# Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий

Под редакцией
д.т.н., проф. А.С. Шалумова

Москва
Радиотехника
2013

**УДК 621.396.6.019.3**
**ББК 68.821**
**А18**

**Серия «АСОНИКА»**
**под редакцией д.т.н., проф. А.С. Шалумова**

Р е ц е н з е н т :
***Ю.С. Сахаров –*** *академик РАЕН, д.т.н., проф.,*
*зав. кафедрой «Персональная электроника»,*
*Московский государственный университет*
*приборостроения и информатики*

А в т о р ы :

**Шалумов А.С., Кофанов Ю.Н., Увайсов С.У., Малютин Н.В., Носков В.Н., Урюпин И.С., Желтов Р.Л., Тихомиров М.В., Соловьев Д.Б., Першин Е.О., Малов А.В., Шалумова Н.А., Чабриков С.В., Манохин А.И., Куликов О.Е., Травкин Д.Н., Савельев А.В., Ловушкин М.Ю., Соловкин А.А., Шалумов М.А., Попов П.О., Семененко А.Н.**

**А18 Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий** / Под ред. *А.С. Шалумова*. – М.: Радиотехника, 2013. – 424 с.: ил. – Авт. указаны на обороте тит. л.

ISBN 978-5-88070-345-6

В монографии представлены труды Научной школы моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (НШ МИТАС) профессора А.С. Шалумова и Научной школы «АСОНИКА» профессора Кофанова Ю.Н. Рассмотрен комплекс вопросов, связанных с созданием автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА, виртуализации испытаний и стойкости к воздействию дестабилизирующих факторов при эксплуатации радиоэлектронных средств на базе системы АСОНИКА: обеспечение электромагнитной совместимости; конечно-элементное моделирование механических процессов и оптимизации; стойкость радиоэлектронных средств на виброизоляторах к механическим воздействиям; оценка времени до усталостного разрушения выводов радиоэлементов; определение показателей безотказности и долговечности; анализ и контроль тепловых характеристик конструкций; развитие базы данных системы АСОНИКА.
*Для инженерно-технических и научных работников, занимающихся вопросами автоматизации проектирования в радиоэлектронике.*

**УДК 621.396.6.019.3**
**ББК 68.821**

© Авторы, 2013
**ISBN 978-5-88070-345-6**
© ЗАО «Издательство «Радиотехника», 2013

# Оглавление

Предисловие ..... 5
Введение ..... 8

**ГЛАВА 1**
**Моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях РЭС**

1.1. Стойкость типовых блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М) ..... 21
1.2. Стойкость произвольных блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-3D) ..... 30
1.3. Стойкость типовых конструкций шкафов РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-ШКАФ) ..... 47
1.4. Стойкость к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах (АСОНИКА-В) ..... 54
1.5. Стойкость конструкций РЭС к тепловым воздействиям (АСОНИКА-Т) ..... 65
1.6. Идентификация физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС (АСОНИКА-ИД) ..... 79

**ГЛАВА 2**
**Моделирование тепловых и механических процессов в печатных узлах и электрорадиоизделиях РЭС**

2.1. Стойкость конструкций печатных узлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям (АСОНИКА-ТМ) ..... 87
2.2. Моделирование механических процессов в печатных узлах РЭС сложной формы ..... 94
2.3. Усталостная прочность конструкций печатных узлов РЭС при механических воздействиях (АСОНИКА-УСТ) ..... 105

**ГЛАВА 3**
**Создание карт рабочих режимов и анализ надежности ЭРИ**

3.1. Автоматизированное заполнение карт рабочих режимов ЭРИ с учетом реальных режимов их эксплуатации (АСОНИКА-Р) ..... 125
3.2. Показатели надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ (АСОНИКА-Б) ..... 141
3.3. Пример использования подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-Б при проектировании печатных узлов РЭС ..... 170
3.4. Модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PsPice и подсистем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б ..... 176

**ГЛАВА 4**
**Электромагнитная совместимость РЭС (АСОНИКА-ЭМС)**

4.1. Электромагнитные помехи и их источники ....185
4.2. Испытания на ЭМС и устойчивость к электромагнитным воздействиям....188
4.3. Методика моделирования электромагнитных процессов ....192
4.4. Автоматизация синтеза модели для расчета эффективности экранирования РЭС ....203
4.5. Структура подсистемы АСОНИКА-ЭМС ....205

**ГЛАВА 5**
**Интегрированная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам (АСОНИКА-БД)**

5.1. Выбор системы управления базой данных ЭРИ ....219
5.2. Накопление базы данных ЭРИ ....221
5.3. Структура базы данных ЭРИ ....224
5.4. База данных ЭРИ и материалов (фрагменты)....229

**ГЛАВА 6**
**Управление моделированием РЭС при проектировании (АСОНИКА-УМ)**

6.1. Назначение и структура подсистемы АСОНИКА-УМ....289
6.2. Функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по настройке информационного пространства....291
6.3. Функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по созданию электронных моделей изделий....305
6.4. Функциональные возможности интеграции подсистемы АСОНИКА-УМ с другими подсистемами системы АСОНИКА ..318
6.5. Функциональные возможности подсистемы управления моделированием РЭС....338

Заключение....357

Литература....367

Информация о создателях автоматизированной системы АСОНИКА ....370

# Предисловие

Вся современная техника (ракеты, самолеты, танки, корабли, подводные лодки, автомобили) обязательно включает электронную аппаратуру, которая состоит из печатных плат, микросхем и др. И если одна из них не работает, то не функционирует вся техника.

Работу аппаратуры значительно ухудшают воздействия вибраций, ударов, тепла, электромагнитных полей, радиации и др. Поэтому важным этапом создания электронной аппаратуры являются ее испытания на все эти воздействия. Испытания обходятся очень дорого, требуют много времени и часто не позволяют правильно прогнозировать состояние электронной аппаратуры в реальных условиях, особенно в критических режимах.

В последнее время произошло большое число катастроф космических аппаратов, таких как ГЛОНАСС, «Фобос-Грунт», «Меридиан», ПРОТОН и др. Все эти катастрофы обусловлены тем, что фактически не проводится моделирование электронных приборов космических аппаратов на воздействие внешних дестабилизирующих факторов, в том числе в критических ситуациях. Из-за этого наше государство несет многомиллиардные потери. Однако моделирование электронных приборов космических аппаратов невозможно проводить без наличия необходимого специализированного программного обеспечения и базы данных электронных компонентов и конструкционных материалов. В данной книге рассматривается такая система и такая база данных. Речь идет о разработанной авторами книги автоматизированной системе обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА.

В течение тридцати лет мы, преодолевая все преграды, создавали и апробировали на многих российских предприятиях, прежде всего оборонной, космической и авиационной отраслей, технологию двойного назначения. Суть этой технологии состоит в следующем: используя автоматизированную систему обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА), можно с помощью компьютера предвидеть и предотвращать всевозможные отказы еще не изготовленной электронной аппаратуры, предназначенной для функционирования на военных, космических и гражданских объектах. И все это можно сделать в течение нескольких часов и очень наглядно.

Применение системы АСОНИКА обеспечит автоматизированное проектирование сложных радиоэлектронных средств (РЭС) в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование–производство–эксплуатация и тем самым обеспечит:

– повышение качества проектирования сложных РЭС;

– исключение критических ошибок при проектировании сложных РЭС;

– сокращение времени и трудоемкости работ по проектированию сложных РЭС;

– достижение полного охвата всех этапов жизненного цикла продукции от маркетинговых исследований до утилизации в соответствии со стандартами CALS-технологий;

– учет наиболее полного спектра воздействующих факторов (механических, тепловых, электромагнитных, радиационных);

– снижение сроков и затрат на проектирование за счет доступности разработчику сложных РЭС предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования.

Актуальность задач, связанных с автоматизацией проектирования и моделирования радиоэлектронных средств (РЭС), в том числе ракетно-космической и военной техники, была рассмотрена и поддержана В.В. Путиным на выставке 11 декабря 2009 г. в г. Санкт-Петербурге. В.В. Путин лично ознакомился с системой АСОНИКА, отметил важность данного проекта для отечественной промышленности и рекомендовал профильным министерства оказывать поддержку развития данных исследований (см. сайт www.asonika.com).



Из Указа Президента РФ от 7 мая 2012 г. №603 «О реализации планов (программ) строительства и развития Вооруженных Сил Российской Федерации, других войск, воинских формирований и органов и модернизации оборонно-промышленного комплекса» следует, что «планируется внедрить систему управления полным индустриальным циклом производства вооружения, военной и спецтехники – от моделирования и проектирования до серийного выпуска изделий, обеспечения их эксплуатации и дальнейшей утилизации». Реализация данного пункта Указа невозможна без применения системы АСОНИКА, так как в России отсутствуют аналогичные системы и научные школы с соответствующим научно-техническим заделом. Для создания аналога системы АСОНИКА необходимо не менее двадцати лет интенсивной работы.

Данная книга предоставляет разработчикам РЭС возможность познакомиться с автоматизированной системой АСОНИКА и принять обоснованное решение о ее выборе для применения в процессе проектирования РЭС.

# ДИПЛОМ

КОНКУРСА РУССКИХ ИННОВАЦИЙ 2009

# за победу

Награждается

ООО «CALS-технологии»

Владимирская область г. Ковров

Проект «Автоматизированная система «АСОНИКА»
для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий»

*Генеральный директор ЗАО «Медиахолдинг «Эксперт»*
*В. А. Фадеев*

# Введение

Решением Президиума Российской академии естествознания 29.06.11 г. официально зарегистрирована научная школа «Научная школа моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (НШ МИТАС)» (основатель научной школы профессор А.С. Шалумов). Информация о научной школе НШ МИТАС опубликована в энциклопедии «Российские научные школы». Основным результатом ее работы является автоматизированная система 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 при проектировании РЭС.

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

– предотвращение возможных отказов при эксплуатации на ранних этапах проектирования за счет комплексного моделирования разнородных физических процессов;

– обеспечение 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 факторах, в том числе в критических режимах;

– сокращение сроков и затрат на проектирование за счет доступности разработчику аппаратуры предлагаемых программных средств и адекватности результатов моделирования;

– автоматизация документооборота и создание электронной модели РЭС за счет интеграции предлагаемых программных средств в рамках PDM-системы хранения и управления инженерными данными и жизненным циклом аппаратуры.

Эксплуатация бортовых РЭС характеризуется воздействием на них совокупности жестких внешних факторов, которые действуют

одновременно, что приводит к отказам системного характера. Такие отказы трудно выявить при испытаниях, так как нет стендов, которые позволяли бы комплексно воспроизвести одновременно электрические процессы функционирования, сопутствующие тепловые, механические, аэродинамические, радиационные и другие внешние воздействия, технологические явления случайных разбросов параметров, старение, коррозию и другие деградационные факторы. Проблема осложняется тем, что современные РЭС включают в себя сложные микроэлектронные изделия, обладающие определенными физико-технологическими особенностями, которые также должны быть учтены при комплексном математическом моделировании. Все эти факторы в своем совокупном и взаимосвязанном проявлении обязательно должны быть правильно учтены при схемно-конструкторско-технологическом проектировании, что можно выполнить только с помощью ЭВМ. В этом случае действительно могут быть заранее выявлены и устранены основания для системных отказов и обеспечены высокие показатели надежности РЭС.

Причины существования четырех перечисленных проблем коренятся 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 функционированием аппаратуры и воздействием внешних факторов, так и ее износом и старением. 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. Данная система получила название АСОНИКА. Система АСОНИКА внедрена на множестве предприятий военно-промышленного комплекса Российской Федерации.

Это первая российская автоматизированная система моделирования, которая рекомендуется специальными руководящими документами Министерством обороны РФ 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, по которым эти расчеты проведены. Тем самым формируется электронный виртуальный макет создаваемой аппаратуры, который может быть передан на этапы изготовления и эксплуатации. В рамках системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который формирует структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой аппаратуры, наполняет данную структуру результатами работы проблемных подсистем системы АСОНИКА. Эти 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 Mentor Graphics, Altium Designere, PCAD и др.

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 тринадцати подсистем:

– анализа типовых конструкций блоков РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М;

– анализа типовых конструкций шкафов и стоек РЭС на механические воздействия АСОНИКА-М-ШКАФ;

– анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций, созданных в системах ProEngieer, SolidWorks и других CAO-системах в форматах IGES и SAT, к механическим воздействиям АСОНИКА-М-3D;

– анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленной 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 (ЭРИ) АСОНИКА-Р;

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

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

– идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС АСОНИКА-ИД;

– анализа усталостной прочности конструкций печатных плат и электрорадиоизделий при механических воздействиях АСОНИКА-УСТ;

– анализа и обеспечения электромагнитной совместимости РЭС АСОНИКА-ЭМС;

– управления моделированием РЭС при проектировании АСОНИКА-УМ.

Система АСОНИКА включает в себя 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 Mentor Graphics и Altium Designere);

– модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere и подсистемы АСОНИКА-ТМ;

– модуль интеграции 3D модели, созданной в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES, SAT и подсистемы АСОНИКА-М (версия АСОНИКА-М-3D).

Предполагается разработка подсистемы радиационной стойкости РЭС АСОНИКА-РАД.

Структура автоматизированной системы АСОНИКА (рис. В.1) 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.

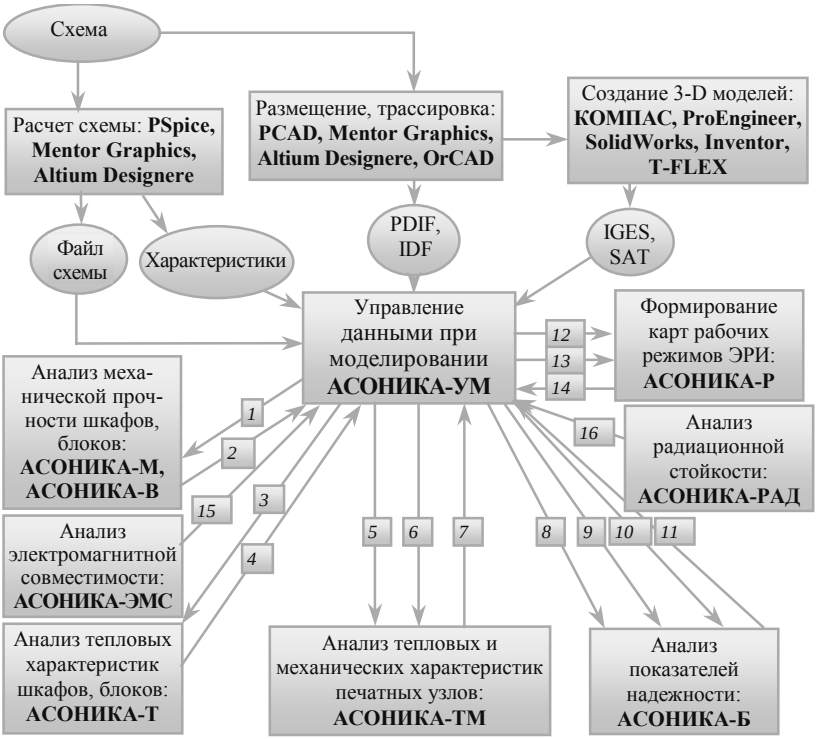



**Рис. В.1.** Структура автоматизированной системы АСОНИКА

С помощь 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, Mentor Graphics и Altium Designere, а также в системы размещения и трассировки печатных плат PCAD, Mentor Graphics и Altium Designere. Выходные файлы системы PCAD в формате PDIF и Mentor Graphics и Altium Designere в формате IDF либо сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ, ли-

бо направляются в системы AUTOCAD, КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX для создания чертежей и опять-таки сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ. В подсистему АСОНИКА-УМ также передаются 3-D модели шкафов и блоков РЭС, созданные в системах КОМПАС, ProEngineer, SolidWorks, Inventor, T-FLEX в форматах IGES и SAT, которые из нее направляются в подсистемы АСОНИКА-М и АСОНИКА-В (*1*) для анализа механических процессов в шкафах и блоках РЭС, а также 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, передаются температуры воздуха в узлах, полученные в подсистеме АСОНИКА-Т, а также ускорения опор, полученные в подсистеме АСОНИКА-М (*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 и АСОНИКА-РАД, передаются из подсистемы АСОНИКА-УМ в подсистему анализа показателей надежности РЭС АСОНИКА-Б. Полученные в результате 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. Полученные в результате карты рабочих режимов сохраняются в подсистеме АСОНИКА-УМ (*14*).

Система ориентирована на разработчика РЭС. С этой целью в подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ созданы 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 в обычной конечно-элементной системе, например ANSYS, ему пришлось бы вначале пройти специальное обучение и набраться опыта, что заняло бы примерно около года, а затем в течение нескольких часов вводить саму модель. Для работы с системой АСОНИКА не нужно специального обучения, достаточно просто ввести в нее на доступном конструктору языке то, что представлено на чертеже. Ввод того же сложного шкафа может быть осуществлен в течение получаса.

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 1 дня.

Подсистема 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:

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

– перемещения, прогибы, ускорения и напряжения участков конструкции блоков и шкафов;

– деформации блоков и шкафов;

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

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

Подсистема 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 на основе получен-

ных механических характеристик для принятия решения по поводу обеспечения стойкости аппаратуры при механических воздействиях. Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции на виброизоляторах. Подсистема позволяет идентифицировать параметры виброизоляторов, а также оптимизировать их с целью снижения нагрузок на конструкцию. В результате моделирования могут быть получены зависимости ускорений конструкции на виброизоляторах от частоты и времени. Подсистема АСОНИКА-В включает в себя базу данных со справочными параметрами виброизоляторов.

Подсистема АСОНИКА-Т позволяет анализировать тепловые характеристики следующих типов конструкций РЭС: микросборок, радиаторов и теплоотводящих оснований, гибридно-интегральных модулей, блоков этажерочной и кассетной конструкции, шкафов, стоек, а также произвольных конструкций 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 в себя 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 стационарного и нестационарного тепловых режимов:

– как при нормальном, так и при пониженном давлении;

– при следующих видах механических воздействий: гармоническая вибрация; случайная вибрация; удар; линейное ускорение; акустический шум.

Подсистема имеет специальный графический интерфейс ввода конструкции печатного узла.

В результате моделирования могут быть получены:

– зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках конструкции;

– максимальные температуры, ускорения и напряжений участков печатных узлов и электрорадиоизделий;

– формы колебаний печатных узлов на собственных частотах;

– карты тепловых и механических режимов электрорадиоизделий.

Подсистема АСОНИКА-Р предназначена для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭРИ. В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции РДВ.319.01.09-94 (2000 года). 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 АСОНИКА-Б позволяет анализировать шкафы, блоки, печатные узлы, ЭРИ и решать следующие задачи:

– определение показателей безотказности всех ЭРИ;

– обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования РЭС.

Подсистема поддерживает:

– пассивное резервирование с неизменной нагрузкой;

– активное нагруженное резервирование;

– активное ненагруженное резервирование;

– 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 в себя базу данных с математическими моделями для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели, а также редактор базы данных. Подсистема позволяет импортировать данные о составе конструкции из других САПР электроники (P-Cad), а также тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА.

