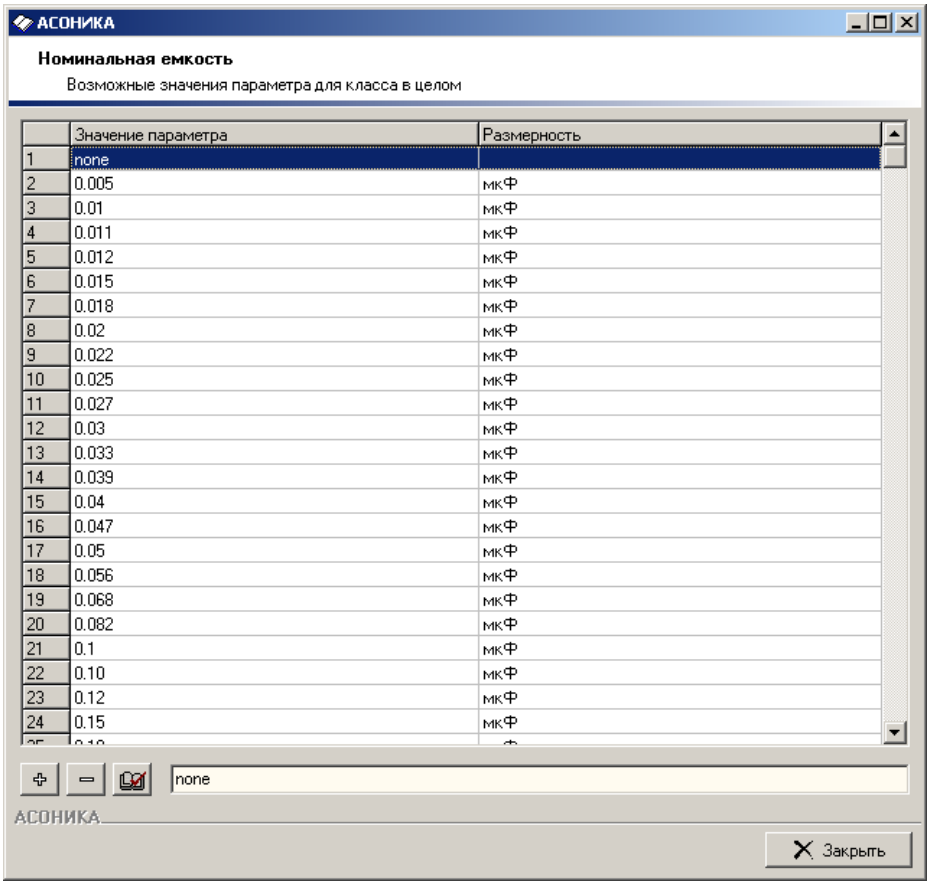


Рис. П.1.48. Возможные значения параметра полной условной записи

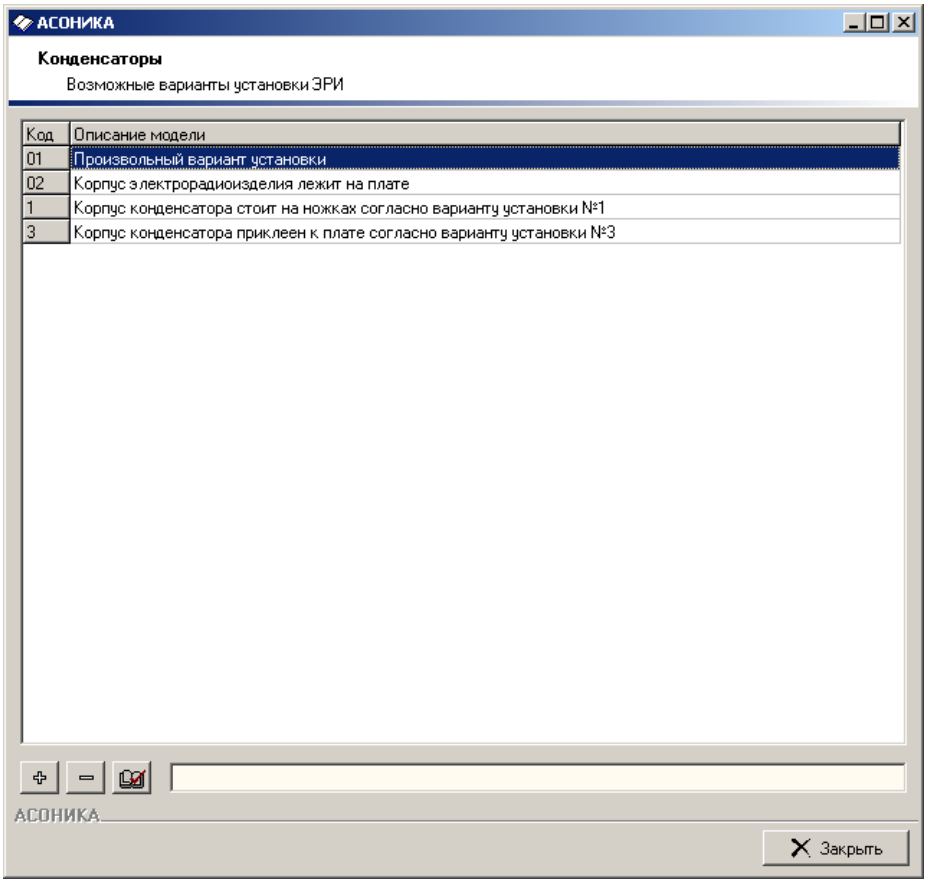


Рис. П.1.49. Возможные варианты установки ЭРИ

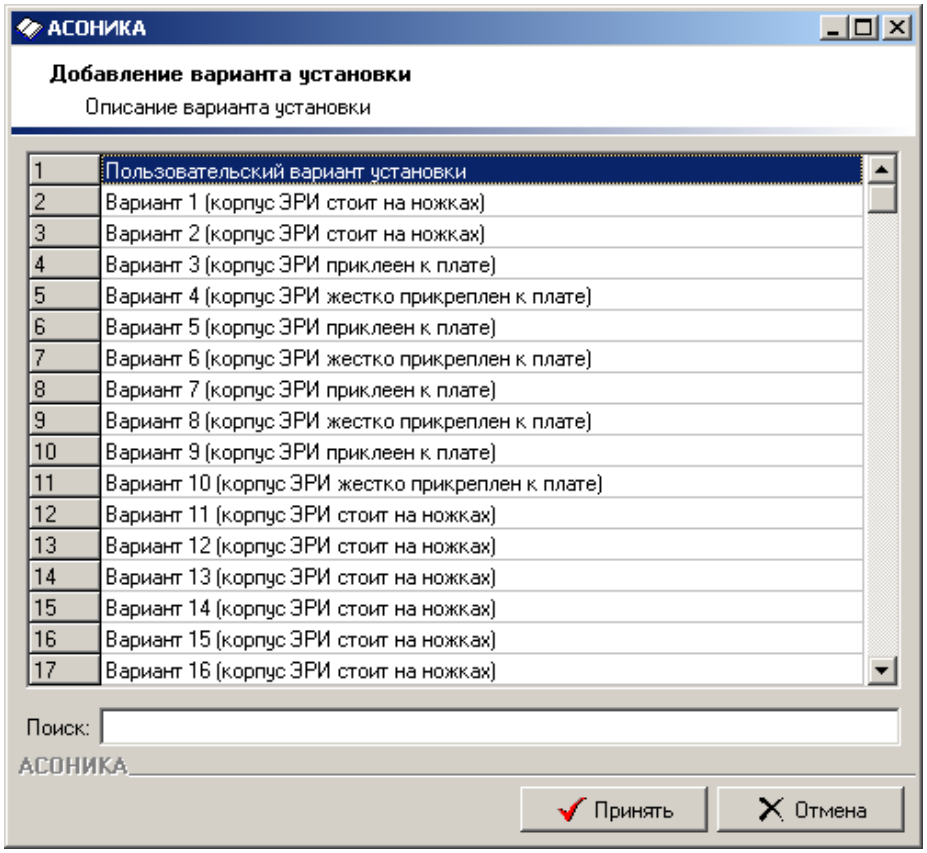


Рис. П.1.50. Добавление нового возможного варианта установки

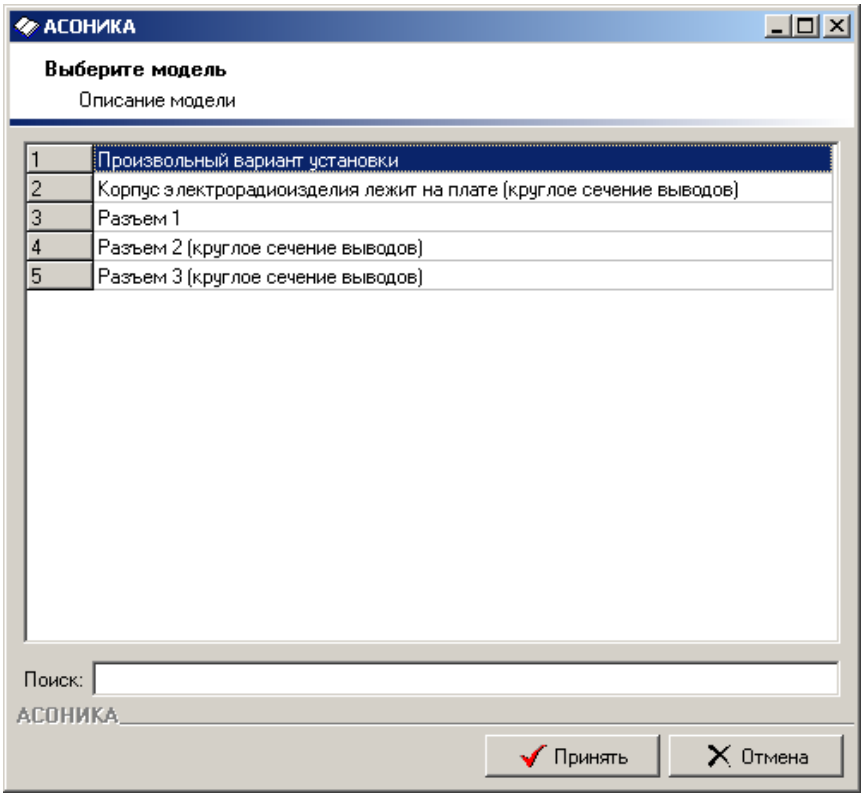


Рис. П.1.51. Выбор модели пользовательского варианта установки

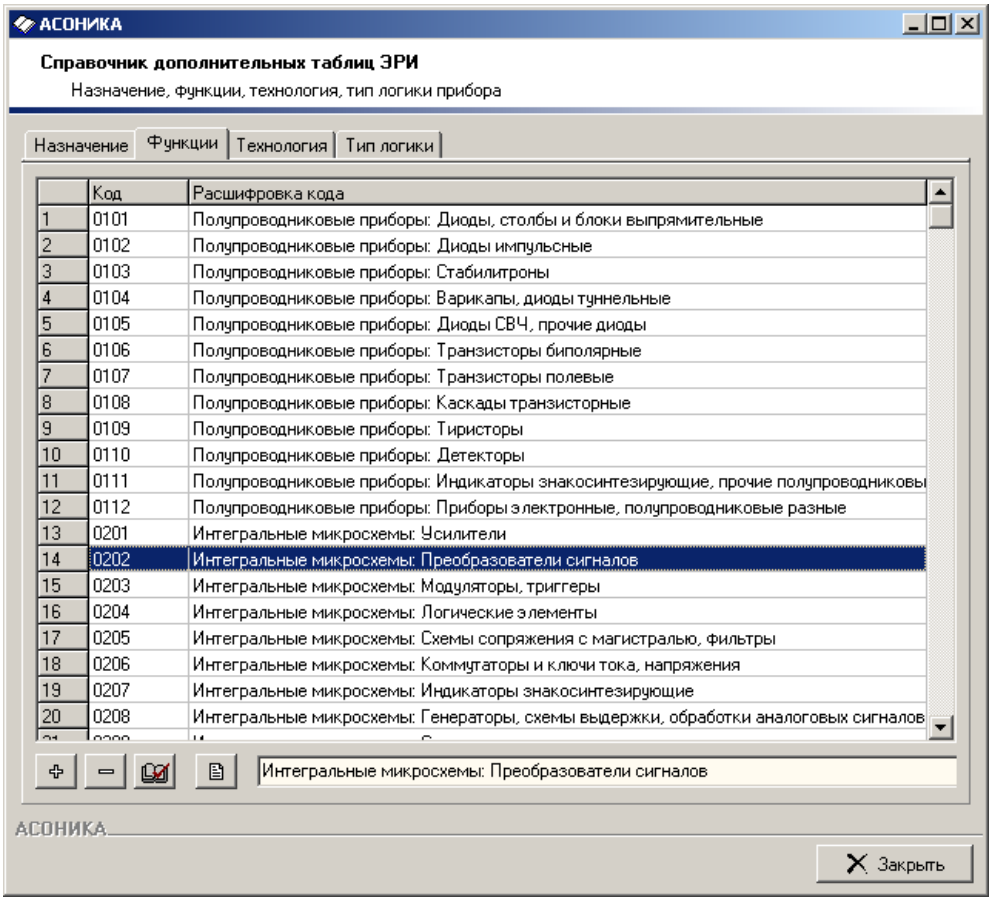