Подсистема АСОНИКА-УМ, предназначенная для управления моделированием РЭС при проектировании, позволяет осуществить

интеграцию САПР, внедрённых на предприятии (Pro/ENGINEER, P-CAD, АСОНИКА, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и др.), 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, аэродинамических, 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 выполнить сквозное автоматизированное проектирование РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. Язык интерфейса пользователя с программами максимально приближен к языку разработчика РЭС. На освоение предлагаемых программ требуется сравнительно малое время. При их внедрении достигается достаточно высокая скорость решения задач моделирования и значительная экономия материальных средств за счет сокращения количества испытаний. Повышается надежность и качество РЭС, проектируемой на основе предлагаемой интегрированной САПР.

Информационная согласованность всей системы обеспечивается на уровне электронной модели РЭС, информация в которой представлена в виде совокупности информационных объектов и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, при отсутствии дублирования информации. В этом случае существует необходимость только в интерфейсах между каждой отдельно взятой подсистемой и подсистемой АСОНИКА-УМ. Данные интерфейсы позволяют преобразовать совокупность информационных объектов электронной модели РЭС, описывающих исходные данные для целевой подсистемы, в файлы проекта данной подсистемы и, наоборот, преобразовать файлы проекта исходной подсистемы в совокупность информационных объектов электронной модели РЭС и взаимосвязей между ними, регламентированных стандартом ISO 10303 STEP, гарантируя однозначность представления информации в электронной модели РЭС.

Данное решение информационной согласованности обеспечивает гибкость структуры системы АСОНИКА. Таким образом, при обновлении и замене существующих подсистем, а также при добавлении 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, приведение 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 1

# Моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях РЭС

1.1. Стойкость типовых блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М)

1.2. Стойкость произвольных блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-3D)

1.3. Стойкость типовых конструкций шкафов РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-ШКАФ)

1.4. Стойкость к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах (АСОНИКА-В)

1.5. Стойкость конструкций РЭС к тепловым воздействиям (АСОНИКА-Т)

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

## 1.1. Стойкость 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 этажерочного блоков, созданные в графическом интерфейсе подсистемы АСОНИКА-М, представлены на рис. 1.1.

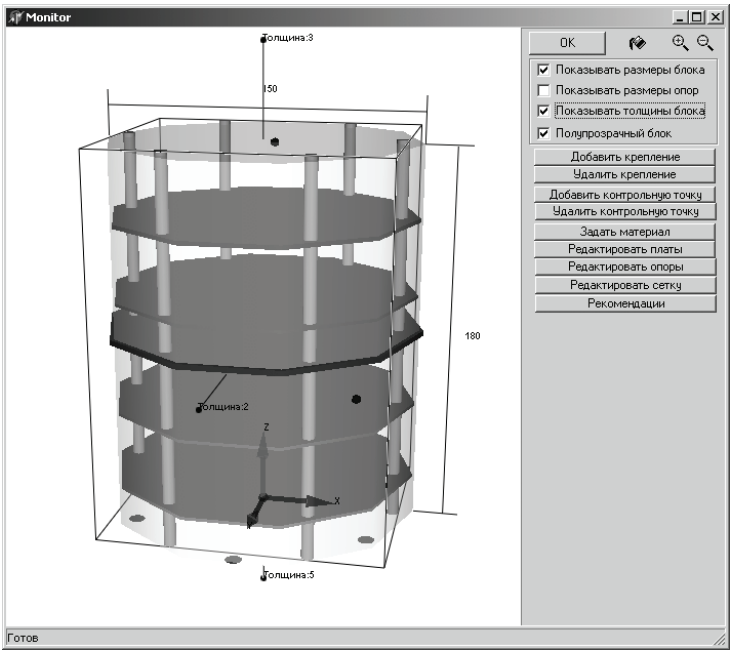
Для цилиндрического блока (рис. 1.1,*а*) заданы пять плат с размещенными на них радиоизделиями (ЭРИ) разной толщины (1,5…2,5 мм) и массы, шесть опор, проходящих через весь блок. Край средней платы жестко соединен со стенками блока. На верхней и боковой стенках блока заданы две контрольные точки. Блок крепится через дно посредством шести опор.

Для кассетного блока (рис. 1.1,*б*) тоже заданы пять плат с различными параметрами. Все платы закреплены в направляющих, расположенных на дне и верхней стенке блока. С передней части блока платы вставлены в разъемы. Одна плата жестко связана с блоком и с противоположной стороны разъема. На боковой и передней стенках блока заданы две контрольные точки. Блок соединен с нижней стенкой посредством четырех круглых креплений.

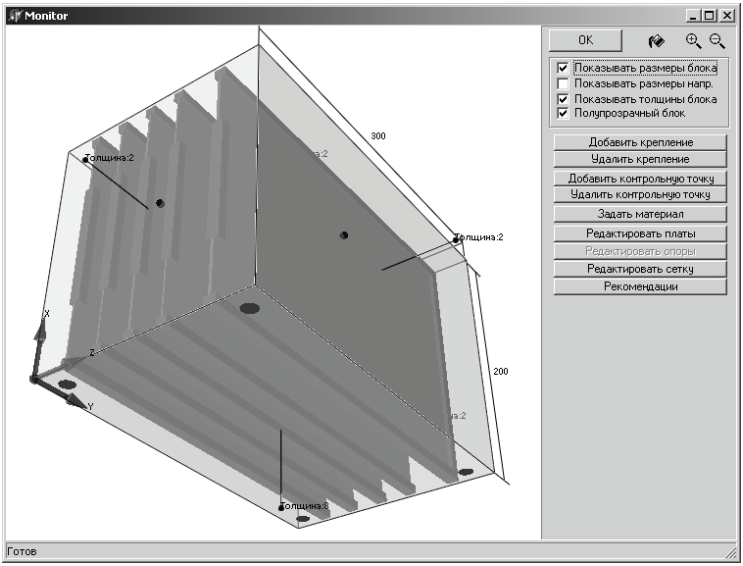
Для этажерочного блока (рис. 1.1,*в*) заданы четыре платы с восьмью опорами, проходящими от дна блока до последней платы. Каждая плата имеет свои параметры. Крепления блока расположены по углам нижней стенки. На боковых стенках заданы две контрольные точки.

Основное отличие интерфейса модели сложного этажерочного блока (рис. 1.2) от рассмотренного (см. рис. 1.1,*в*) состоит в возможности ввода в блок нескольких этажерок, каждая из которой может иметь свои параметры и сложную конструкцию.

В сложном этажерочном блоке к основанию можно использовать крепления в виде лапок (рис. 1.3,*а*). Панель редактирования лапок крепления прибора позволяет производить операции добавления,


Monitor
OK
Показывать размеры блока
Показывать размеры опор
Показывать толщины блока
Полупрозрачный блок
Добавить крепление
Удалить крепление
Добавить контрольную точку
Удалить контрольную точку
Задать материал
Редактировать платы
Редактировать опоры
Редактировать сетку
Рекомендации
Толщина:3
150
180
Толщина:2
Толщина:5
Z
X
Готов

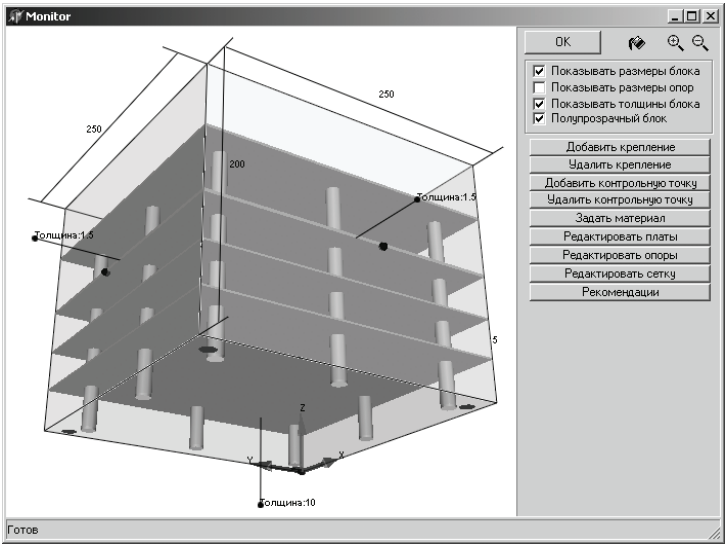
*а*)


Monitor
OK
Показывать размеры блока
Показывать размеры напр.
Показывать толщины блока
Полупрозрачный блок
Добавить крепление
Удалить крепление
Добавить контрольную точку
Удалить контрольную точку
Задать материал
Редактировать платы
Редактировать опоры
Редактировать сетку
Рекомендации
300
Толщина:2
Толщина:2
200
X
Z
Y
Готов

*б*)

удаления и редактирования. Для ввода лапки крепления указывается ее толщина, координаты расположения и габариты. Координата лапки крепления по оси *Z* равна нулю, т.е. она присоединяется к основанию и изготовлена из того же материала, что и основание. Число задаваемых лапок произвольно.

Панель редактирования этажерок (рис. 1.3,*б*) содержит в себе три панели для работы с параметрами этажерки (рис. 1.3,*а*), параметрами плат (рис. 1.4,*б*), параметрами шпилек (рис. 1.4,*в*). В панели для работы с параметрами этажерки задается смещение этажерочной конструкции относительно системы координат блока по осям *X* и *Y*, режим прохождения шпилек, число плат, материал плат и шпилек и температура шпилек. Как и в простой этажерочной конструкции, шпильки могут крепиться сразу и ко дну, и к верхней стенке блока (режим 1), крепиться только ко дну (режим 2) или только к верхней стенке блока (режим 3). Задаваемые отдельно материал и температура будут использоваться по умолчанию в дальнейшем для каждой платы и шпильки в пределах активной этажерки.




*в*)

**Рис. 1.1.** Физические модели цилиндрического (*а*), кассетного (*б*) и этажерочного (*в*) блоков (*а* и *б* см. на с. 22)

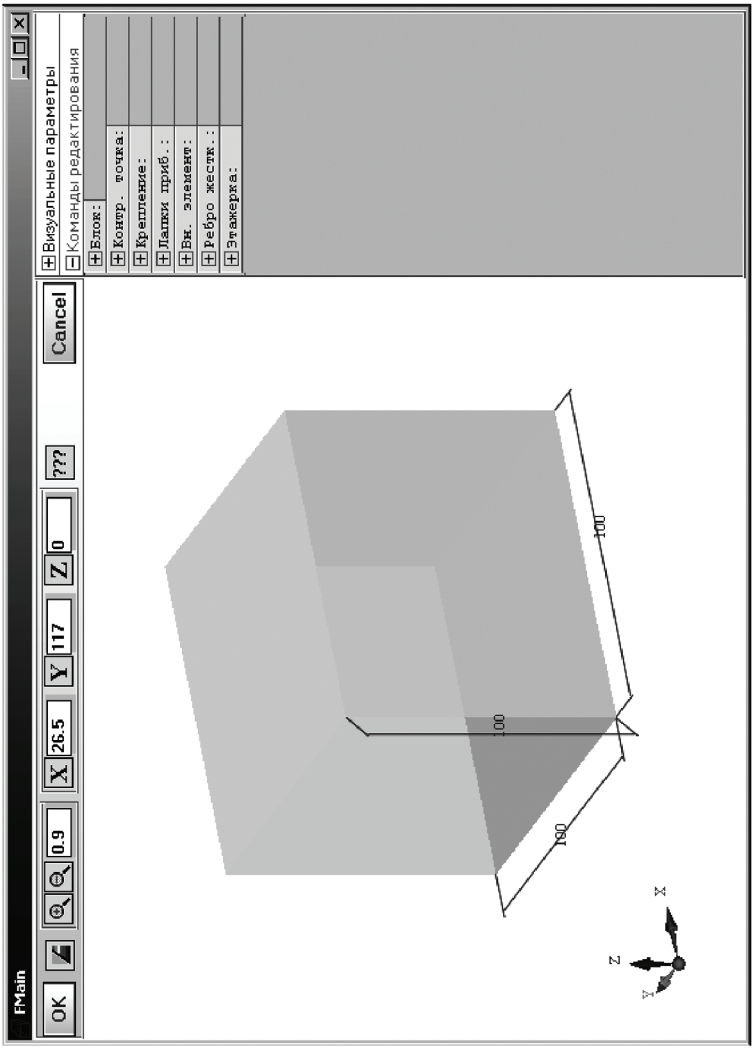
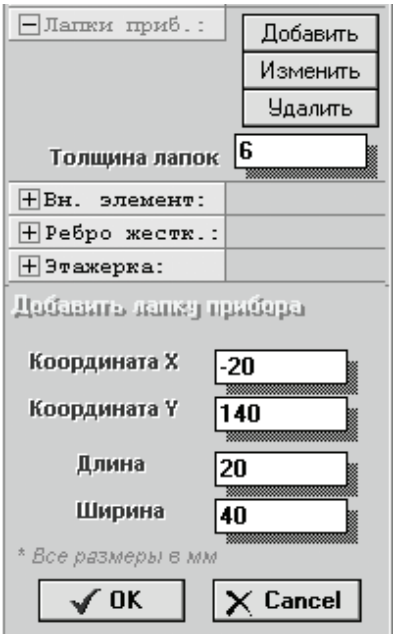
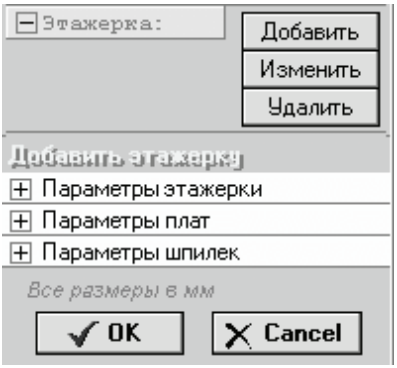



**Рис. 1.2.** Интерфейс сложного этажерочного блока




*а*)

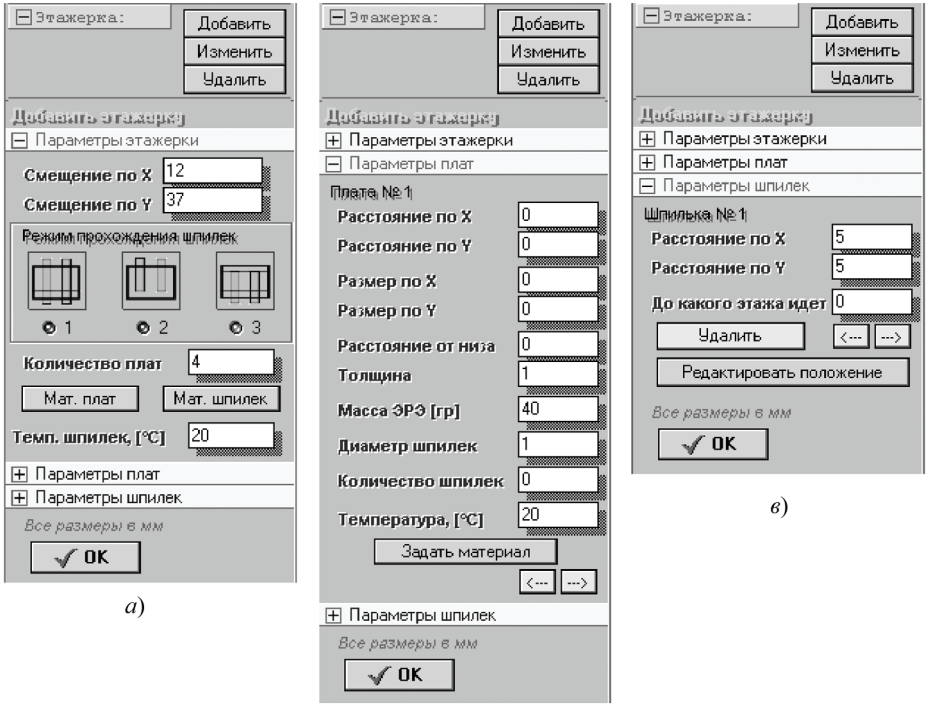



*б*)

**Рис. 1.3.** Панели редактирования лапок крепления (*а*) и этажерок (*б*)

Для каждой платы этажерки панель на рис. 1.4,*б* позволяет вводить смещение относительно системы координат этажерки, габаритные размеры, высоту расположения, толщину, массу ЭРИ, расположенных на плате, диаметр шпилек, температуру и материал. Выбор активной платы производится кнопками <--- ---> . Номер активной платы отображается вверху панели.

Для активированной платы с помощью панели на рис. 1.4,*в* производится редактирование шпилек. Для каждой шпильки указываются координаты и этаж (плата), до которой она проходит. Если шпилька проходит до какой-либо стенки блока, то указывается нулевой этаж. Для шпилек первой платы этажерки этаж всегда нулевой. Выбор активной шпильки производится кнопками <--- ---> . Номер шпильки отображается вверху панели. Альтернативный способ задания шпилек (рис. 1.5) вызывается нажатием кнопки Редактировать положение на панели (см. рис. 1.4,*в*). Внутри этого редактора показаны контур и габаритные размеры платы и шпильки в виде




*а*) *б*) *в*)

**Рис. 1.4.** Панели для работы с параметрами этажерки (*а*), параметрами плат (*б*), параметрами шпилек (*в*)

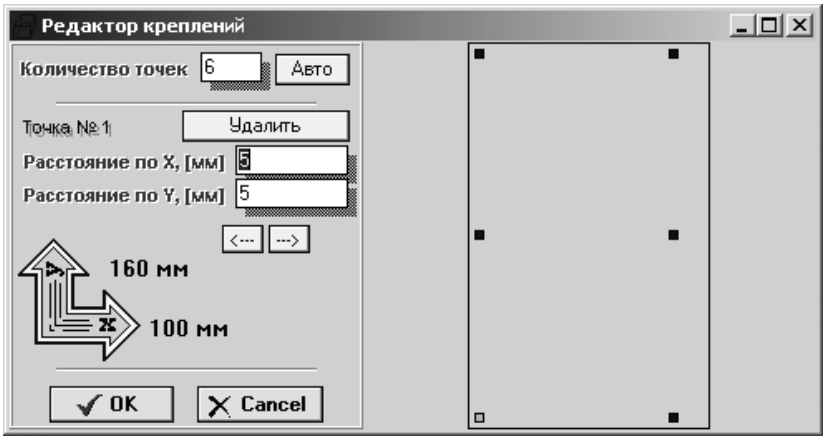


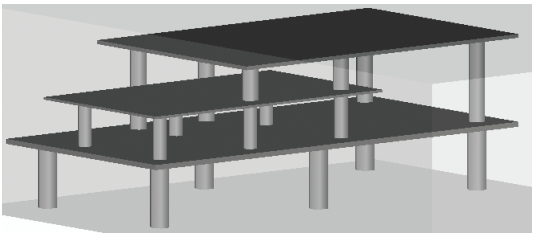

**Рис. 1.5.** Редактор расположения шпилек на текущей плате

синих квадратов. Активная шпилька имеет зеленый цвет. Расположение любой шпильки выбирается с помощью курсора «мыши». Этот редактор позволяет производить наглядный ввод, удалять любую шпильку и автоматически добавлять любое число шпилек.

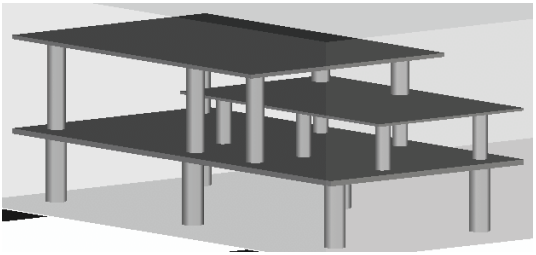
Например, сложная этажерочная конструкция на рис. 1.6, которую можно ввести средствами интерфейса, имеет три платы. Смещенные друг относительно друга платы имеют собственные параметры: толщину, диаметр шпилек, массу ЭРИ и пр., а также свои габаритные размеры. Координаты расположения шпилек каждого этажа разные.

В состав физической модели другого сложного этажерочного блока (рис. 1.7) входят две этажерки, на каждой плате 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.

При запуске команды «Возд...» главной инструментальной панели происходит вызов диалогового окна задания механического воздействия (рис. 1.8), результаты расчета которого представлены на рис. 1.9 и 1.10.



*а*)



*б*)

**Рис. 1.6.** Сложная этажерочная конструкция, показанная с разных сторон

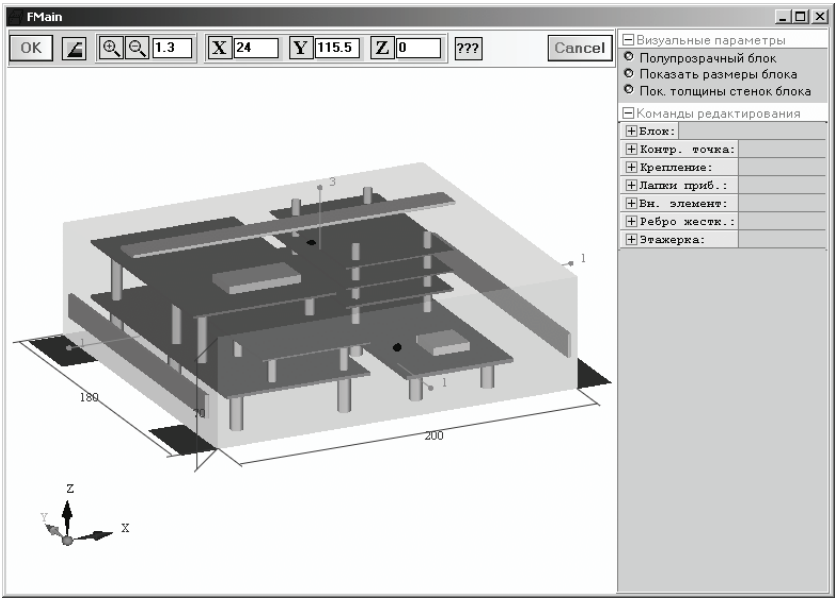



**Рис. 1.7.** Физическая модель второго сложного этажерочного блока (с ребрами жесткости и лапками крепления)

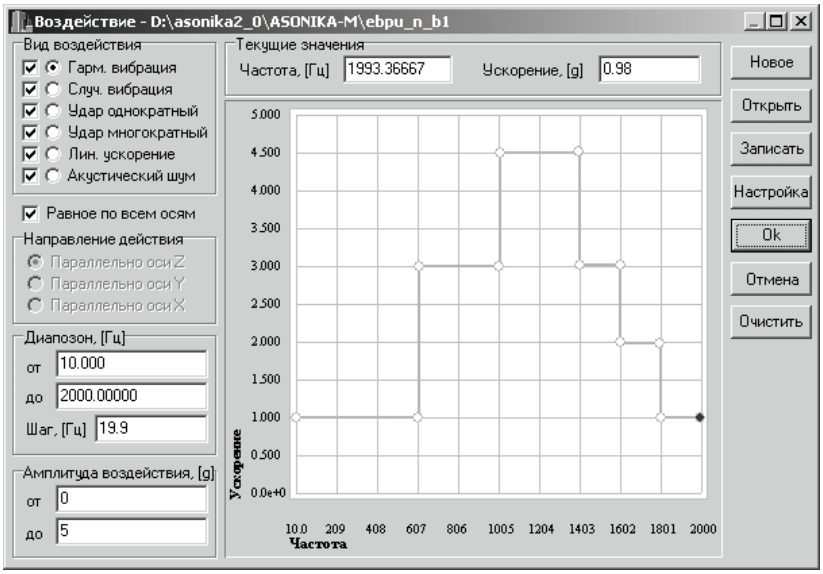



**Рис. 1.8.** Диалоговое окно задания механического воздействия

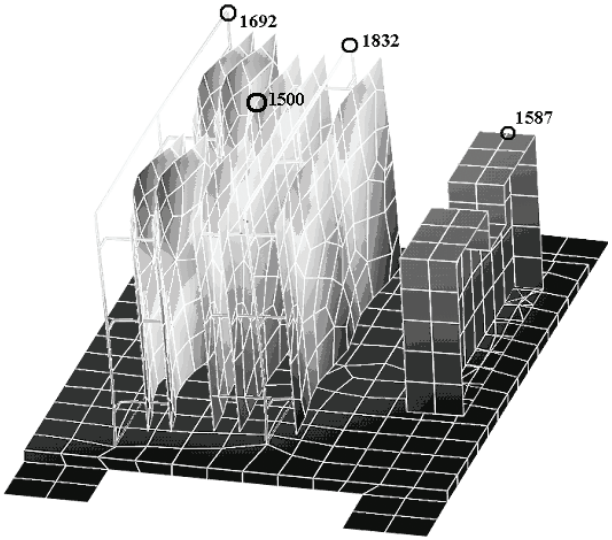



**Рис. 1.9.** Поля ускорений

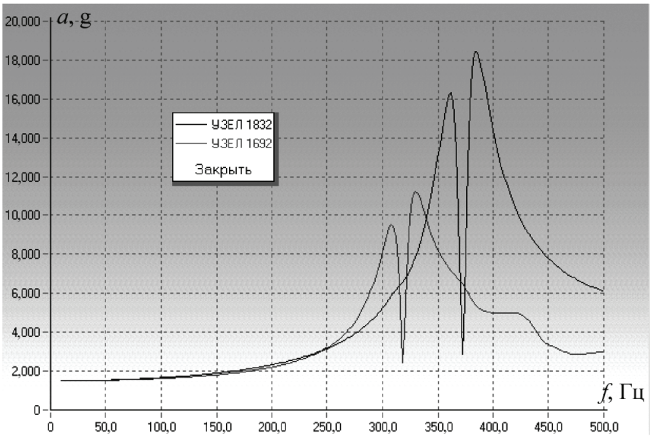



**Рис. 1.10.** АЧХ узлов, расположенных на верхних углах кронштейнов

## 1.2. Стойкость произвольных блоков конструкций РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-3D)

Этапы определения динамических характеристик прибора:

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. 1.11).

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.

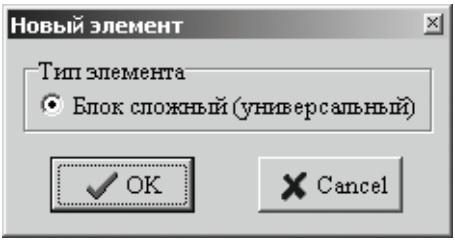



**Рис. 1.11.** Диалоговое окно создания нового проекта в АСОНИКА-М-3D

Графический интерфейс на рис. 1.12, позволяющий построить конечно-элементную модель, состоит из рабочей области, таблицы деталей и панели команд. На рис. 1.13 показана панель настройки цветовой палитры отображения элементов модели, цвета фона, а также параметров запуска PRO Engineer и ANSYS  .

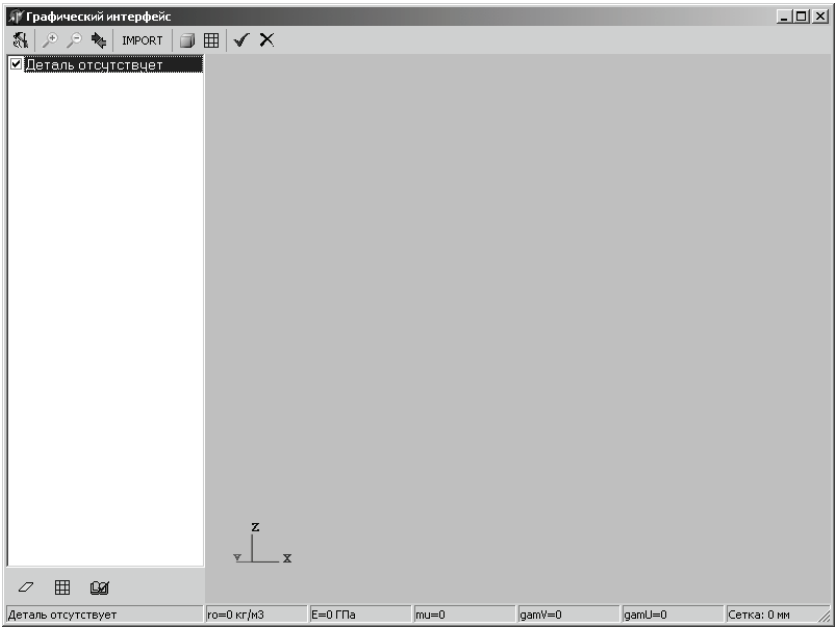



**Рис. 1.12.** Графический интерфейс АСОНИКА-М-3D

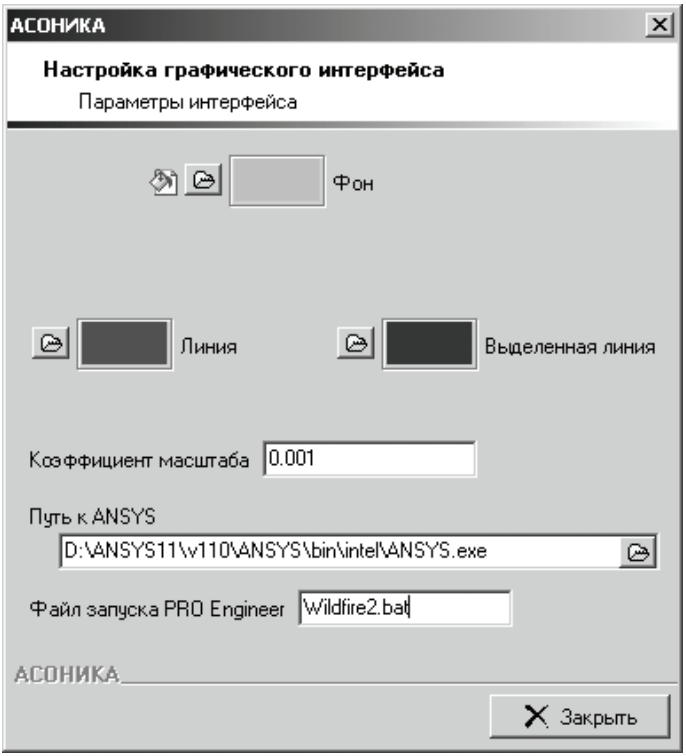



**Рис. 1.13.** Диалоговое окно настройки

Для изменения масштаба отображения модели необходимо использовать кнопки (увеличить масштаб) и (уменьшить масштаб). Для масштабирования можно также использовать колесико мыши (скроллинг).

Положение локальной системы координат (ЛСК) модели в пространстве изменяется с помощью мыши и клавиши CTRL. Для поворота осей координат необходимо удерживать левую кнопку мыши, для сдвига – правую. Для возвращения положения ЛСК в исходную позицию следует нажать на кнопку .

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

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. 1.14).

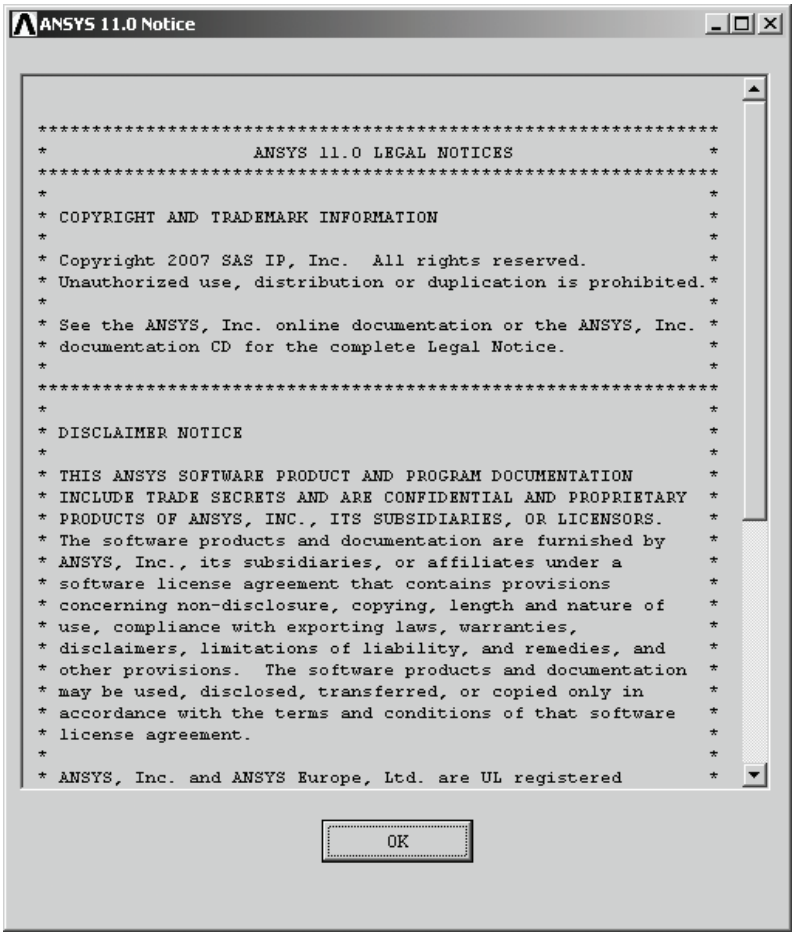



**Рис. 1.14.** Диалоговое окно для импорта геометрии модели из системы PROEngineer

По завершению работы системы ANSYS в рабочей области интерфейса появляются контуры конструкции прибора или отдельной детали (рис. 1.15).

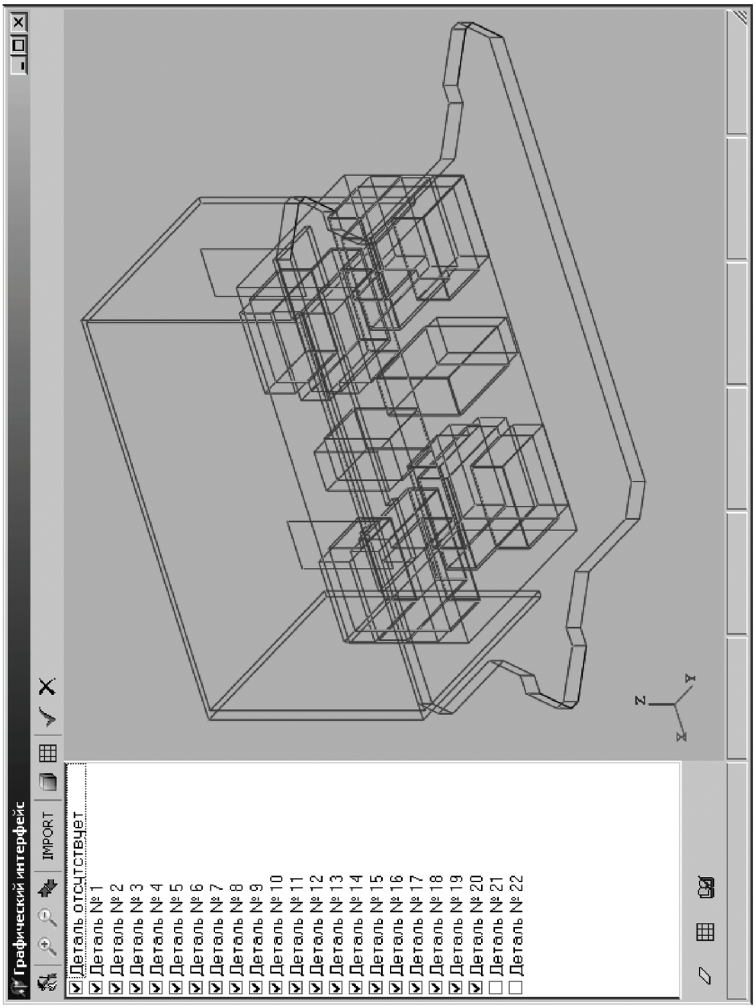



**Рис. 1.15.** Импортированная конструкции прибора

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. 1.16). Для выбора материала из базы данных – на кнопку Загрузить из БД (рис. 1.17).

Для задания параметров сетки детали необходимо нажать на кнопку (рис. 1.18).

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

Для переименования детали необходимо нажать на кнопку и в появившееся диалоговое окно ввести новое название детали (рис. 1.19). Если в таблице деталей рядом с названием детали отсутствует галочка, то деталь не отрисовывается, но при этом все равно будет присутствовать в конечно-элементной модели.