Рис. П.1.52. Справочники назначения, функций,
технологии и типов логики ЭРИ

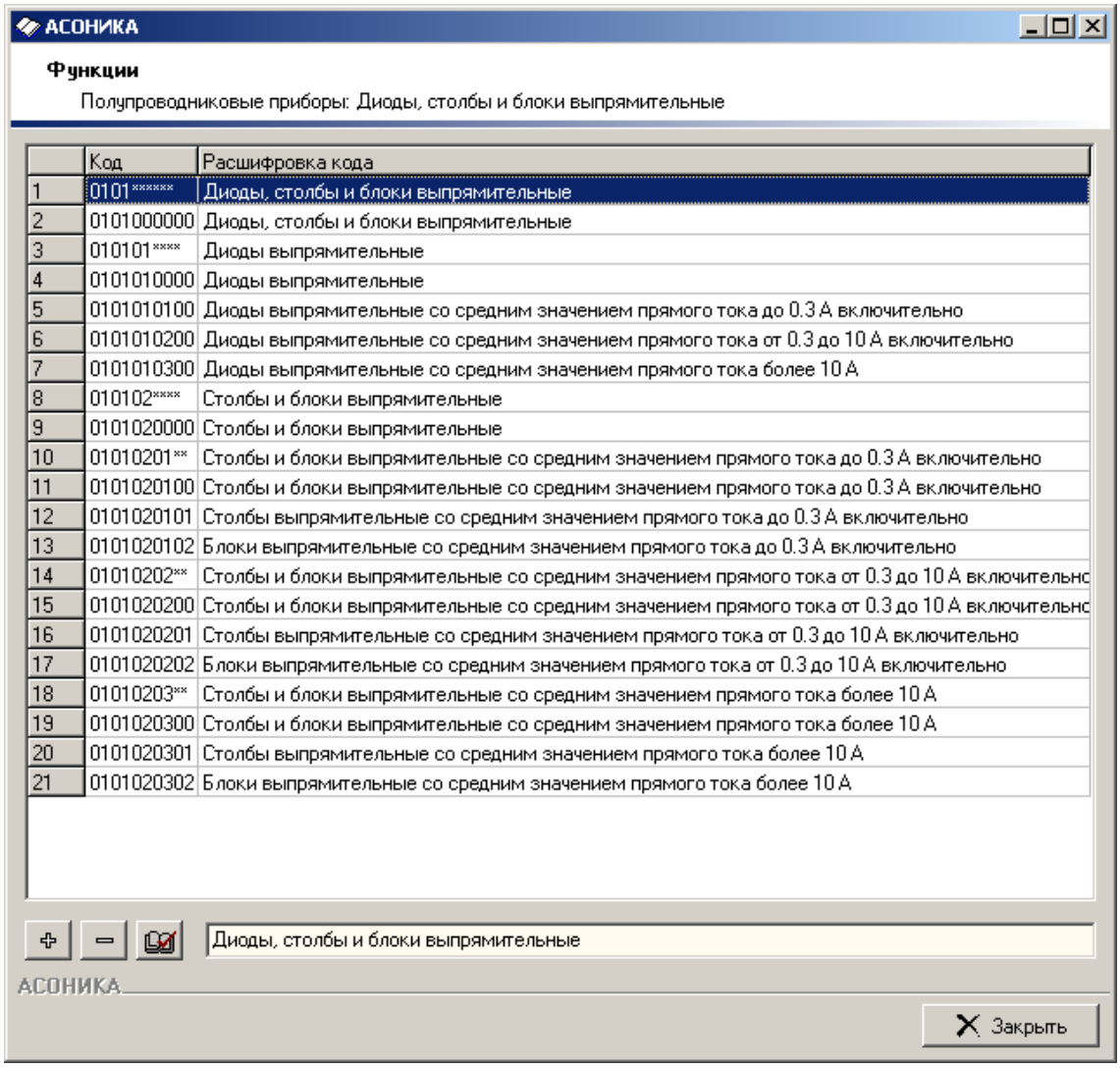


Рис. П.1.53. Справочник

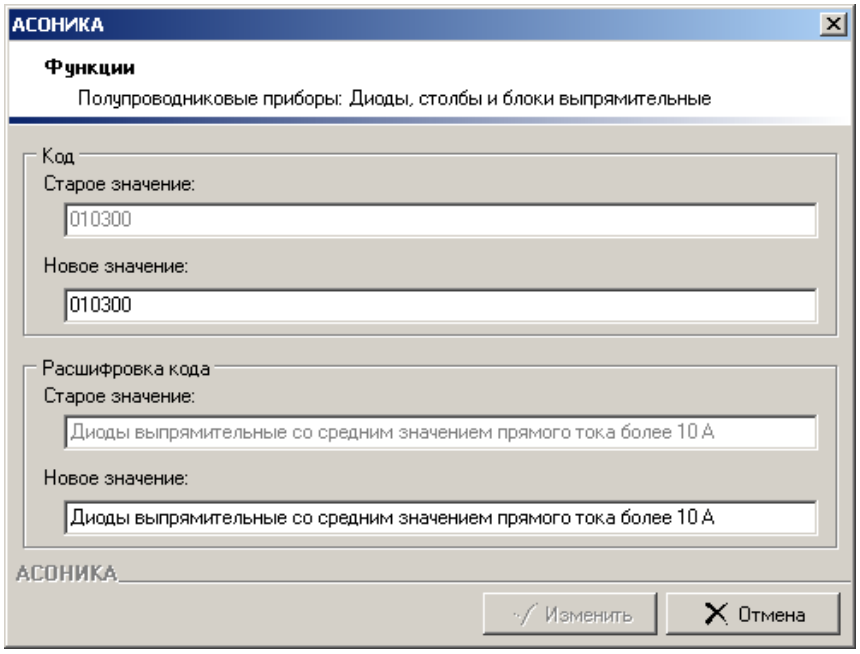


Рис. П.1.54. Изменение кода и расшифровки

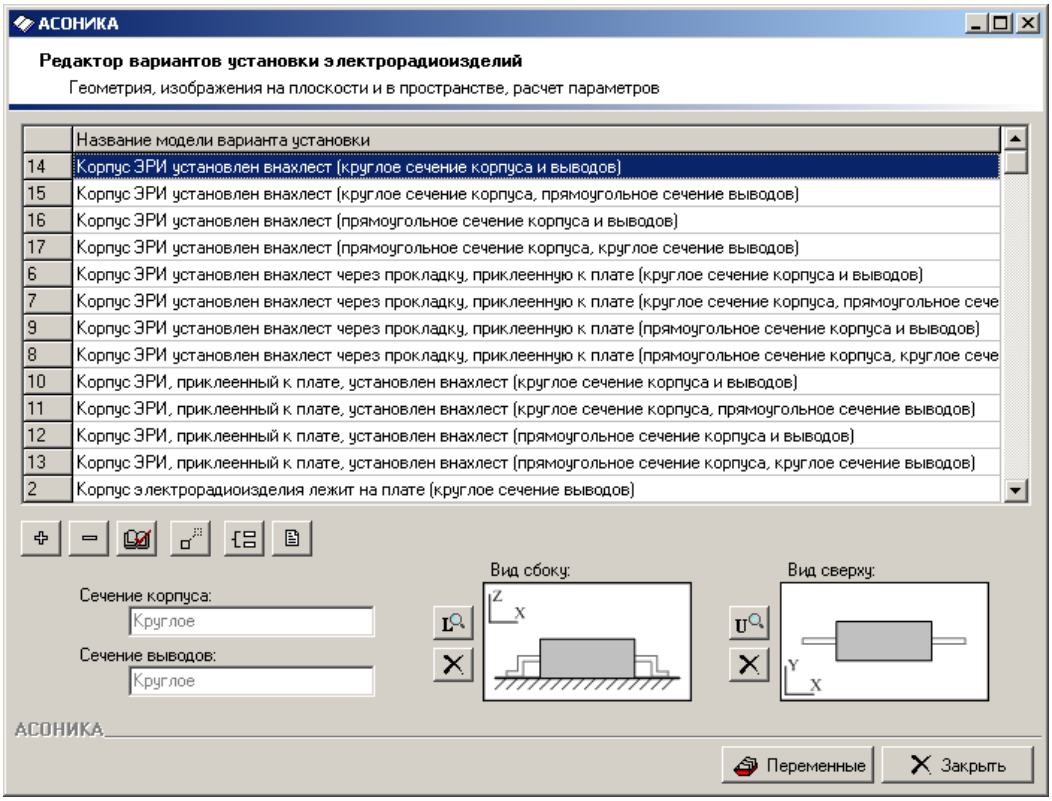


Рис. П.1.55. Модели вариантов установки ЭРИ

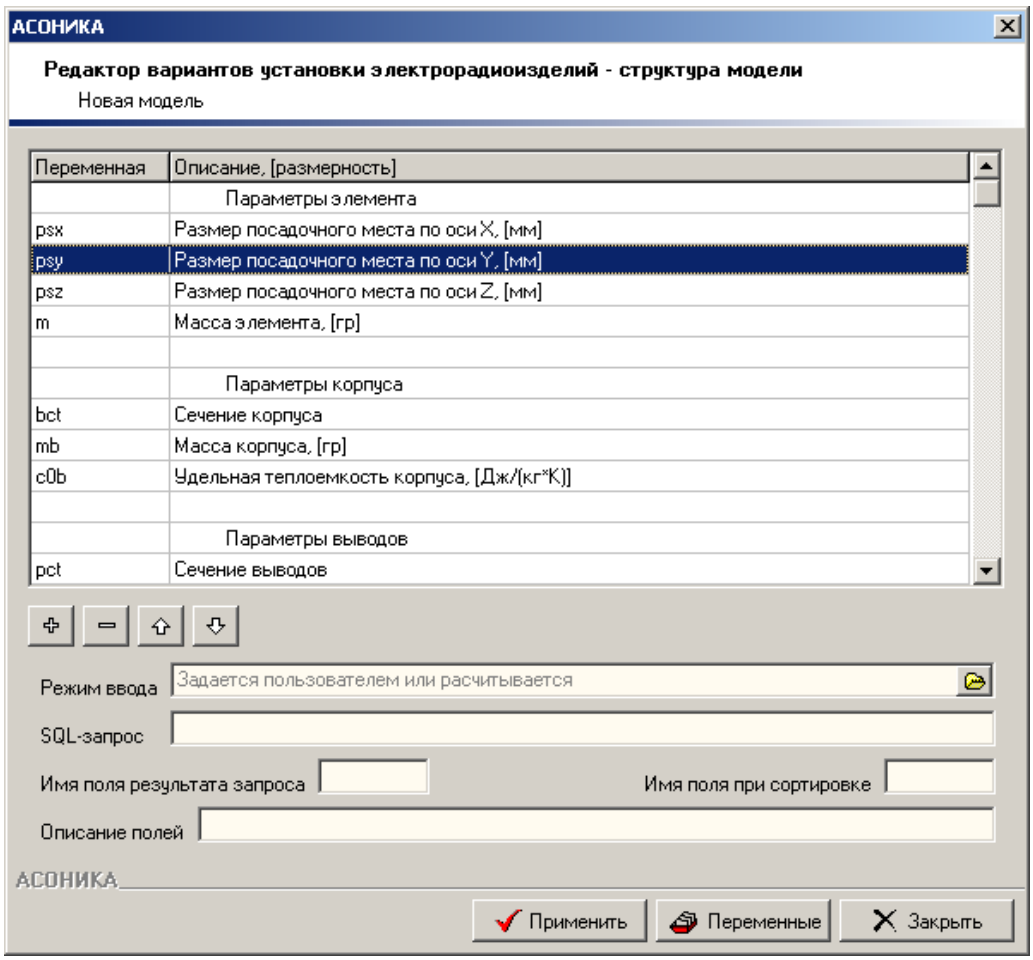


Рис. П.1.56. Структура модели варианта установки

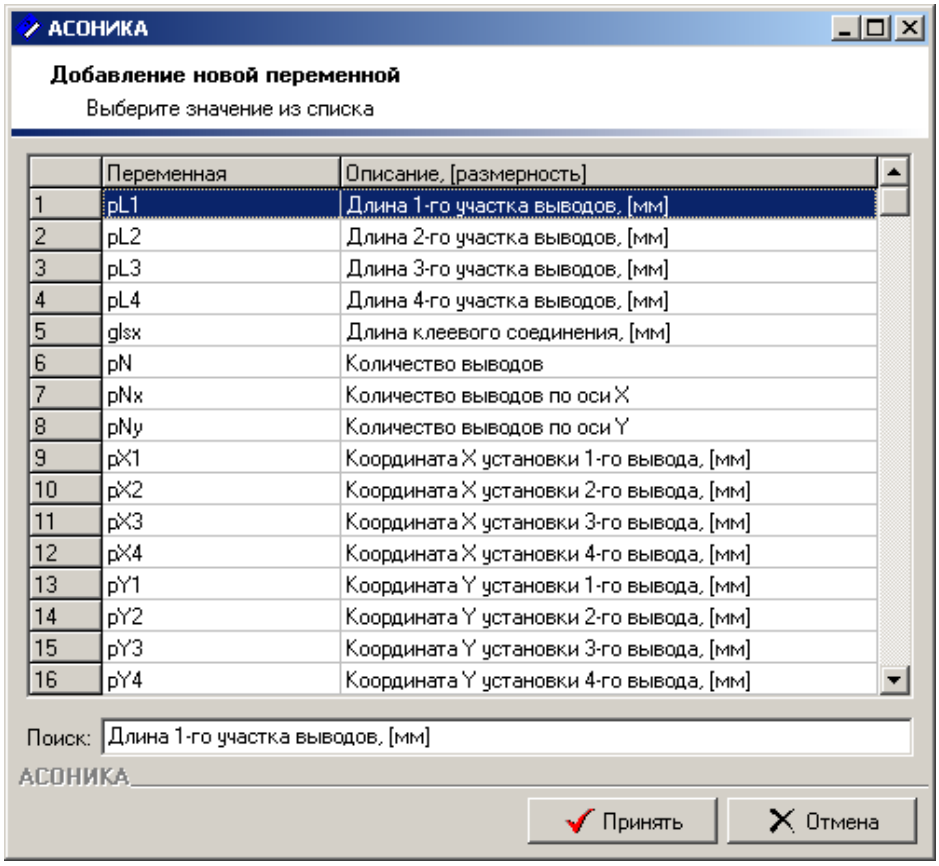


Рис. П.1.57. Выбор переменной