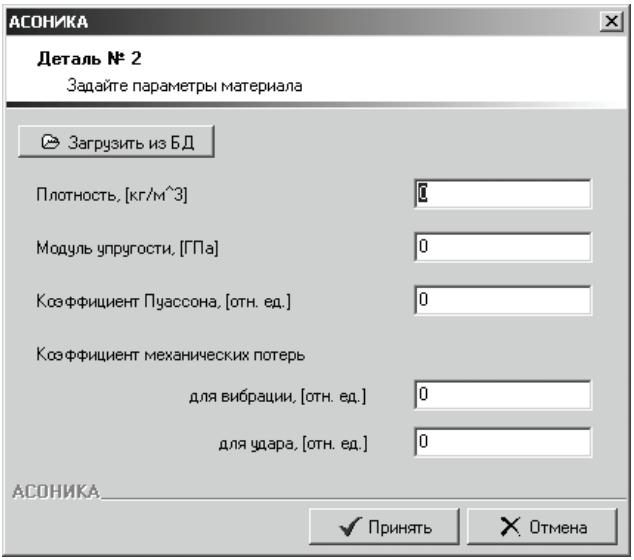



**Рис. 1.16.** Диалоговое окно для задания материала

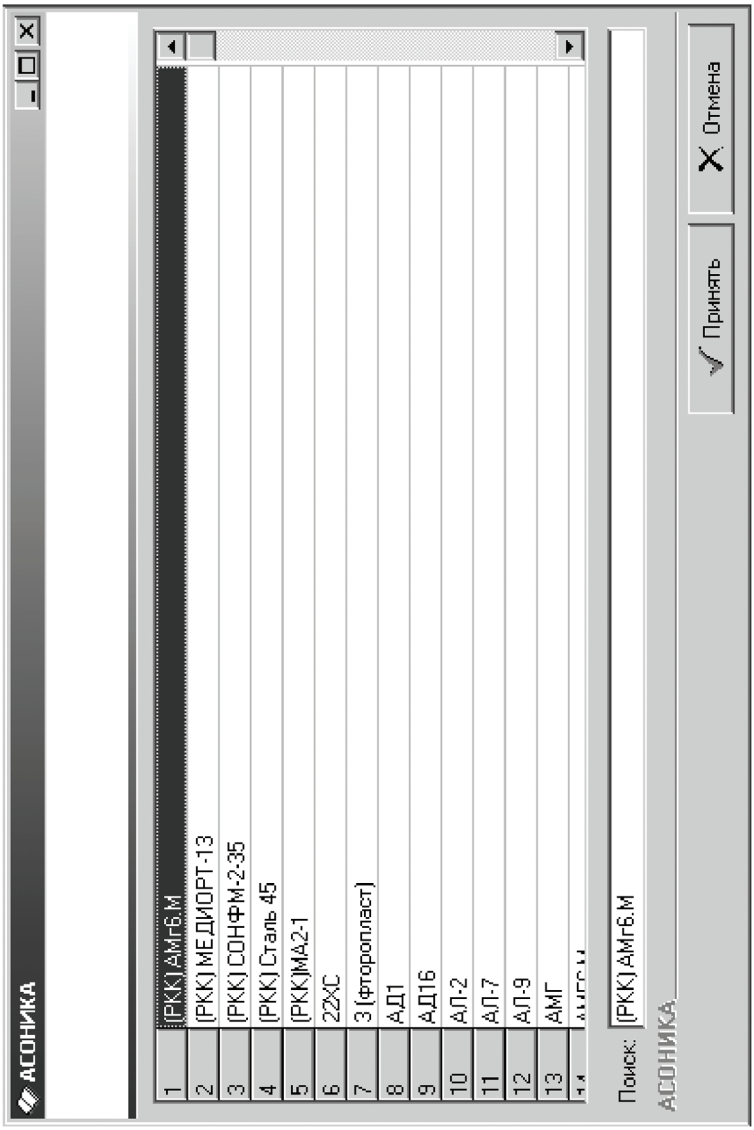



**Рис. 1.17.** Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

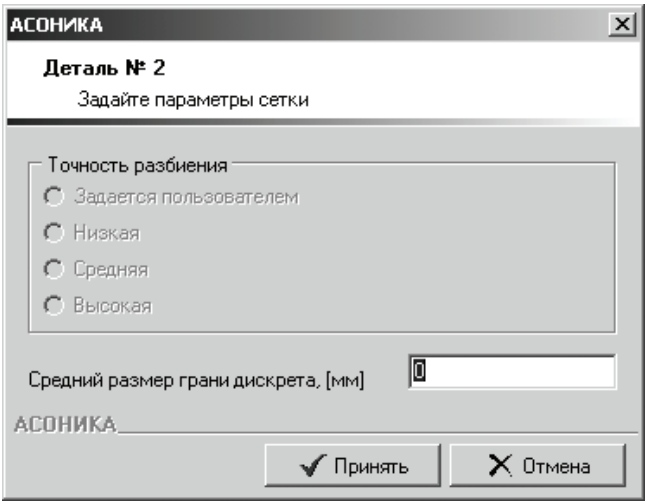



**Рис. 1.18.** Диалоговое окно для задания параметров сетки детали

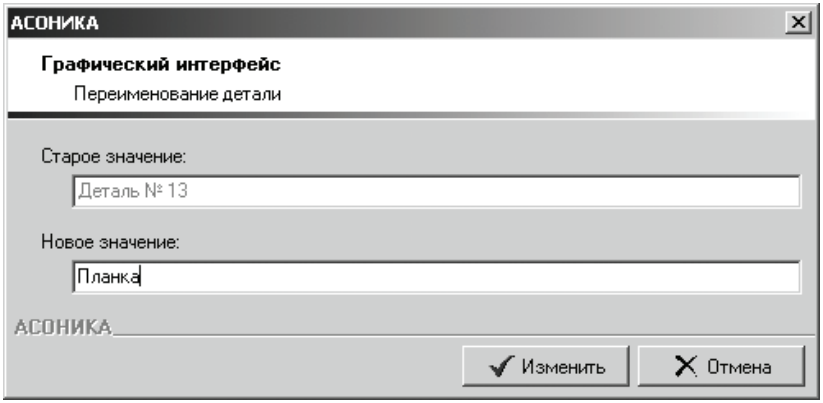
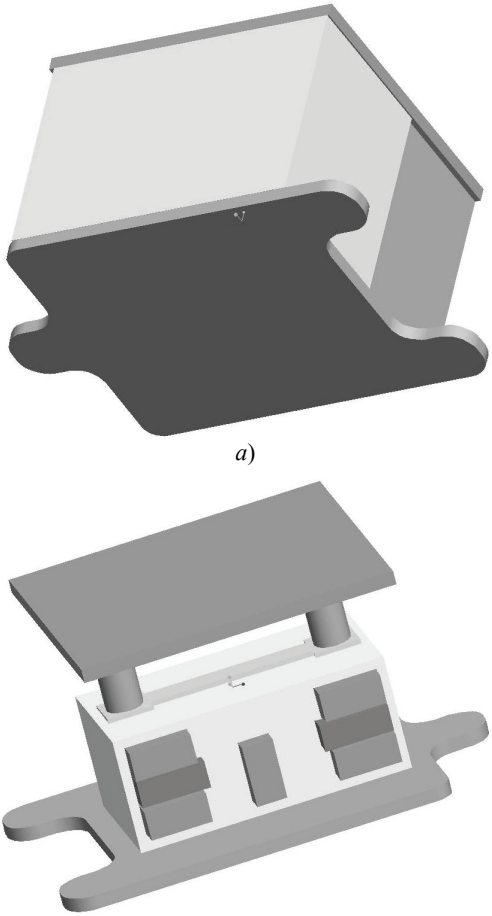



**Рис. 1.19.** Диалоговое окно для переименования детали

Для задания граничных условий (крепления) необходимо использовать клавишу SHIFT и левую кнопку мыши, для их удаления – правую. Кнопка используется для тестирования сетки. При необходимости предлагается изменить сетку для конкретной детали. После введения всех исходных данных необходимо нажать кнопку «Применить» .

Конечно-элементная модель прибора, равно как и детали при сборке, строится автоматически. Ранее модели читались только в формате IGES из системы PRO/Engineer. Поэтому подсистема называлась АСОНИКА-М-IGES. В настоящее время импорт 3D-моделей производится из любой CAD-системы в формате SAT. Поэтому подсистема стала называться АСОНИКА-М-3D.

Рассмотрим пример создания конечно-элементной модели прибора (рис. 1.20).



*а*)

*б*)

**Рис. 1.20.** 3D-модель прибора с крышками (*а*) и без крышек (*б*)

Порядок построения конечно-элементной модели прибора следующий.

Ш а г 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.

Ш а г 2. Произведем импорт геометрии прибора из системы PRO/Engineer. С помощью настройки графического интерфейса зададим в поле «Коэффициент масштаба» 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 завершение операции (рис. 1.21).

Ш а г 3. Использовав операции перемещения, поворота и изменения масштаба, произведем масштабирование и изменение положения локальной системы координат прибора (рис. 1.22).

Ш а г 4. Переименуем детали прибора. Для этого находим нужную деталь в таблице, нажимаем на кнопку  и вводим название детали. Результат переименования показан на рис. 1.23.

Ш а г 5. Выбираем материалы для деталей конструкции прибора. Если для какой-либо детали материал не указан, то при моделировании используем параметры материла, заданного в целом для всей конструкции. Из 22 деталей конструкции прибора 14 (большинство) представляют собой релейные ячейки, материалы которых идентичны.

Нажимаем на кнопку  панели инструментов (рис. 1.24) и выбираем из базы данных медиорт (рис. 1.25). Далее поочередно задаем материал для остальных деталей конструкции. Для этого находим деталь в таблице и нажимаем на кнопку  и либо задаем параметры материала, либо выбираем материал из базы: для деталей «Основание», «Блок», «Планка», «Крышка», «Панель» – материал АМг6.М, для деталей «Стойка» – сталь 45.

Ш а г 6. Задаем параметры сетки по аналогии с заданием материала: либо для каждой детали, либо в целом для всей конструкции. Для определения параметров сетки в целом для всей конструкции

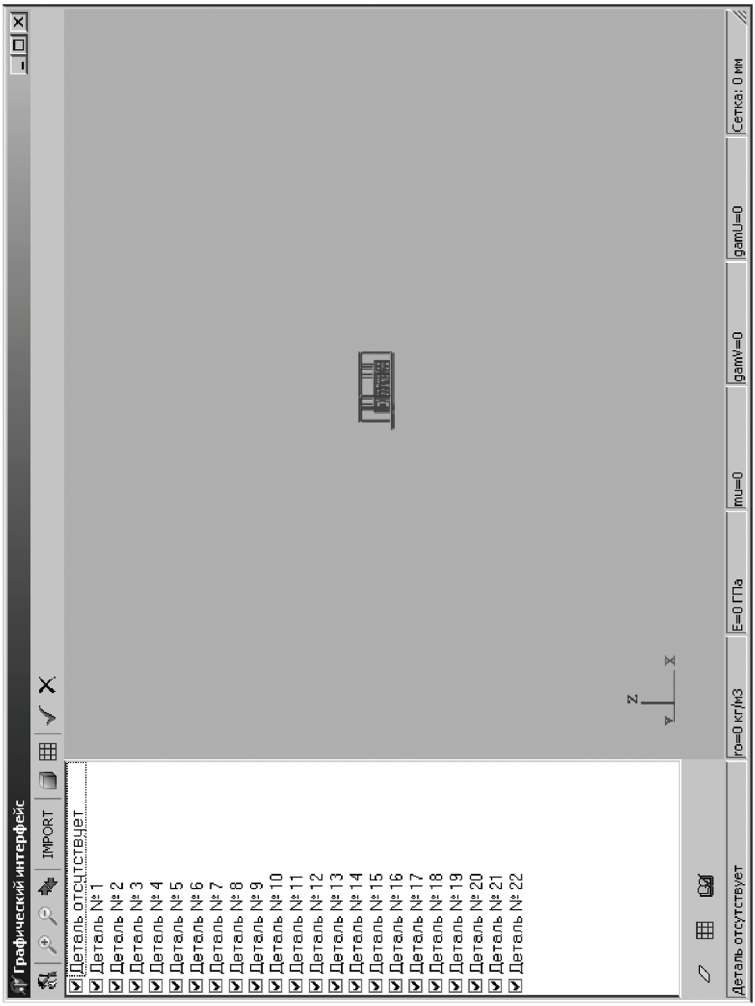



**Рис. 1.21.** Результат операции импорта геометрии прибора

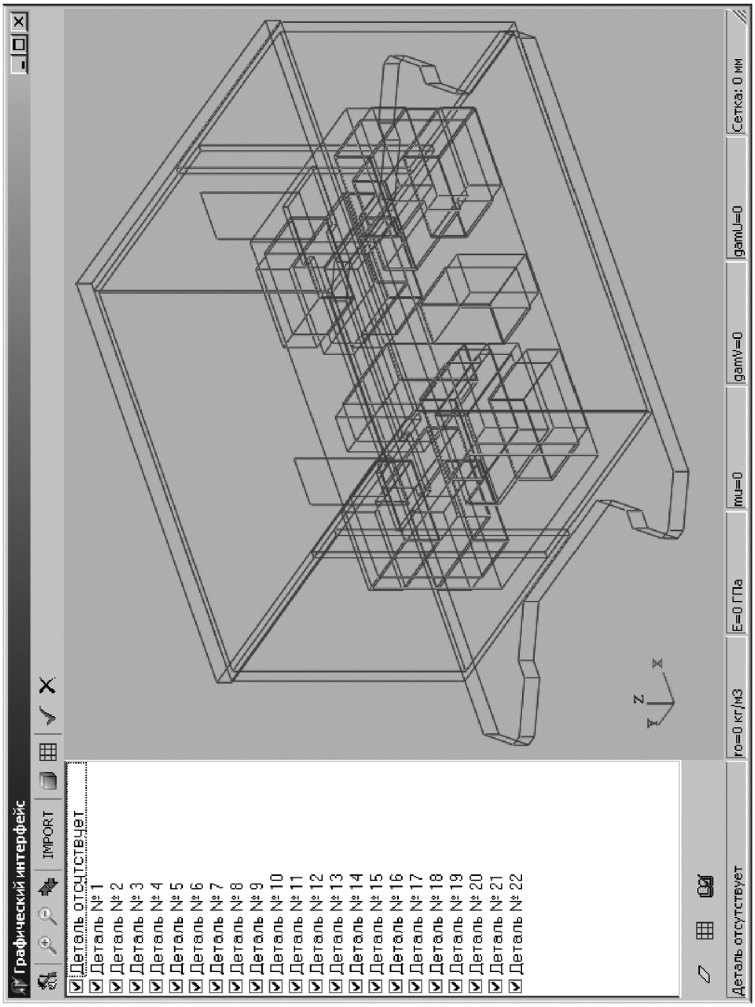



**Рис. 1.22.** Результат операции масштабирования

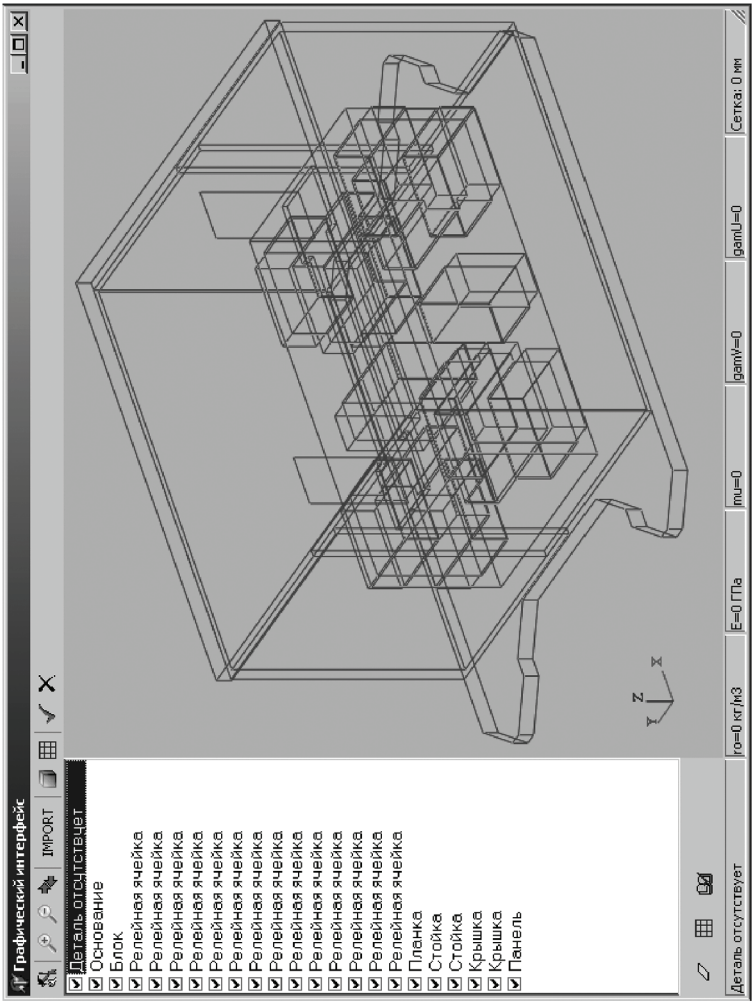



**Рис. 1.23.** Результаты операции переименования деталей прибора

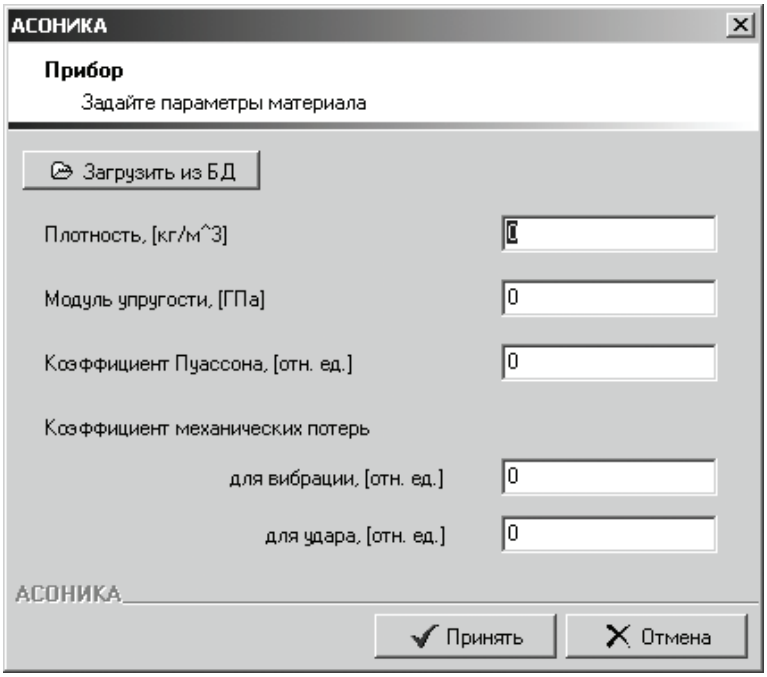



**Рис. 1.24.** Панель для задания параметров материала

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.

Ш а г 7. Для задания граничных условий закрепим лапки прибора. Для этого, удерживая клавишу SHIFT, с помощью левой кнопки мыши выбираем линии, которыми мы ограничиваем перемещения конструкции прибора. В этом случае выбранные линии оказываются черными. Результат задания граничных условий показан на рис. 1.26.

Ш а г 8. Завершаем работу графического интерфейса с сохранением. При необходимости модель прибора можно отредактировать, при этом не обязательно каждый раз производить импорт геометрии прибора.

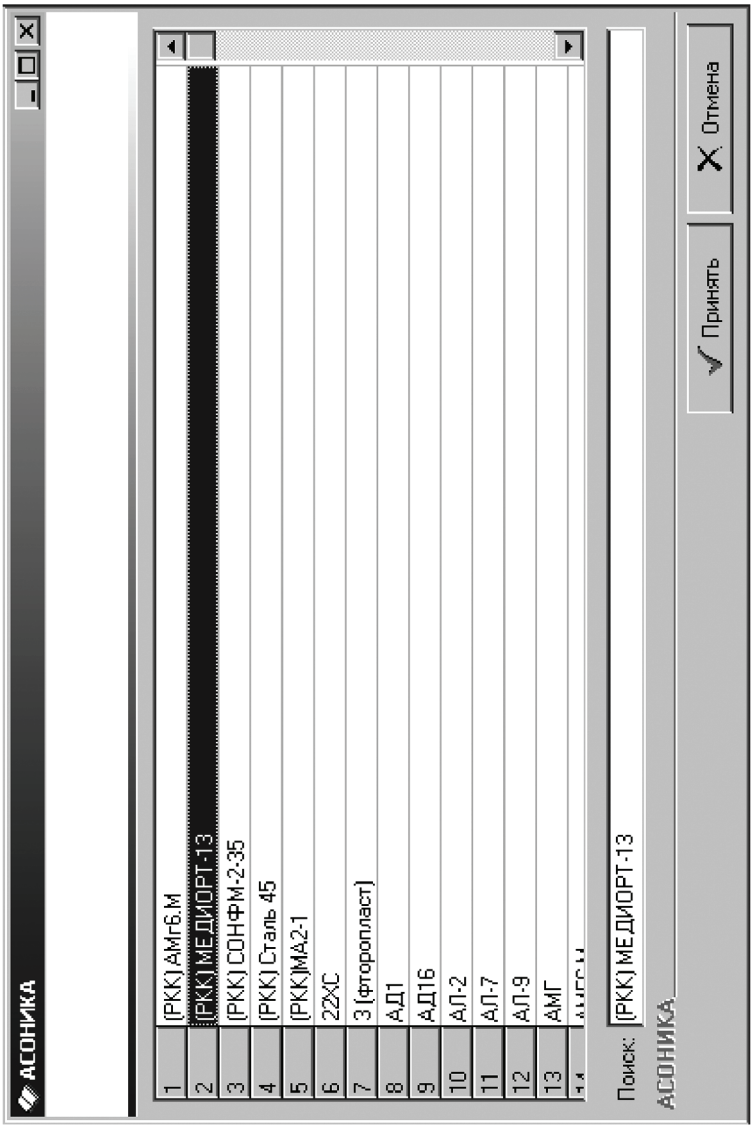



**Рис. 1.25.** Диалоговое окно для выбора из базы данных медиорта

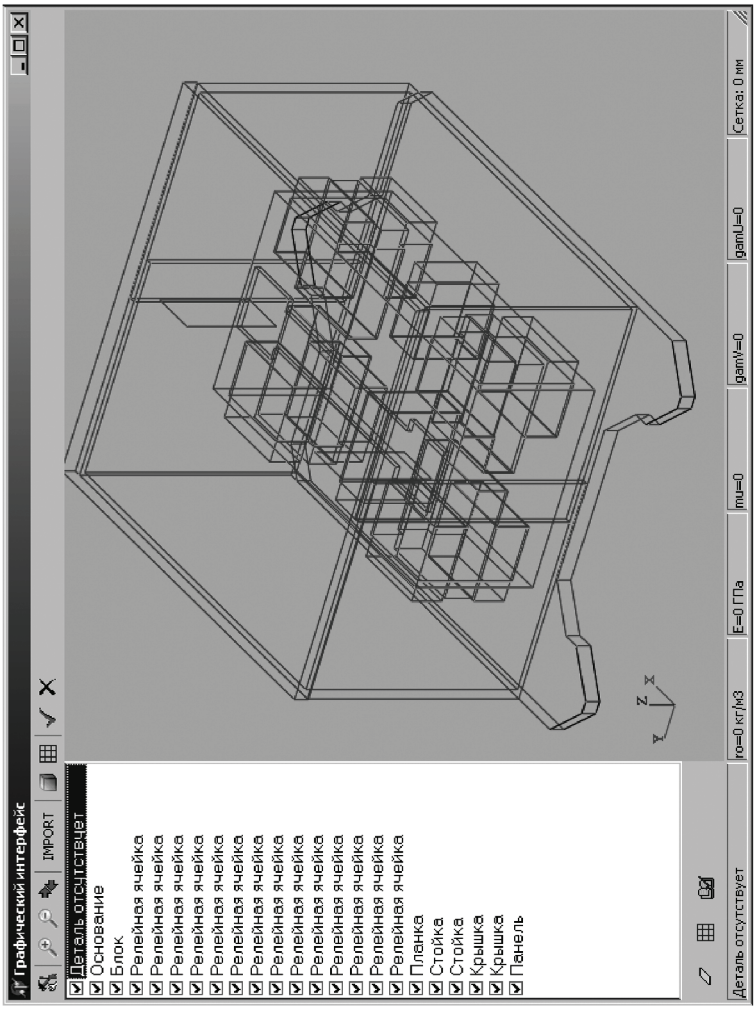



**Рис. 1.26.** Результаты операции задания крепления блока

Ш а г 9. Выбираем параметры механических воздействий и запускаем операцию расчета. 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. 1.27 показаны конечно-элементная модель и поля ускорений гармонической вибрации прибора на первой резонансной частоте 583 Гц.

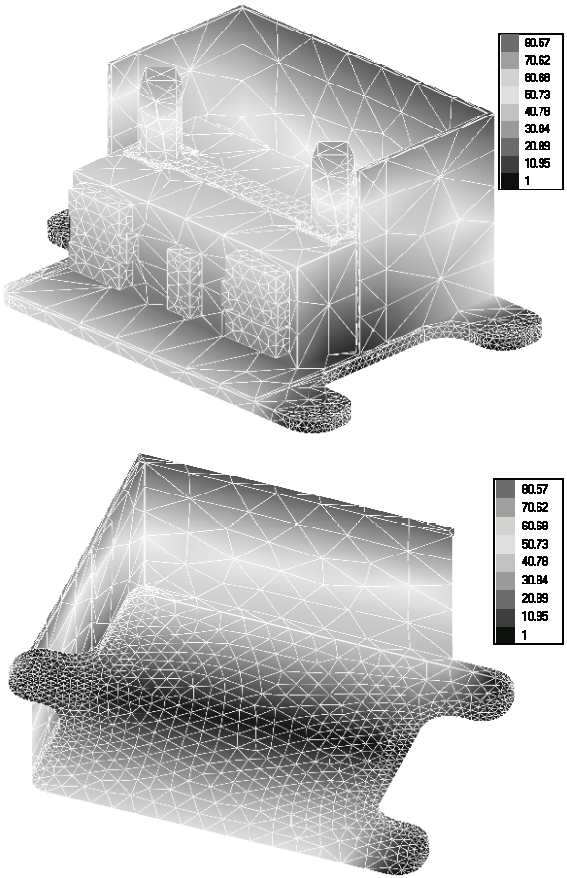



**Рис. 1.27.** Результаты моделирования прибора

## 1.3. Стойкость типовых конструкций шкафов РЭС к механическим воздействиям (АСОНИКА-М-ШКАФ)

Моделирование объекта РЭС, на который воздействуют внешние механические факторы, позволяет определить такие динамические характеристики объекта, как резонансные частоты, ускорения и механические напряжения, а также 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 вибрации, удары, линейное ускорение и акустический шум.

При вибрационных воздействиях в материалах конструкций возникают знакопеременные механические напряжения, что приводит к накоплению усталостных повреждений, а при длительной вибрации – к потере работоспособности РЭС. Чем больше продолжительность вибрационного воздействия, тем скорее теряется работоспособность 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; $\varphi$ – 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 $f_{\text{н}}$ до верхнего $f_{\text{в}}$ значения частоты.

Полигармоническая вибрация в отличие от гармонической описывается более сложной зависимостью амплитуды виброускорения от времени. Моделирование прибора, на который воздействует такая вибрация, аналогично моделированию прибора, испытывающего ударно-импульсные многократные воздействия, возни-

кающие при транспортировке, монтаже, эксплуатации и т.п. В процессе удара элементы конструкции в течение короткого времени испытывают нагрузки, которые зачастую имеют значительную амплитуду, вследствие чего возникающие ускорения и напряжения элементов могут оказаться очень большими и вызвать 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). Их влияние на элементы конструкций обусловлено инерционными силами, которые могут во много раз превышать силы тяготения. При движении объекта по криволинейной траектории, например по дуге, 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 вибраций обусловлено наличием периодических вибраций в суммарном случайном процессе.

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

Случайная вибрация с постоянной спектральной плотностью, называется белым шумом. Белый шум, представляющий собой сумму гармонических колебаний всех частот, имеющих одну и ту же дисперсию амплитуды, является чисто случайным процессом, в котором реализации $x_k^{(t)}$ взаимно независимы для любого конечного множества значений времени $t$.

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

За результаты моделирования принимаются размеры 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 техническое задание на разработку изделия. Подсистема АСОНИКА-М включает в свой состав 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 изначально необходимо построить необходимую модель шкафа по имеющейся конструкторской документации на проектируемый прибор, для чего следует воспользоваться необходимым числом этажей в конструкции и заданными размерами шкафа.

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

Если шкаф имеет несколько этажей, то сначала необходимо задать параметры блока, находящегося на конкретном этаже, а затем задать параметры плат, входящих в состав выбранного блока:

– расстояние от задней стенки шкафа;

– высота шкафа;

– размеры блока по всем трем измерениям;

– число плат в блоке.

После создания модели (рис. 1.28) строим дерево конструкции, состоящее из всех деталей, входящих в ее состав. Если необходимо, то для удобства пользователя стандартные названия деталей можно переименовать в те, которые соответствую наименованиям элементов шкафа по конструкторской документации. Для каждой детали задаем материал и размер дискрета конечно-элементной сетки. Можно сформировать сетку сразу для нескольких деталей, или сразу для всех деталей дерева конструкции шкафа, или для каждой детали в отдельности, что очень удобно при работе с объемными моделями.

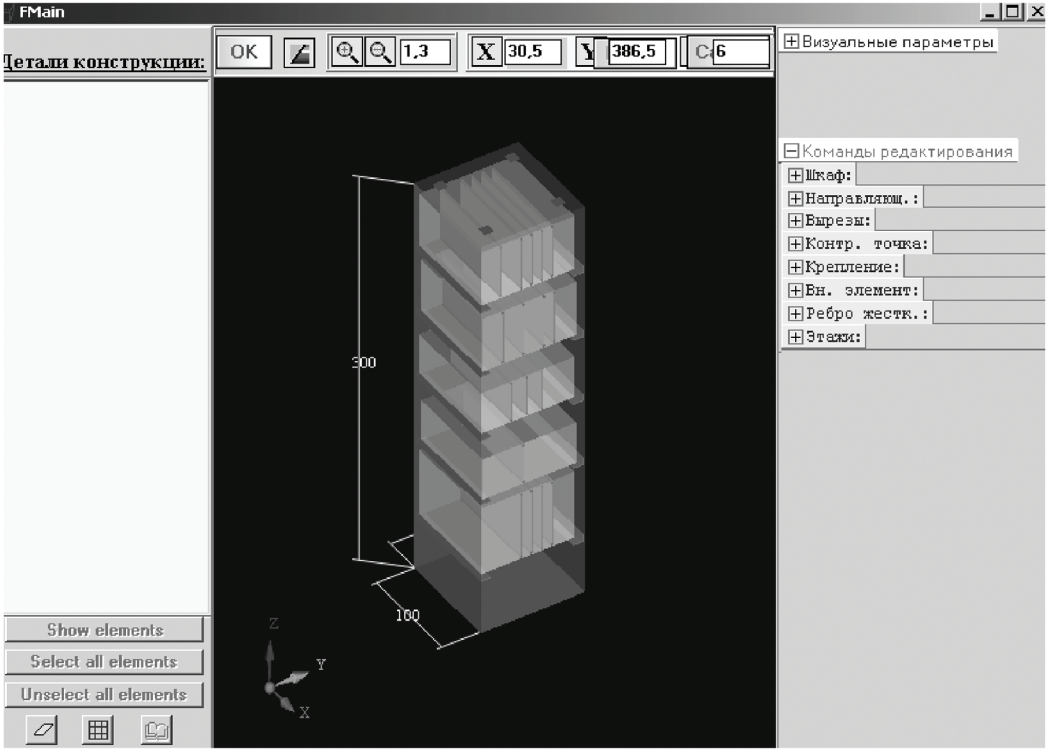



**Рис. 1.28.** Общая модель шкафа, построенного с помощью интерфейса

После построения модели с помощью интерфейса подсистемы необходимо обязательно задать крепление конструкции к любой из шести имеющихся граней, а также конфигурацию элементов крепления: круглое или прямоугольное. Для этого следует ввести параметры крепления в пункте меню «Крепление». Для прямоугольного крепления этими параметрами являются обе координаты центра, а также длина и ширина прямоугольника, для цилиндрического крепления – две координаты центра и радиус. Далее необходимо выбрать грань конструкции, на степени свободы которой накладывается ограничение. Крепления добавятся автоматически в те места, куда указано.

Пользователь может дополнить конструкцию внутренними элементами в виде массы по технологии, аналогичной используемой для добавления креплений конструкции. В конструкцию, где это необходимо, можно также добавить ребра жесткости. После построения произвольной конструкции типового элемента «Шкаф твердотельный» в рамках интерфейса предоставляется механизм, который по выходным данным формирует входные макросы (наборы команд ANSYS, сохраненные в отдельном файле) 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, число 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 для всех входящих в состав конструкции конкретных деталей 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.

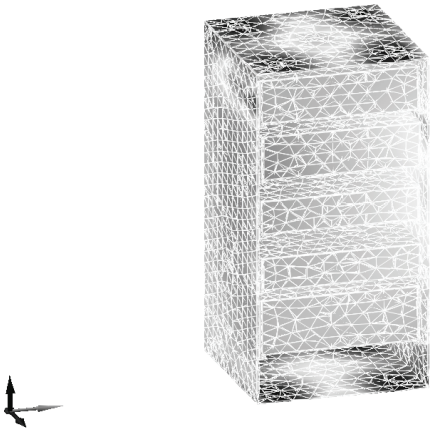
Формированием перечисленных макросов завершается работа с интерфейсом шкафа, после чего следует переход непосредственно к интерфейсу подсистемы АСОНИКА-М-ШКАФ для задания механического воздействия. В результате манипуляций системой формируется еще один очень важный макрос, участвующий в расчетах, это – InitSolution.mac, задающий тот или иной тип механического воздействия, для которого необходимо произвести расчет, например одиночное ударное воздействие, гармоническая вибрация или случайная вибрация.

Далее проводится структурный анализ конструкции на то или иное механическое воздействие с помощью математического аппарата мощной расчетной системы ANSYS 11, для взаимодействия с которой используются специальные макросы. Одним из наиболее важных этапов при разработке данной подпрограммы является разработка макросов. Макросы представляют собой подпрограммы, написанные на языке параметрического конструирования APDL системы ANSYS и запускающиеся на выполнение в пакетном режиме системы, что позволяет в некоторой мере экономить возможности аппаратных ресурсов расчетной станции. При создании макросов были учтены все нюансы, полностью отражающие конструкцию в интерфейсе подсистемы.

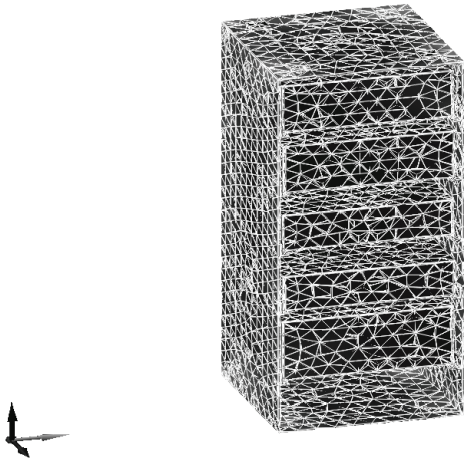
Наиболее трудоемким этапом создания данного интерфейса оказалось непосредственное написание макросов для ANSYS, так как данная комплексная система для всех видов механических расчетов требует определенной математической подготовки и знаний в области механических расчетов. В данном случае АСОНИКА-М – наиболее удобный инструмент для работы конструктора и удобный механизм для взаимодействия с ANSYS.

После выполнения расчета пользователь подсистемы, используя удобный интерфейс, может просмотреть результаты структурного анализа модели на то или иное механическое воздействие и оце-

нить прочностные характеристики созданной модели при действующих нагрузках, а также определить те места в конструкции, где возникают перегрузки, уточнить нагрузки на каждый узел и выяснить места, в которых конструкцию можно оптимизировать. Результаты расчета приведены на рис. 1.29.



*а*)



*б*)

**Рис. 1.29.** Результаты расчетов ускорений (*а*) и напряжений (*б*) в модели шкафа

Целевую функцию можно конкретизировать, если исходить из следующих соображений. Часто при проектировании параметры конструкции заранее задаются с большими запасами по механическим характеристикам. При этом они могут оказаться неоправданными, поскольку требования к прочности могут выполняться и при значительно меньших параметрах, влияющих на массу изделия, например на толщину стенки шкафа. В результате масса конструкции оказывается завышенной. Во избежание этого нужно определить предельное значение выходной характеристики и устремить разность между расчетным и предельным значениями выходной характеристики к нулю, т.е. минимизировать ее, что может быть сделано путем варьирования выбранных параметров.

Каждая выходная механическая характеристика практически всегда имеет 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.

## 1.4. Стойкость к механическим воздействиям конструкций РЭС, установленных на виброизоляторах (АСОНИКА-В)

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

Основу данного метода (рис. 1.30) составляет электронная модель (ЭМ) РЭС, хранящаяся в PDM-системе АСОНИКА-УМ. Модель представляет собой единое пространство параметров и переменных модельного ряда отдельных частей или РЭС в целом, определенных в результате проектирования и комплексных исследований характеристик РЭС средствами математического моделирования в рамках информационного («электронного») взаимодействия разработчиков на любом этапе жизненного цикла РЭС с использованием CALS-

идеологии. Важной составляющей метода является справочная база данных, объединяющая характеристики типовых виброизоляторов и материалов элементов конструкции.

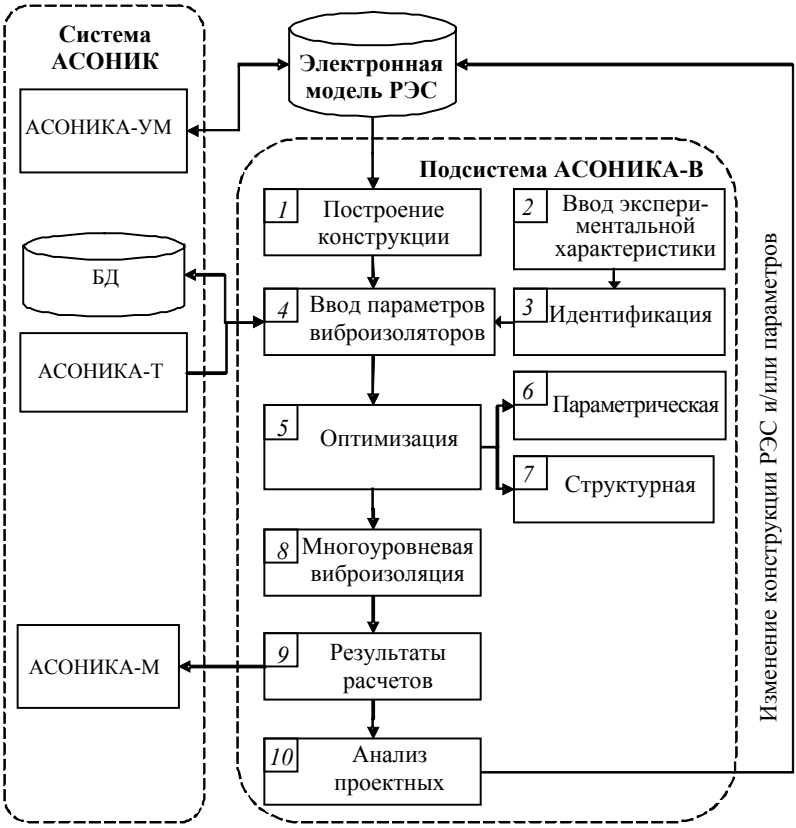



**Рис. 1.30.** Структура автоматизированного синтеза конструкций РЭС на виброизоляторах

Как видно из рис. 1.30, в процессе реализации метода выполняются следующие операции:

– в *блоке 1* на основе трехмерной модели РЭС строится модель конструкции РЭС в подсистеме АСОНИКА-В;

– в *блоке 2* вводится экспериментальная характеристика, полученная в результате исследования РЭС с использованием автоматизированного вибростенда;

– в *блоке 3* на основе полученной экспериментальной характеристики конструкции идентифицируются неизвестные параметры виброизоляторов;

– в *блоке 4* автоматически вводятся параметры, полученные в результате идентификации, либо выбираются типовые виброизоляторы из справочной базы данных. На данном этапе возможна корректировка зависимых от температуры параметров по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т;

– в *блоке 5* конструкция синтезируется для выполнения требований, указанных в НТД;

– в *блоке 6* на основе используемых методов оптимизации выбираются механические характеристики виброизоляторов, необходимых для удовлетворения требований НТД;

– в *блоке 7* подбирается число виброизоляторов и координат их расположения с целью обеспечения требований НТД;

– в *блоке 8* при невозможности выполнить требования НТД с помощью описанных способов поиска наилучшего варианта конструкции применяется многоуровневая виброизоляция, т.е. в интерактивном режиме в конструкцию РЭС вносятся изменения;

– в *блоке 9* проводится анализ полученной конструкции, т.е. рассчитывают графические зависимости амплитуд виброускорений и перемещений от частоты или времени воздействия. Результаты расчетов можно экспортировать в подсистему АСОНИКА-М;

– в *блоке 10* производится анализ результатов и принятие решений. Если полученные характеристики конструкции РЭС не удовлетворяют требованиям нормативно-технической документации, то в ЭМ вносятся изменения, после чего процесс анализа и синтеза конструкции повторяется.