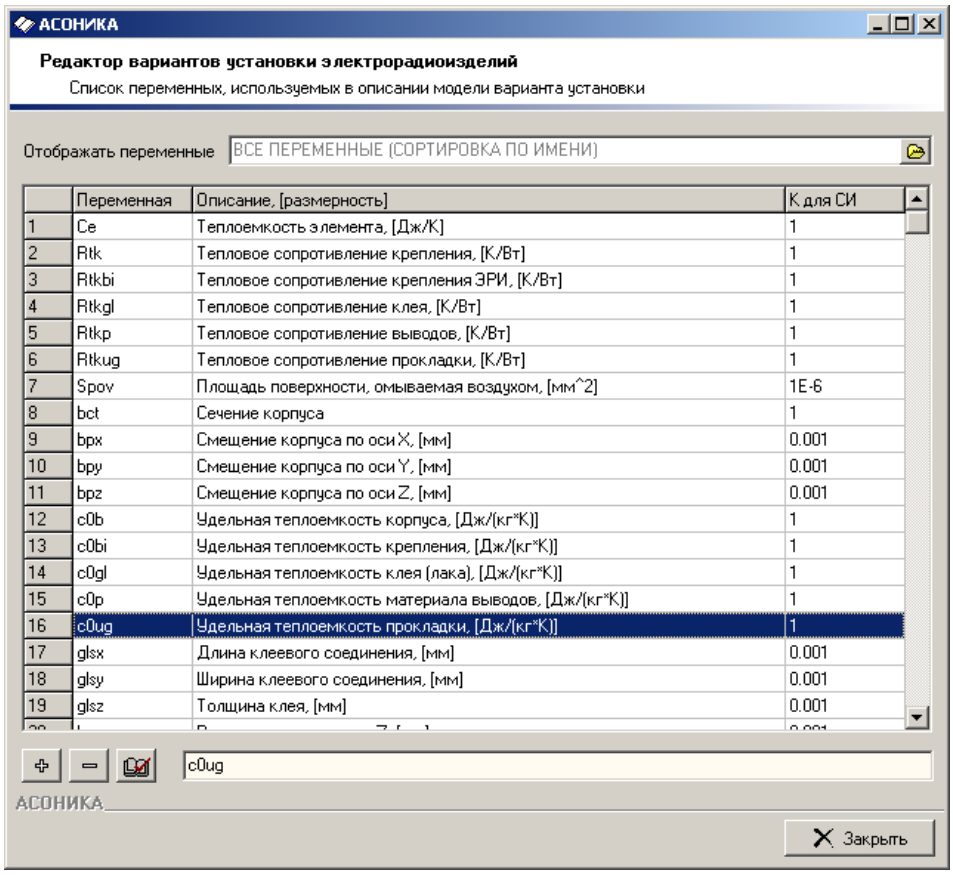


Рис. П.1.58. Список переменных

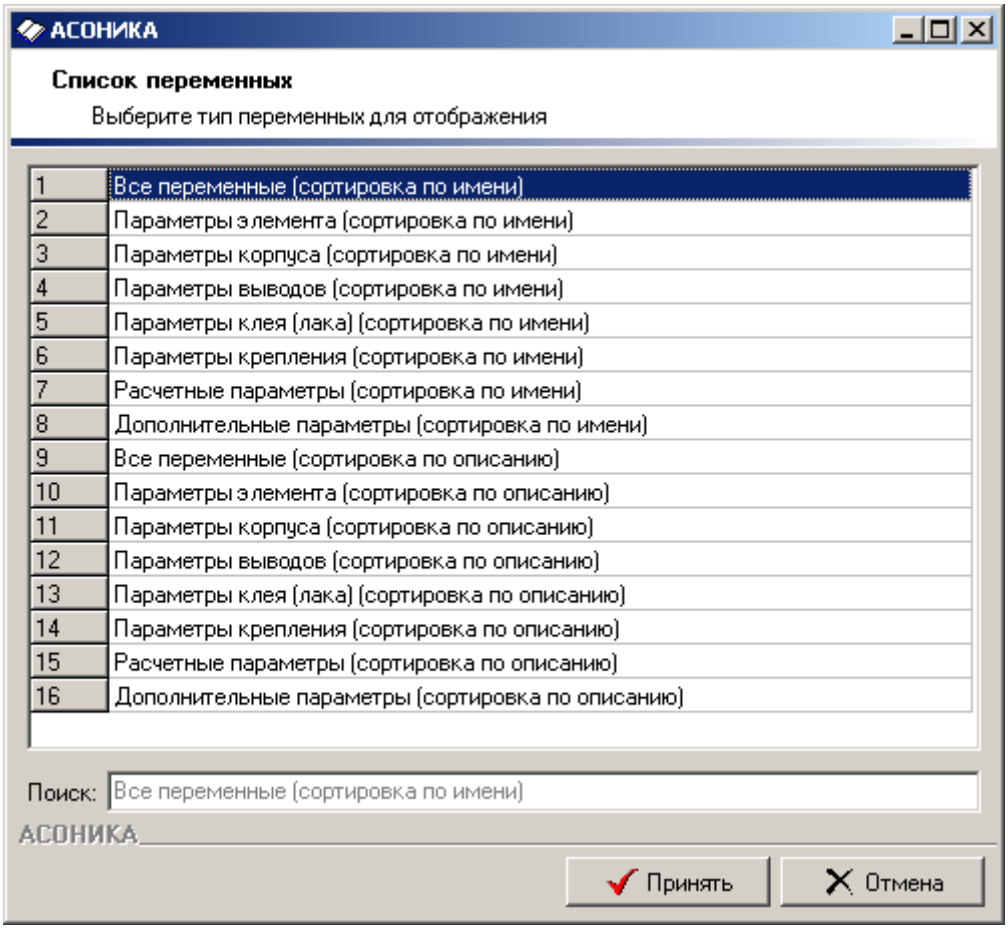


Рис. П.1.59. Выбор типа отображаемых переменных и варианта сортировки

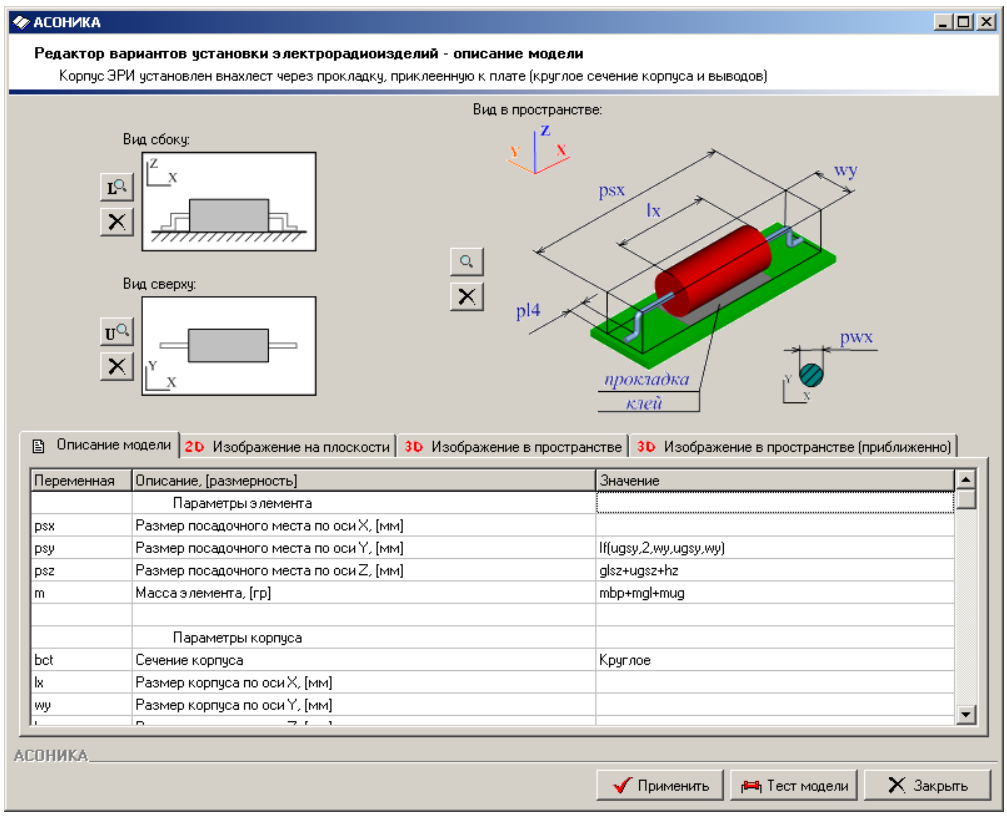


Рис. П.1.60. Описание модели

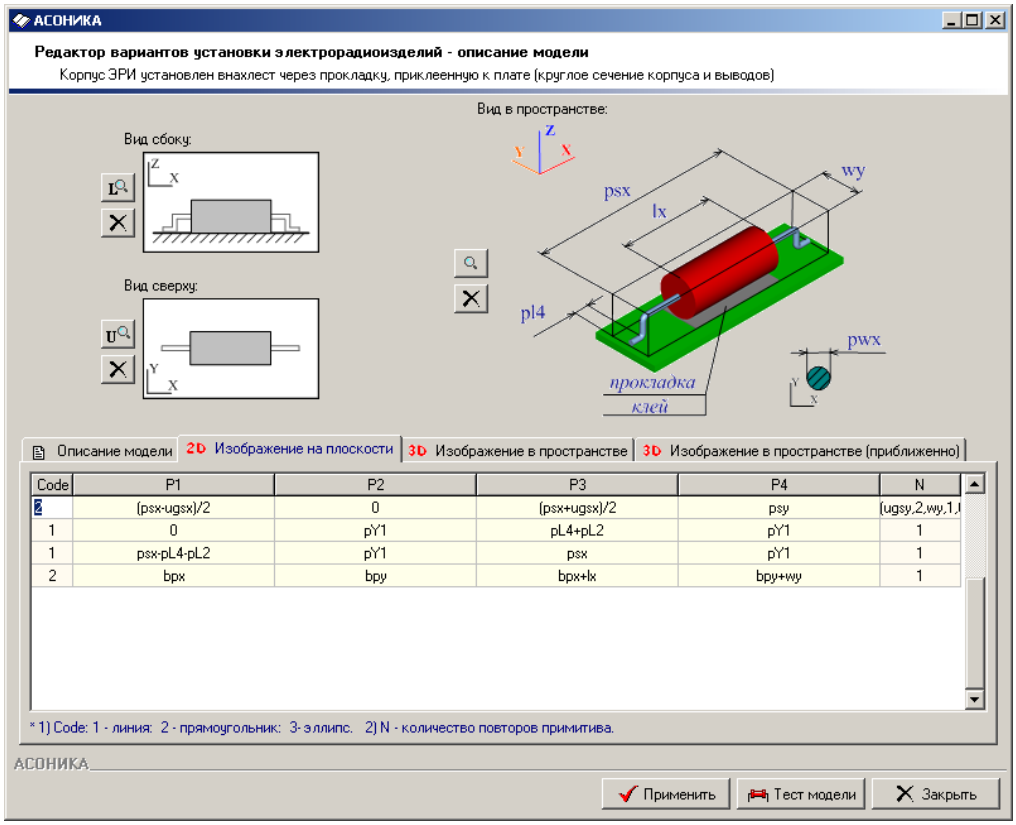


Рис. П.1.61. Описание формирования изображения варианта установки на плоскости

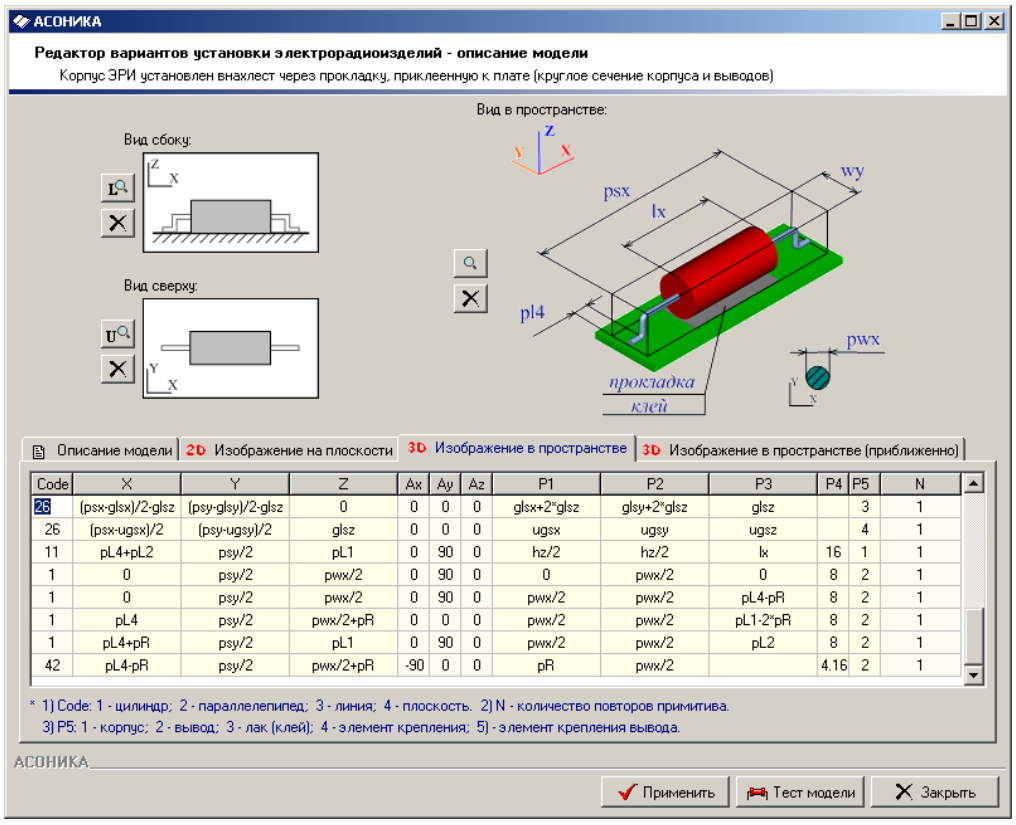


Рис. П.1.62. Описание формирования изображения варианта установки в пространстве