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

## Организация и структура автоматизированной подсистемы АСОНИКА-В

В конструкцию автоматизированной подсистемы АСОНИКА-В, созданной на основе описанного метода и состоящей из множества элементов в виде прямоугольных параллелепипедов с различными

габаритами, 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 следующие задачи параметрического и структурного синтеза: оптимальный выбор коэффициентов механических потерь и жесткости виброизоляторов по всем осям координат, а также координат расположения виброизоляторов и их количества. Главным условием является сохранение допустимых ускорений в конструкциях (как правило, речь идет об ускорениях электрорадиоэлементов, допустимых по техническим условиям при различных механических воздействиях). Кроме перечисленных задач, выполнена идентификация 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 габаритных размеров конструкции РЭС на виброизоляторах;

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

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

Автоматизированную подсистему наиболее целесообразно использовать при разработке РЭС, подвергаемых воздействиям 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:

– совместимость ручного, автоматизированного и автоматического режимов проектирования;

– оперативность взаимодействия подсистемы с внешней средой на всех уровнях проектирования;

– иерархичность построения программных средств;

– единство системы для группы родственных по характеру деятельности объектов;

– 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, обеспечивающее возможность модификации подсистемы и ее развитие; использование высокоэффективного языка программирования, обеспечивающего высокую скорость разработки и высокое быстродействие.

С точки зрения пользователя-конструктора можно отметить следующие требования:

– простота и доступность входного языка: конструктор должен иметь возможность составлять задание на проектирование и описывать входные данные в доступных ему терминах и обозначениях;

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

– многофункциональность системы, т.е. возможность решать задачи проектирования для широкого круга конструкций.

Программное и информационное обеспечение системы должно включать в себя 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 моделирования, анализа разброса параметров, оптимизации, идентификации;

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

– база 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. Результаты расчетов оформляются в виде графиков и таблиц.

Как видно из рис. 1.31, центральным компонентом подсистемы является управляющая программа (монитор), обеспечивающая связь между остальными модулями. Монитор позволяет пользователю выбирать задачи, обеспечивать программу входной информацией, организовать процесс управления программным обеспечением подсистемы в соответствии с принятой методикой проектирования РЭС.




**Рис. 1.31.** Структура подсистемы АСОНИКА-В

С помощью модулей подсистемы можно графически вводить исходные данные конструкции РЭС на виброизоляторах (рис. 1.32), а также данные о механических воздействиях и экспериментальные

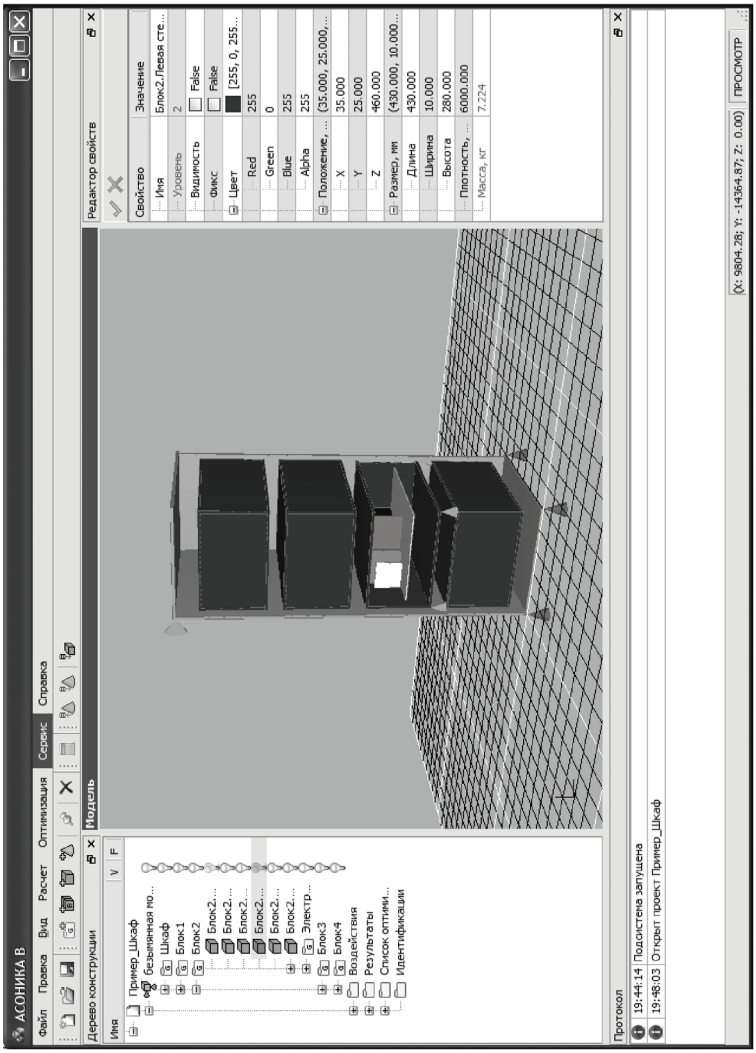



**Рис. 1.32.** Интерфейс трехмерного редактора модели конструкции

характеристики. Препроцессор позволяет автоматически формировать математические модели механических процессов на основе исходных данных.

Расчетное ядро предназначено для вычисления механических характеристик конструкции на основе моделей механических процессов, сформированных препроцессором, и характеристики входного воздействия. Оно 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.

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

С помощью интерфейса связи подсистем АСОНИКА-В и АСОНИКА-Т можно корректировать параметры виброизоляторов для модели АСОНИКА-В по результатам теплового расчета в подсистеме АСОНИКА-Т, а также 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 являются входными для последующего анализа механических процессов.

Используя интерфейс доступа к объединенной справочной базе данных системы АСОНИКА, можно идентифицировать полученные характеристики материалов конструкции с характеристиками типовых моделей виброизоляторов. Полученные характеристики виброизоляторов 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;

– определять 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;

– выполнять структурную оптимизацию конструкций, обеспечивая стойкость к вибрации путем выбора наилучшего варианта расположения и числа виброизоляторов на фиксированной частоте или в диапазоне частот (рис. 1.33);

– идентифицировать неизвестные параметры виброизоляторов по экспериментальной характеристике конструкции (рис. 1.34);

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

– обмениваться данными с другими подсистемами САПР АСОНИКА;

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

При работе с подсистемой рекомендуется пользоваться графическим редактором для создании модели, однако модель можно создать и не визуально, а путем ввода всех параметров вручную.

В качестве основного средства разработки использовалась интегрированная среда Microsoft Visual Studio, язык программировании C++, графический интерфейс подсистемы реализован с помощью библиотеки Qt.

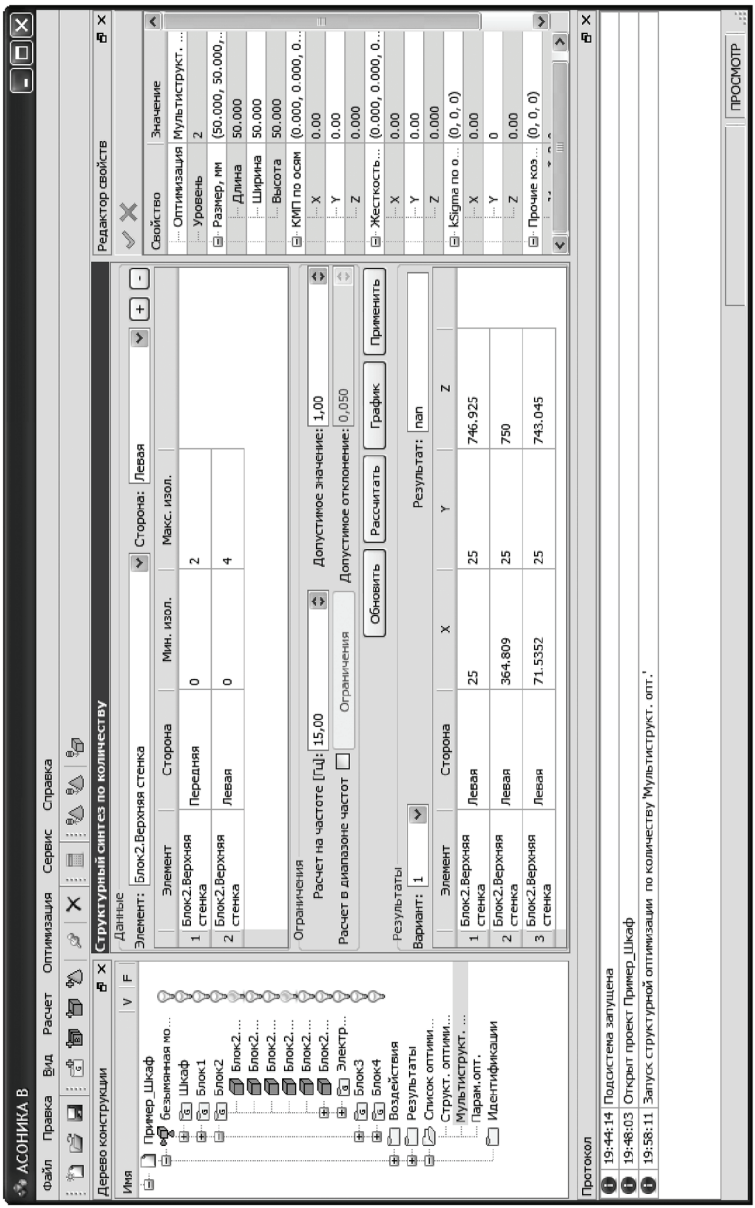



**Рис. 1.33.** Интерфейс ввода ограничений структурной оптимизации по числу виброизоляторов

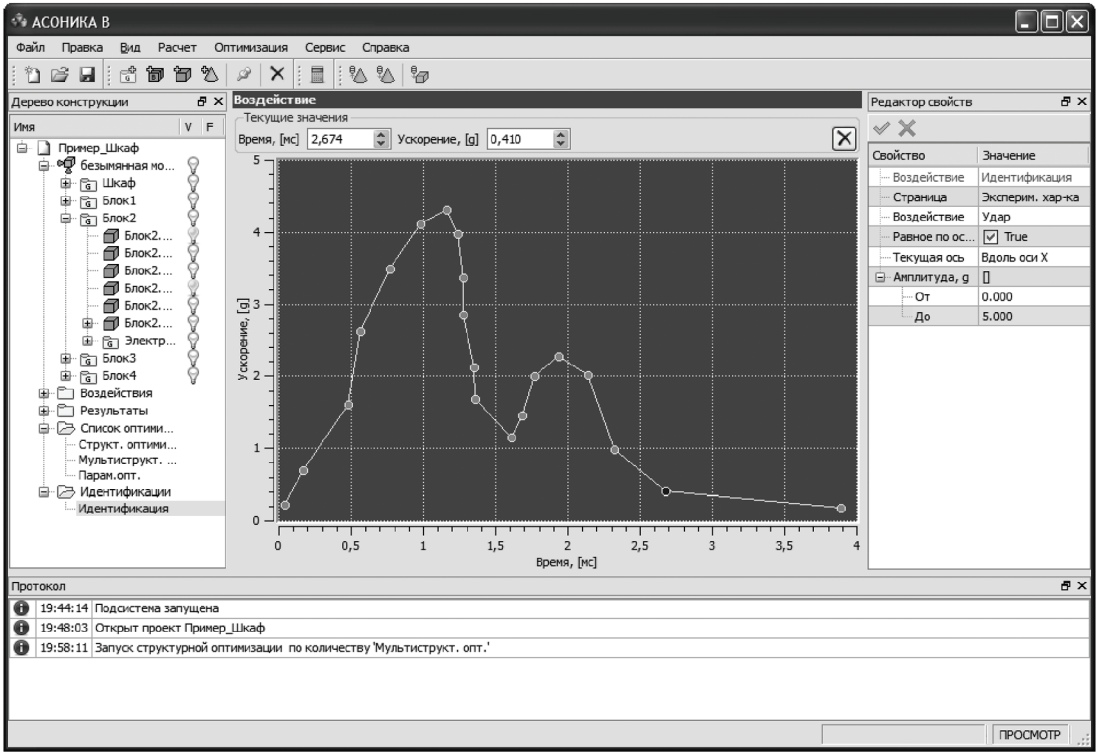



**Рис. 1.34.** Интерфейс ввода экспериментальной характеристики для идентификации

## 1.5. Стойкость конструкций РЭС к тепловым воздействиям (АСОНИКА-Т)

### Назначение и основные возможности подсистемы

Подсистема АСОНИКА-Т может работать как автономно, так и в комплексе с другими подсистемами. Она предназначена для автоматизации моделирования тепловых процессов микросборок, радиаторов, теплоотводящих оснований, гибридно-интегральных модулей, блоков этажерочной конструкции, шкафов, стоек и нетиповых (произвольных) конструкций. При этом можно анализировать тепловые процессы типовых конструкций следующих видов: 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 для обеспечения приемлемых тепловых режимов;

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

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

– создание эффективной программы испытаний макетов и опытных образцов РЭС на тепловые воздействия (при выборе наиболее информационных испытательных воздействий, датчиков и точек их установки в наиболее теплонагруженных местах и пр.).

С помощью подсистемы можно моделировать стационарные и нестационарные тепловые режимы РЭС, а также контролировать причины возникновения нестационарного теплового режима, т.е. изменение во времени температуры окружающей среды, мощности тепловыделения электрорадиоизделий, теплоемкости элементов конструкций и др.

Кроме того, она позволяет учитывать различные условия работы РЭС: в вакууме; в воздушной среде, как при нормальном, так и при пониженном давлении. Принимаются во внимание и различные

условия охлаждения: естественная или вынужденная конвекция, теплоотвод, обдув, применение радиаторов и др.

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

## Моделирование тепловых процессов в конструкциях РЭС

Исходная информация для моделирования:

– эскиз или чертеж несущей конструкции РЭС;

– теплофизические параметры материалов рассматриваемой конструкции РЭС;

– мощность тепловыделений в конструкциях более низкого уровня иерархии, входящих в рассматриваемую конструкцию (складываются из смонтированных в них радиоэлементов РЭС);

– условия охлаждения (граничные условия) конструкции РЭС.

На первом этапе построения модели тепловых процессов (МТП) блока РЭС изделие разбивается на условно изотермические объемы, которыми могут быть, например, ЭРИ, элемент конструкции изделия, воздушный объем внутри блока, окружающая среда, совокупность элементов изделия, весь блок РЭС, часть элемента и т.п. Разбиение зависит от конструкции рассчитываемого объекта, от требуемой точности расчета температур, от принятых допущений при рассмотрении процессов теплопередачи в изделии и т.д. Основная трудность заключается в таком выделении точек в изделии, при котором была бы сохранена точность моделирования и оставалась бы сложность МТП (число узлов) в разумных пределах. Для этого предварительно идеализируют (упрощают) процессы теплопередачи в изделии:

– не учитывают второстепенные виды теплообмена в конструкции изделия (т.е. 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.

Для построения МТП блоков РЭС среди этих условно изотермичных объемов выделяют находящиеся в тепловом взаимодействии. К ним можно отнести:

– объемы, граничащие с единым твердым телом (теплопроводность);

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

– объемы, находящиеся в лучистом теплообмене (излучение);

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

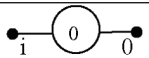
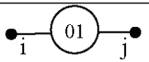
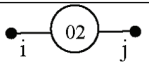
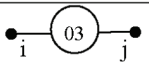
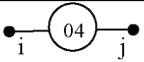
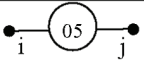
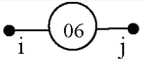
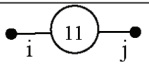
– контактирующие объемы двух твердых тел (контактная теплопроводность) и т.п.

В подсистеме АСОНИКА-Т модель тепловых потоков представляется в виде ненаправленного графа. Вершины (узлы) такого графа моделируют условно изотермичные элементарные объемы конструкции (им соответствуют конструктивные элементы и узлы конструкции РЭС или их фрагменты). Ветви (ребра) графа отображают 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.

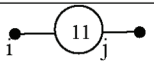
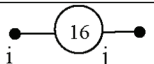
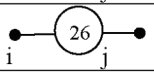
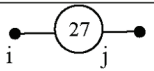
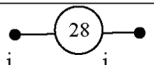
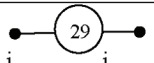
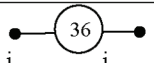
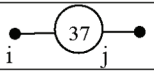
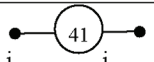
В подсистеме АСОНИКА-Т заложена возможность учета видов тепловых взаимодействий, а следовательно, и возможность применения различных ветвей МТП типов (табл. 1.1).

Для стационарного теплового процесса на основе топологической МТП формируется система нелинейных алгебраических уравнений, а для нестационарного – система обыкновенных дифференциальных уравнений. Для решения этих систем конструктором задаются граничные условия, соответствующие условиям эксплуатации РЭС, причем в первом случае используется метод формул дифференцирования назад (ФДН), во втором – метод простых итераций. Решение обеих упомянутых систем сводится к решению систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (на каждом шаге по времени и/или на каждой итерации по нелинейностям) методом *LU*-разложения с символьной факторизацией и учетом разреженности матрицы тепловых проводимостей.

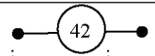
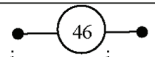
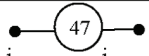
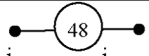
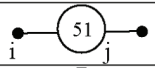
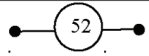
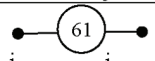
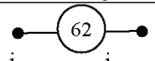
**Таблица 1.1.** ***Типы ветвей, используемых в подсистеме АСОНИКА-Т***

| Номер ветви | Графическое изображение | Характеристика вида или разновидности ветви |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 0 |   | Начальное условие (начальное приближение решения) в узле *i* |
| 1 |   | Заданное тепловое сопротивление |
| Вычисляемое тепловое сопротивление | | |
| 2 |   | В декартовой системе координат |
| 3 |   | В цилиндрической системе координат (радиальное направление) |
| 4 |   | В цилиндрической системе координат (нормальное направление) |
| 5 |   | В цилиндрической системе координат (рокадное направление) |
| 6 |   | В сферической системе координат (нормальное направление) |
| Вычисляемое тепловое сопротивление при контактном теплообмене с пятном контакта | | |
| 11 |   | Прямоугольной формы |

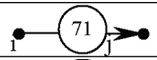
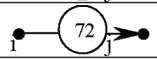
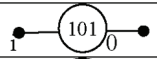
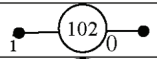
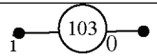
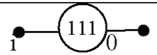
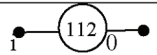
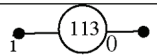
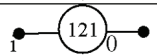
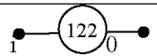
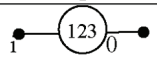
*Продолжение таблицы 1.1*

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 12 |  | Круглой формы |
| 16 |  | Излучение с плоской (неразвитой) поверхности |
| 26 |  | ЕК с плоской (неразвитой) поверхности в окружающую среду |
| Естественная конвекция с неразвитой поверхности различной формы в окружающую среду | | |
| 27 |  | Цилиндрической горизонтальной формы |
| 28 |  | Цилиндрической вертикальной формы |
| 29 |  | Сферической формы |
| Конвективно-кондуктивно-лучистая теплопередача с развитой (оребренной) поверхности | | |
| 36 |  | Пластинчатой формы |
| 37 |  | Игольчато-штыревое формы |
| Кондуктивно-конвективный теплоперенос через тонкие воздушные прослойки различной формы | | |
| 41 |  | Плоской формы |

*Продолжение таблицы 1.1*

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 42 |  | Цилиндрической формы |
| Естественная конвекция между двумя плоскими (неразвитыми) поверхностями | | |
| 46 |  | Горизонтальными (верхняя точка) |
| 47 |  | Горизонтальными (нижняя точка) |
| 48 |  | Вертикальными (воздушный канал) |
| Вынужденная конвекция | | |
| 51 |  | С плоской (неразвитой) поверхности в окружающую среду |
| 52 |  | Обдув развитой (оребренной) поверхности пластинчатой формы |
| 53 |  | Обдув развитой (оребренной) поверхности игольчато-штыревой формы |
| 61 |  | В воздушном канале (канал может разбиваться на части) |
| 62 |  | В воздушном канале с изгибом |

*Окончание таблицы 1.1*

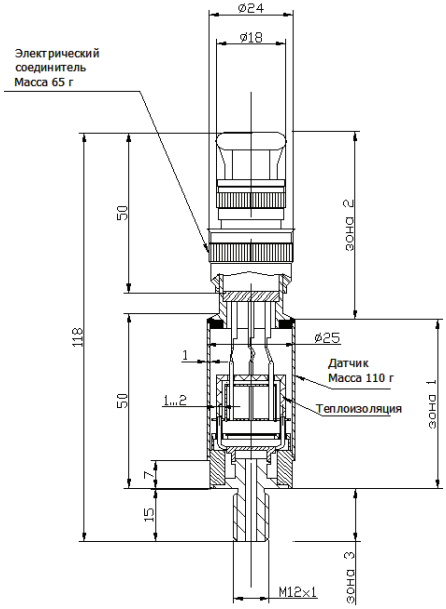
| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| Массоперенос | | |
| 71 |  | В продуваемом воздушном канале |
| 72 |  | Внутри перфорированного блока |
| Источники воздействий и теплоемкости | | |
| 101 |  | Источник постоянной мощности |
| 102 |  | Источник мощности, зависящий от времени (зависимость в виде таблицы) |
| 103 |  | Источник мощности, зависящий от времени (зависимость в виде функции) |
| 111 |  | Источник постоянной температуры |
| 112 |  | Источник температуры, зависящий от времени (зависимость в виде таблицы) |
| 113 |  | Источник температуры, зависящий от времени (зависимость 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<br>125<br>127 |  | Вычисляемая теплоемкость |

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 в виде графика зависимости температуры в узлах модели от времени и таблицы температур в промежутках времени в узлах модели.

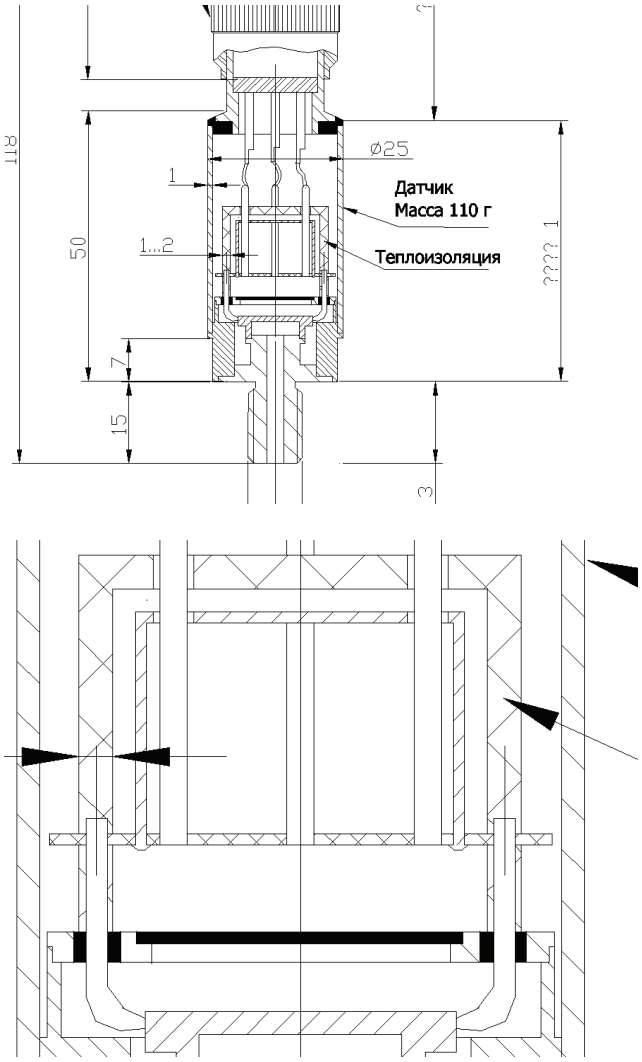
## Пример моделирования тепловых процессов в нетиповой конструкции РЭС

*Постановка задачи.* Рассчитать параметры нестационарного режима работы датчика.

*Исходные данные.* Допустимые значения температуры печатного узла внутри датчика не выше 183ºС, а температуры корпуса не выше 150ºС. Чертежи объекта моделирования (датчика) приведены на рис. 1.35.




*а*)




*б*)

**Рис. 1.35.** Чертежи датчика
в общем виде (*а*) (см. с. 72) и в разрезе (*б*)

Датчик должен работать в условиях воздействия температуры окружающей среды, представленных на рис. 1.36.

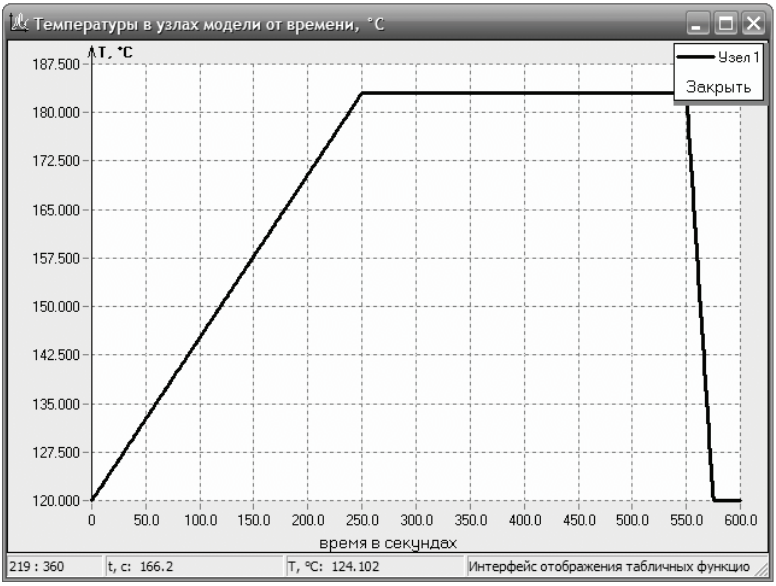



**Рис. 1.36.** График внешних тепловых воздействий

*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;

– 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;

– воздушный объемы воздуха внутри корпуса и внутри экрана над ПУ моделируются каждый своим узлом МТП;

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

При моделировании учитываются следующие виды теплообмена: теплопроводность, естественная конвекция в воздушный объем, излучение.

В соответствии с принятыми допущениями узлы МТП датчика перечислены в табл. 1.2.

**Таблица 1.2.** ***Узлы МТП датчика***

| № узла | Имя узла |
|---|---|
| 1 | Окружающая среда |
| 2 | Корпус датчика низ |
| 3 | Печатный узел датчика |
| 4 | Корпус датчика верх |

| № узла | Имя узла |
|---|---|
| 5 | Теплоизоляция |
| 6 | Воздух под экраном |
| 7 | Воздух под корпусом датчика |
| 8 | Экран |

На рис. 1.37 показана топологическая МТП датчика, а в табл. 1.3 приведены обозначения ветвей, использованные в МТП датчика.

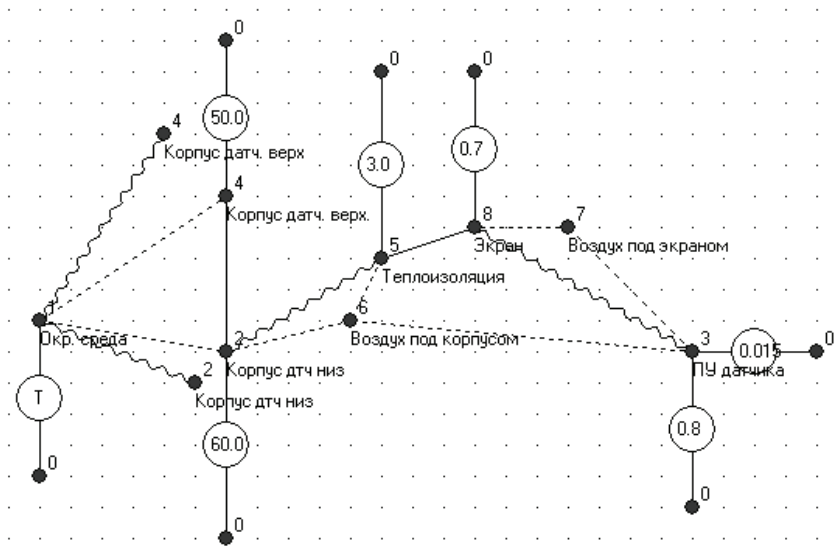
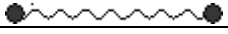
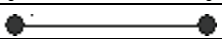
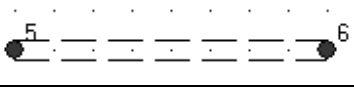
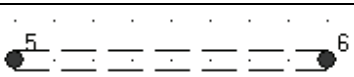
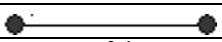
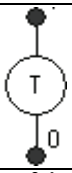
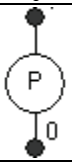



**Рис. 1.37.** МТП датчика

*Результаты расчета.* Получены графики зависимости температуры узлов МТП от времени (рис. 1.38). Поскольку согласно исходным данным тепловое воздействие окружающей среды продолжается не более 600 с, тепловой режим рассчитан с запасом по времени от 0 до 2000 с.

**Таблица 1.3.** ***Ветви в топологической МТП датчика***

| Номер узла | Тип ветви | Обозначение ветви в топологических моделях | Характеристика |
|---|---|---|---|
| 1 | 2 |  | Кондукция (теплопроводность) |
| 2 | 16 |  | Излучение |
| 3 | 11 |  | Контактный теплообмен |
| 4 | 51 |  | Вынужденная конвекция, обдув |
| 5 | 61 |  | Конвекция в канал |
| 6 | 71 |  | Тепломассоперенос |
| 7 | 111 |  | Источник с заданной температурой, °С |
| 8 | 101 |  | Источник с заданной мощностью, Вт |

*Анализ результатов расчета.* При данных параметрах датчик не успеет разогреться до температуры 183ºС при данной степени детализации процесса нагрева.

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

*Варьирование параметров конструкции*. 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 наиболее существенно влияют на тепловые процессы в конструкции, а, следовательно, подобрать необходимые параметры конструкции,

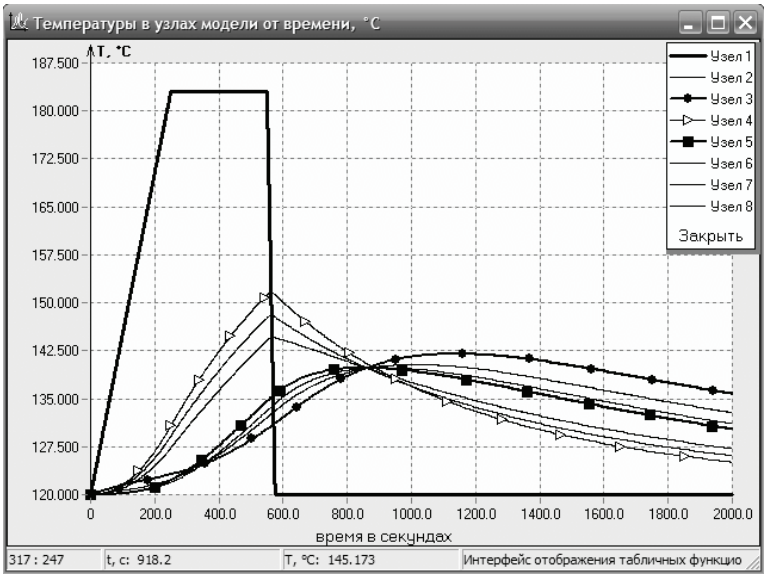



**Рис. 1.38.** Результат расчета теплового режима всех узлов МТП датчика при тепловом воздействии окружающей среды

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

## Пример моделирования тепловых процессов в типовой конструкции РЭС

Физические модели типовых конструкций создаются 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 этого в рабочем окне появится изображение физической модели конструкции, а при ее разворачивании – изображение топологической модели.

В качестве примера приведена конструкция типа «Корпус», эксплуатирующаяся в среде. В диалоговом окне (рис. 1.39) задаются соответствующие параметры корпуса и условий эксплуатации.

Топологическая модель корпуса, сформированная автоматически с заданными пользователем параметрами, представлена на рис. 1.40.

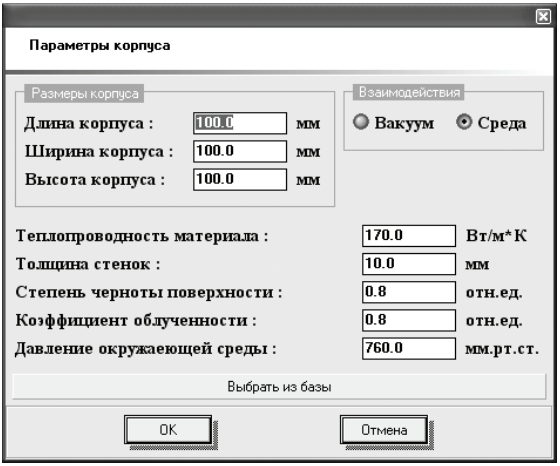



**Рис. 1.39.** Диалоговое окно ввода параметров типовой конструкции «Корпус»

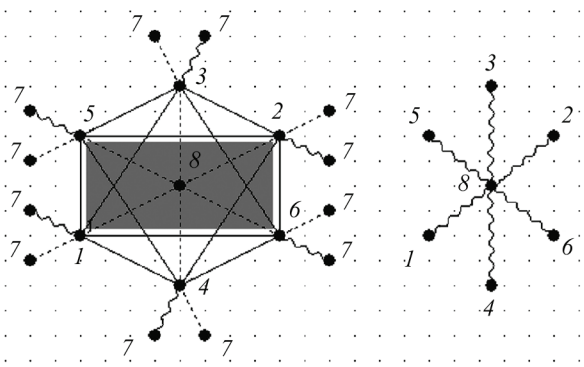



**Рис. 1.40.** Изображение топологической модели корпуса

Данный типовой элемент используется при создании практически любых конструкций РЭС. Для построения МТП конструкции

блока выделены шесть основных элементов: передняя и задняя панели, верхняя и нижняя крышки, правая и левая стенки корпуса. Введены узлы, обозначающие окружающую среду и воздух внутри корпуса.

Каждый узел МТП идентифицирует один конструктивный элемент и обозначается своим номером: *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.

## 1.6. 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, сопоставив экспериментальные данные и результаты математического моделирования, требуется определить неизвестные параметры материалов конструкций РЭС. Наиболее перспективными являются методы идентификации, построенные на принципе настраиваемой модели. Поскольку параметры материалов не зависят от вида механического воздействия, предлагается проводить идентификацию при гармонической вибрации.

Задача идентификации формулируется в следующем виде: необходимо найти такие значения параметров математической модели, которые удовлетворяют минимуму функции цели и лежат в области допустимых значений параметров, т.е. задача идентификации сводится к задаче оптимизации. Функция цели имеет следующий вид:

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

где $m$ – число 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 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 не найдены в справочнике, то идентификация проводится в несколько этапов, каждый раз при суженном диапазоне изменения параметра идентификации.

Идентификацию следует выполнять последовательно в определенном порядке, чтобы оказались задействованными как можно меньше неопределенных параметров (в лучшем случае – один). Эту последовательность можно проследить на конкретных примерах идентификации неизвестных физико-механических параметров изделия: модуля упругости материала несущей конструкции и коэффициента Пуассона, КМП и коэффициента зависимости КМП от напряжения. Чтобы уточнить погрешность измерений, температуру и зависимость амплитуды виброускорения от частоты гармонической вибрации определяют несколько раз, а температуру в эксперименте – в нескольких точках платы. Затем полученные значения усредняются. Для экспериментально полученных значений вибровоздействий и откликов на них определяются: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал. Затем находится погрешность выходного ускорения для каждого значения частоты как погрешность результатов косвенных измерений.

## Идентификация модуля упругости и коэффициента Пуассона материала несущей конструкции РЭС

В этом случае выполняются следующие операции:

– пластина из материала, идентичного используемому в несущей конструкции РЭС, жестко закрепляется винтами по четырем углам на столе вибростенда;

– экспериментально определяется первая резонансная частота пластины;

– 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 о 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;

– по результатам идентификации строится зависимость модуля упругости от температуры. Далее с помощью метода наименьших квадратов определяется коэффициент зависимости модуля упругости $E$ от температуры $K_E$:

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

где $E^{20}$ – модуль упругости при температуре 20ºС; $T$ – температура.

## Идентификация КМП

В этом случае выполняются следующие операции:

– пластина из материала, идентичного используемому в несущей конструкции РЭС, жестко закрепляется винтами в четырех углах стола вибростенда;

– с датчика в центре пластины снимается зависимость амплитуды виброускорения от частоты;

– с помощью программы идентификации проводится настройка ММП пластины на экспериментальную зависимость. При этом идентифицируются $\gamma_0^{20}$ и $k_\sigma^{20}$;

– по результатам идентификации строятся зависимости $\gamma_0$ и $k_\sigma$ от $T$.

Далее определяются следующие коэффициенты:

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

где $\gamma_0$ и $k_\sigma$ – КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения; $\gamma_0^{20}$ и $K_\sigma^{20}$ – КМП и коэффициент зависимости КМП от напряжения при температуре 20°С; $K_\gamma$ 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. 1.41). 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.

Для проведения расчета необходимо задать следующие параметры пластинки:

– длина, ширина, толщина;

– размер дискрета;

– число элементов крепления;

– диаметр элементов крепления;

– отступ от края пластинки.