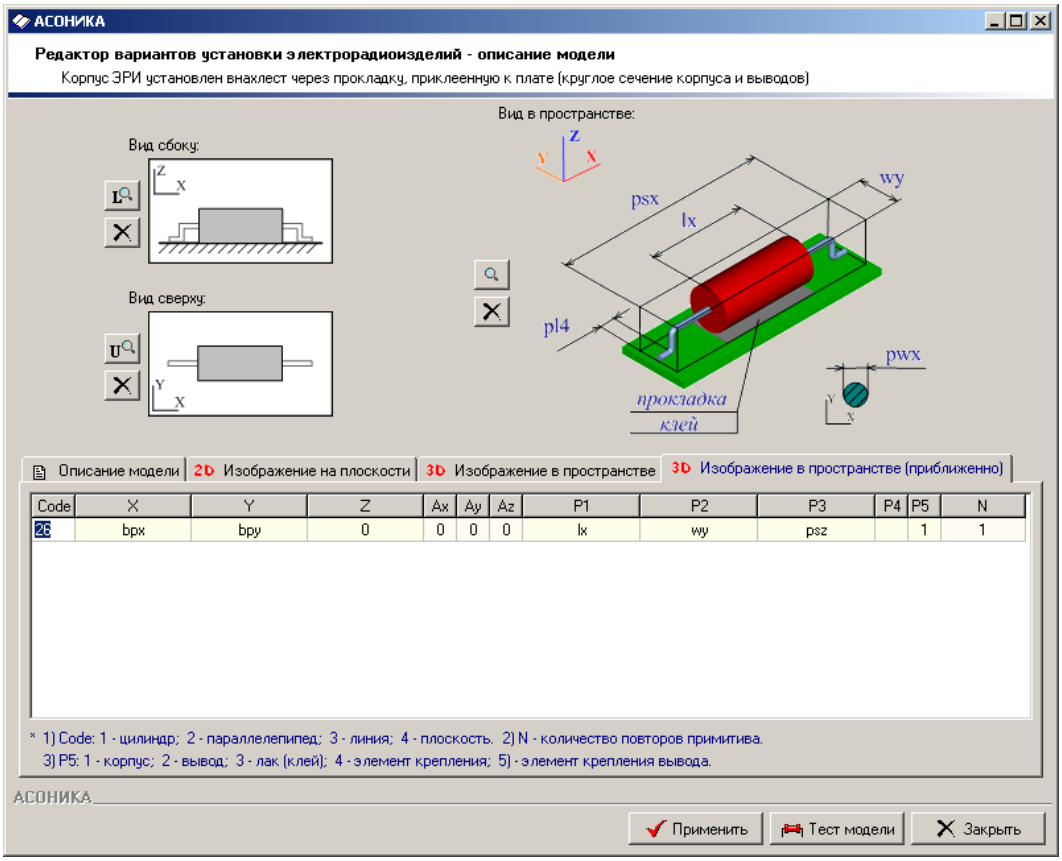


Рис. П.1.63. Описание формирования приближенного изображения варианта установки в пространстве

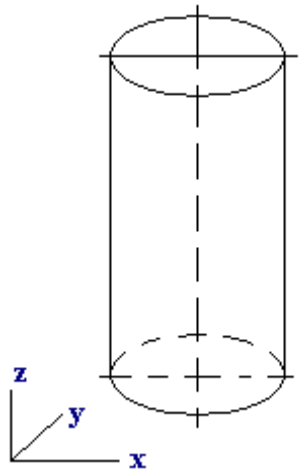
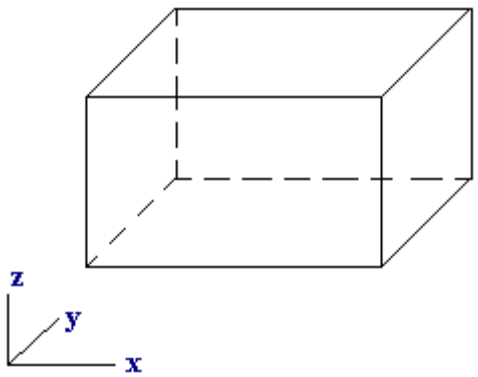
Таблица П.1.1

Описание графических примитивов для формирования изображения на плоскости

Code	Название примитива	P1	P2	P3	P4
1	Линия	Координата *X* начала	Координата *Y* начала	Координата *X* конца	Координата *Y* конца
2	Прямоугольник	Координата *X* левого нижнего угла	Координата *Y* левого нижнего угла	Координата *X* правого верхнего угла	Координата *Y* правого верхнего угла
3	Эллипс	Координата *X* левого нижнего угла	Координата *Y* левого нижнего угла	Координата *X* правого верхнего угла	Координата *Y* правого верхнего угла

Таблица П.1.2

Описание графических примитивов для формирования изображения на плоскости

<table>
<tr><th>Code</th><th>Название примитива</th><th>Локальная система координат</th></tr>
<tr><td>1</td><td>Цилиндр</td><td rowspan="2">Нижняя грань расположена в плоскости XOY, ось вращения совпадает с осью Z
 
</td></tr>
<tr><td>11</td><td>Диск</td></tr>
<tr><td>2</td><td>Параллелепипед</td><td rowspan="11"> 
</td></tr>
<tr><td>21</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 1)</td></tr>
<tr><td>22</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 2)</td></tr>
<tr><td>23</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 3)</td></tr>
<tr><td>24</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 4)</td></tr>
<tr><td>25</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 5)</td></tr>
<tr><td>26</td><td>Параллелепипед (отсутствует грань 6)</td></tr>
<tr><td>27</td><td>Параллелепипед (отсутствуют грани 1, 2)</td></tr>
<tr><td>28</td><td>Параллелепипед (отсутствуют грани 3, 4)</td></tr>
<tr><td>29</td><td>Параллелепипед (отсутствуют грани 5, 6)</td></tr>
</table>

Окончание табл. П.1.2

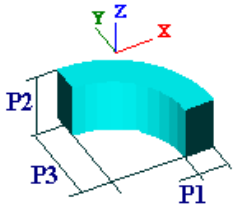
Code	Название примитива	Локальная система координат
3	Линия	Начало совпадаетс началом локальной системы координат
31	Дуга	Дуга окружностирасположенна в плоскости *XOY*с центром в начале координат, отсчет угла ведется от оси *X*
4	Плоскость	Расположена в плоскости *XOY*, левый нижний угол находится в начале координат ЛСК
41	Часть тора с прямоугольным сечением	Нижняя грань тора расположена в плоскости *XOY* между положительными направлениями осей *X* и *Y*, ось вращения совпадает с осью *Z* 
42	Часть тора	Часть тора расположенна между положительными направлениями осей *X* и *Y*, ось вращения совпадает с осью *Z*, центр сечения лежит в плоскости *XOY*
43	Часть цилиндрической поверхности	Часть цилиндрической поверхности находится между положительными направлениями осей *X* и *Y*, ось вращения совпадает с осью *Z*

Таблица П.1.3

Нумерация граней параллелепипеда

Номер грани	Описание
1	Грань в плоскости *YOZ* для $x = 0$
2	Грань в плоскости *YOZ* для $x <> 0$
3	Грань в плоскости *XOZ* для $y = 0$
4	Грань в плоскости *XOZ* для $y <> 0$
5	Грань в плоскости *XOY* для $z = 0$
6	Грань в плоскости *XOY* для $z <> 0$

Таблица П.1.4

Параметры графических примитивов для формирования изображения в пространстве

PCode	P1	P2	P3	P4
1, 11	Радиус нижнего основания	Радиус верхнего основания	Высота	Количество разбиений вокруг оси вращения
2, 21–29	Размер по оси *X*	Размер по оси *Y*	Размер по оси *Z*	отсутствует
3	Координата *X* конца	Координата *Y* конца	Координата *Z* конца	отсутствует
31	Радиус окружности	Угол вградусах	отсутствует	Количество разбиений кривой на отрезки
4	Размер по оси *X*	Размер по оси *Y*	отсутствует	отсутствует
41	Размер сечения в плоскости *XOY*	Размер сечения вдоль оси *Z*	Радиус вращения центра прямоугольного сечения вокруг оси *Z*	Количество разбиений вокруг оси вращения
42	Радиус окружности оси вращения	Радиус окружности сечения тора	отсутствует	Количество разбиений вокруг оси вращения. Количество разбиений окружности сечения
43	Радиус окружности оси вращения	Высота цилиндрической поверхности	отсутствует	Количество разбиений вокруг оси вращения

Таблица П.1.5

Параметры смещения и поворота
локальной системы координат в пространстве

Параметр	Описание
X	Смещение локальной системы координат по оси *X*
Y	Смещение ЛСК по оси *Y*
Z	Смещение ЛСК по оси *Z*
Ax	Поворот ЛСК относительности оси *X*
Ay	Поворот ЛСК относительности оси *Y*
Az	Поворот ЛСК относительности оси *Z*

Таблица П.1.6

Описание параметра P5 графических примитивов для формирования изображения в пространстве

P5	Значение
1	Графический примитив относится к изображению корпуса
2	Графический примитив относится к изображению выводов
3	Графический примитив относится к изображению лака (клея)
4	Графический примитив относится к изображению элементов закрепления
5	Графический примитив относится к изображению закрепления выводов (пайка)

Приложение 2

АКТ ПРИЕМКИ РЕЗУЛЬТАТОВ АПРОБАЦИИ СИСТЕМЫ АСОНИКА

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Генерального штаба Вооруженных Сил Республики Беларусь – начальник военно-научного управления

полковник _____ О.К. Кривонос

«22» _____ 2011 г.

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой информационных технологий Владимирского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, Генеральный директор ООО «CALS-технологии»

_____ А.С. Шалумов

«____» _____ 2011 г.

АКТ
приемки результатов апробации
системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА»

Комиссия в составе председателя – заместителя учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» по научной работе полковника В.М. Ивашко, членов комиссии: начальника кафедры электроники полковника А.Н. Мацкевича, заместителя ОАО «ВОЛАТАВТО» по научной работе И.В. Митянова, – в период с 3.10.2011 г. по 23.10.2011 г. провела приемку результатов апробации системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА», выполненной на кафедре электроники учреждения образования «Военная академия Республики Беларусь» на основании решения участников научно-технического семинара «Виртуализация испытаний и проектирования радиоэлектронных средств на базе автоматизированной системы АСОНИКА» от 21-22.10.2010 г. Для сотрудничества научно-техническим комитетом Вооруженных Сил определено предприятие ВОЛАТАВТО.

Комиссия рассмотрела два отчета «Апробация системы АСОНИКА при проведении виртуальных испытаний тестового образца печатного узла на внешние механические и тепловые воздействия» и «Апробация системы АСОНИКА при проведении виртуальных испытаний тестового образца блока радиоэлектронного средства на внешние механические и тепловые воздействия» и установила:

1. Апробация системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА» проведена в два этапа.

2. На первом этапе предприятие ВОЛАТАВТО предоставило тестовый электронный прибор, а именно печатную плату центрального контроллера системы управления платформы УВ-560 и необходимую техническую документацию для проведения моделирования на тепловые и механические воздействия в подсистеме АСОНИКА-ТМ. Совместно с российскими коллегами проведена работа по созданию электронного макета тестового прибора, проведены виртуальные испытания на проверку соответствия заданной группы стойкости в подсистеме АСОНИКА-ТМ. Результаты

моделирования механических и тепловых процессов в печатном узле показали отсутствие перегрузок и перегревов электрорадиоизделий представленного печатного узла при внешних механических и тепловых воздействиях, заданных в соответствии с ГОСТ РВ РВ – 20.39.304 – 98 (группа 1.3). Полученные результаты оформлены и представлены в НТК в виде отчета.

3. На втором этапе предприятием ВОЛАТАВТО был предоставлен тестовый блок РЭС (блок датчиков горизонта) для апробации системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА» при испытании блоков РЭС на внешние механические и тепловые воздействия (подсистемы АСОНИКА-М, АСОНИКА-Т). Виртуальные испытания блока датчиков горизонта на механические и тепловые воздействия в системе автоматизированного проектирования «АСОНИКА» показали, что конструкция тестового блока обеспечивает его нормальное функционирование при тепловых и механических воздействиях, заданных в соответствии с ГОСТ РВ – 20.39.304 – 98. Полученные результаты оформлены и представлены в НТК в виде отчета.

4. Проведенные работы по апробации системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА» показали адекватность результатов виртуальных испытаний.

5. Применение системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА» позволяет решить проблему предотвращения возможных отказов при эксплуатации на ранних этапах проектирования, проблему сокращения сроков и затрат на проектирование, проведение испытаний.

Рекомендуется рассмотреть вопрос внедрения системы автоматизированного проектирования «АСОНИКА» на предприятиях Республики Беларусь.

Председатель комиссии
полковник В.М. Ивашко

Члены комиссии:
полковник А.Н. Мацкевич

И.В. Митянов