Кроме того, следует сформулировать начальные параметры материала:

– модуль упругости материала;

– коэффициент Пуассона материала;

– коэффициент механических потерь;

– плотность материала.

Далее при идентификации модуля упругости и коэффициента Пуассона задаются:

– резонансная частота (экспериментальная), Гц;

– число итераций;

– ошибка, Гц;

Кроме этого, задаются диапазоны изменения:

– модуля упругости, ГПа;

– коэффициента Пуассона, отн. ед.

После того как все параметры, необходимые для расчета, введены, выполняем расчет и получаем результаты (рис. 1.42).

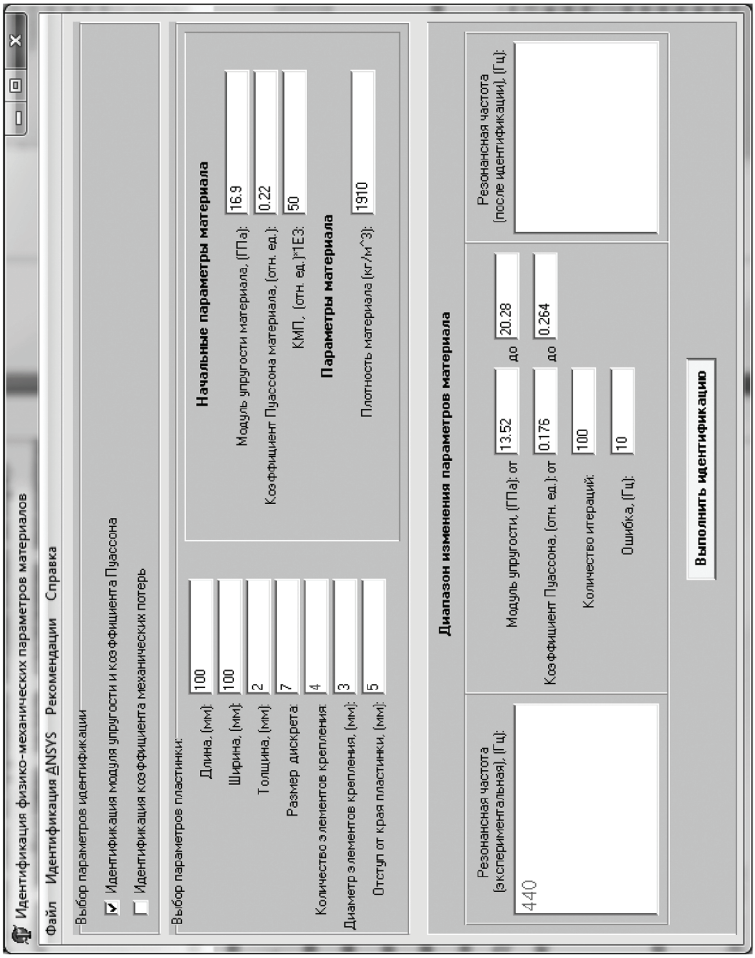



**Рис. 1.41.** Интерфейс программы идентификации

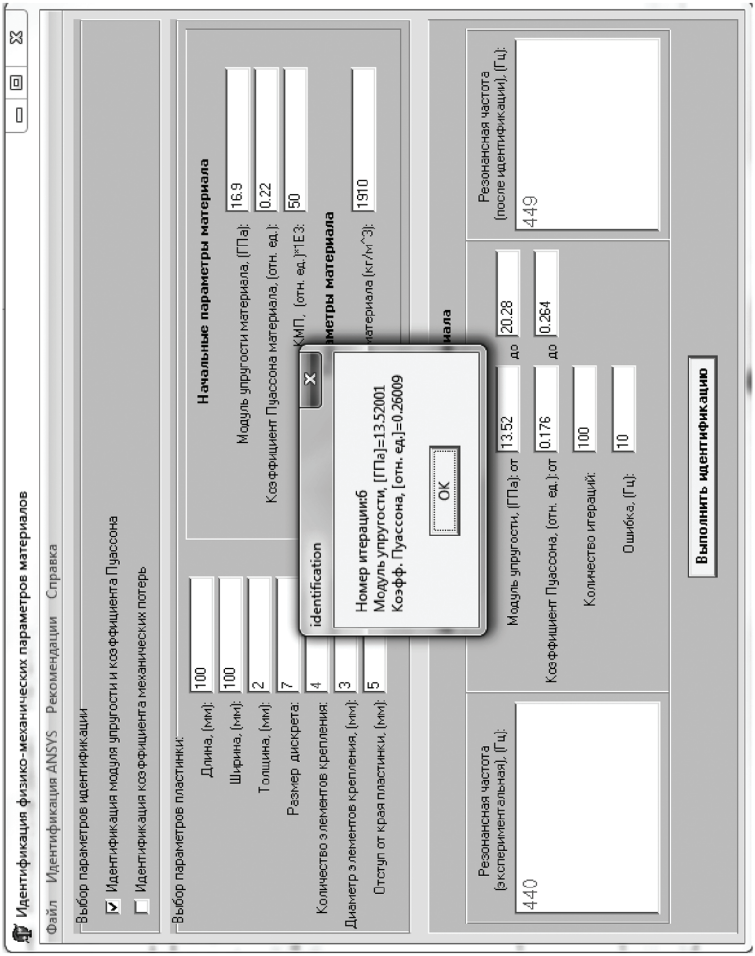



**Рис. 1.42.** Интерфейс программы идентификации после проведения расчета

# ГЛАВА 2

# Моделирование тепловых и механических процессов в печатных узлах и электрорадиоизделиях РЭС

2.1. Стойкость конструкций печатных узлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям (АСОНИКА-ТМ)

2.2. Моделирование механических процессов в печатных узлах РЭС сложной формы

2.3. Усталостная прочность конструкций печатных узлов РЭС при механических воздействиях (АСОНИКА-УСТ)

## 2.1. Стойкость конструкций печатных узлов РЭС к тепловым и механическим воздействиям (АСОНИКА-ТМ)

Подсистема АСОНИКА-ТМ позволяет анализировать воздействия на печатные узлы РЭС стационарных и нестационарных тепловых режимов, а также следующих видов механических воздействий:

– гармоническая и случайная вибрации;

– удар;

– линейное ускорение;

– акустический шум.

На рис. 2.1 показана печатная плата, расположенная в блоке кассетного типа, содержащего девять модулей. Некоторые из них крепятся к металлическому основанию. Проанализируем механические и тепловые воздействия на один из таких модулей, также представляющий собой печатную плату.

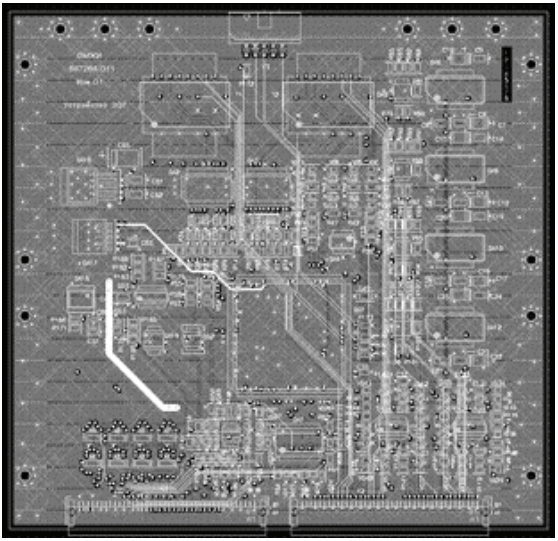


**Рис. 2.1.** Печатная плата

Исследуемая печатная плата была смоделирована в программе PCAD2006, в которой файл сохраняется в формате pdf для после-

дующей передачи в подсистему АСОНИКА-ТМ. Задаются контрольные точки, имитирующие датчики (рис. 2.2).

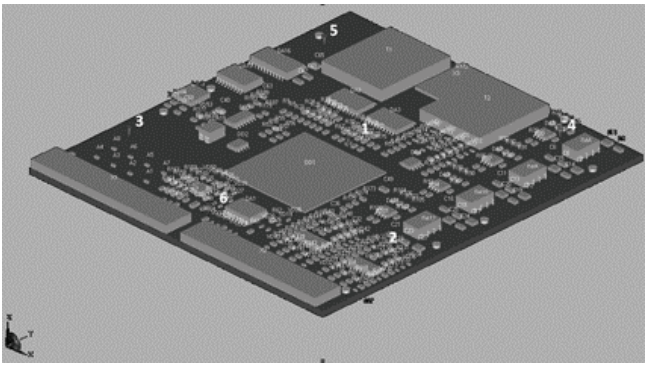



**Рис. 2.2.** Печатная плата с контрольными точками

**Случайная вибрация.** Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и при плавном изменении частоты от 10 до 2000 Гц по каждой из трех осей соответствовать требованиям настоящих ТУ после воздействия широкополосной случайной вибрации (ШСВ), спектральная плотность виброускорения которой показана на рис. 2.3.

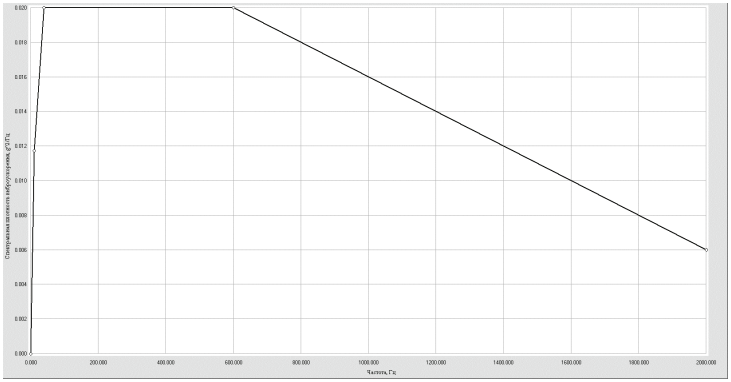



**Рис. 2.3.** График воздействия случайной вибрации

**Одиночный удар.** Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям после испытания на прочность узлов крепления при воздействии механического

удара одиночного действия. Осуществляются по три удара в каждом из шести направлений ±*X*, ±*Y*, ±*Z* с пиковым ударным ускорением 12*g* при длительности 15 мс. График воздействия представлен на рис. 2.4.

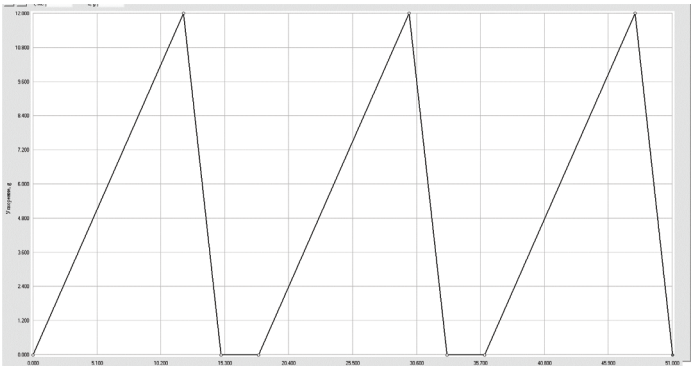


**Рис. 2.4.** График воздействия одиночного удара

**Многократный удар.** Изделие должно быть работоспособным, сохранять внешний вид и соответствовать требованиям ТУ 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 12*g* и длительностью импульса (15±8) мс. График воздействия отдельно взятого импульса представлен на рис. 2.5.

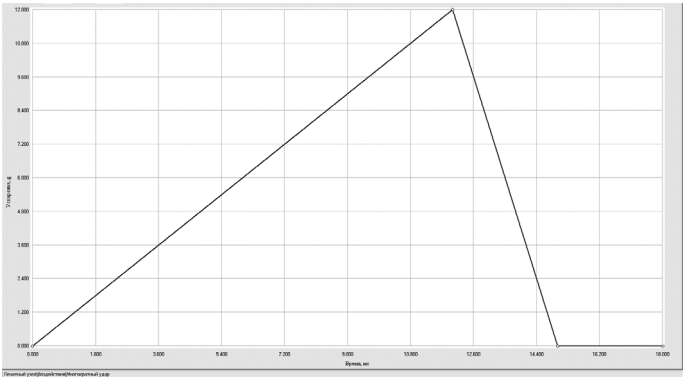


**Рис. 2.5.** График воздействия отдельно взятого импульса многократного удара

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

**Воздействие пониженной температуры.** Изделие должно соответствовать требованиям ТУ и сохранять внешний вид при воздействии температуры среды –60ºС при напряжениях питания: 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 которых можно сделать следующие выводы:

1. При случайной вибрации спектральная плотность в контрольных точках 1, 2, 3, 4, 6 на частотах 480, 790, 1350, 1430, 1950 Гц многократно превышает значения, заданные в ТУ. В качестве примера на рис. 2.6 показан график зависимости спектральной плотности от частоты в контрольной точке 1.

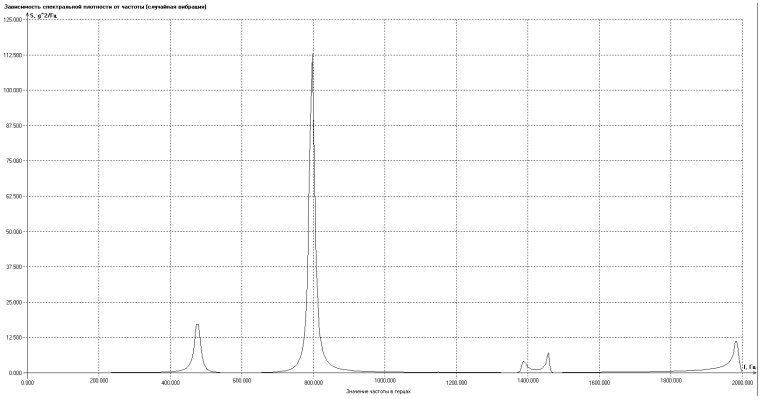



**Рис. 2.6.** Зависимость спектральной плотности от частоты в контрольной точке 1

2. При одиночном ударном воздействии значение ускорения в контрольной точке 2 равно 24*g*, превышая допустимое по ТУ значение 12*g*. Поля ускорений на печатной плате и зависимость ускорения от времени показаны на рис. 2.7 и 2.8 соответственно.

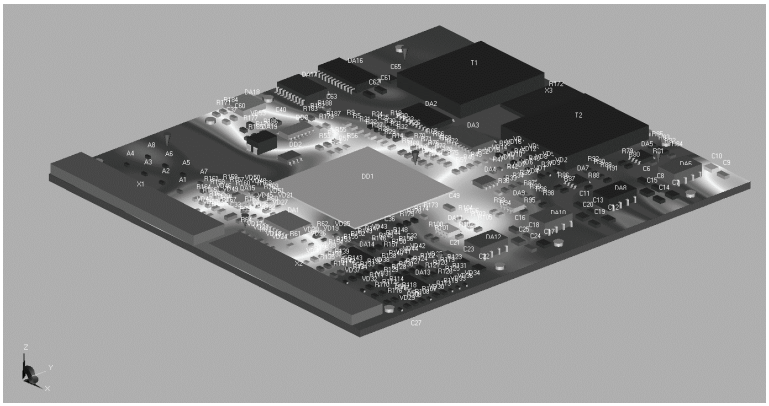


**Рис. 2.7.** Поля ускорений на печатной плате
при воздействии одиночного удара

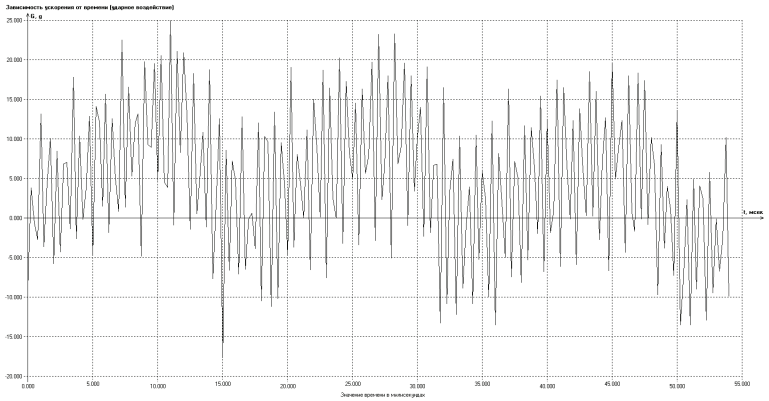



**Рис. 2.8.** Зависимость ускорения от времени
в контрольной точке 2

3. При многократном ударном воздействии ускорения в контрольных точках 1, 2, 3, 4, 6 в разных интервалах времени присутствуют резонансные частоты. В качестве примера на рис. 2.9 и 2.10 соответственно показаны поля ускорений в момент времени $t = 12$ мс и зависимость ускорения от времени в контрольной точке 1.

4. При воздействии климатических факторов перегревов не обнаружено.

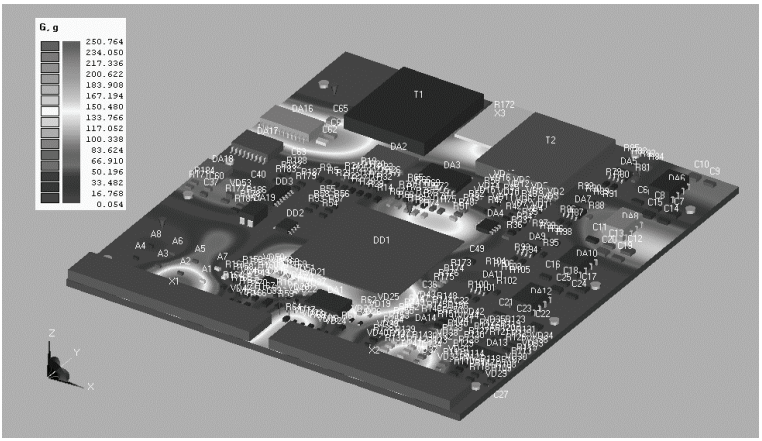



**Рис. 2.9.** Поля ускорений на печатной плате
в момент времени $t$ = 12 мс

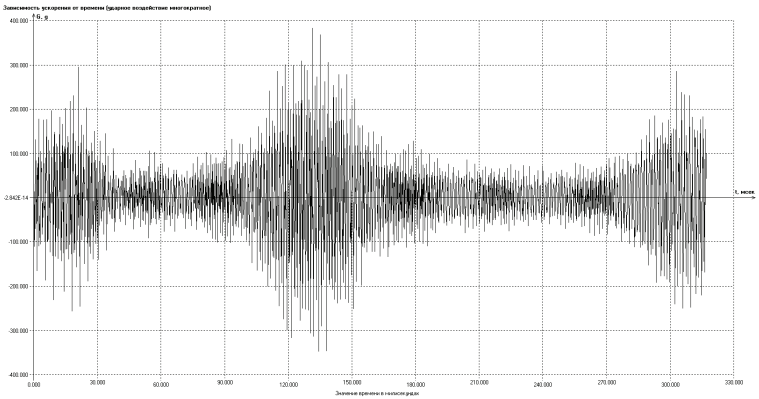



**Рис. 2.10.** Зависимость ускорения от времени
в контрольной точке 1

Полученные результаты дают основание считать, что механические воздействия могут привести к разрушению и потере работоспособности изделия.

На рис. 2.11 показан результат анализа тепловых воздействий на печатный узел. В табл. 2.1 приведена карта тепловых режимов ЭРИ.

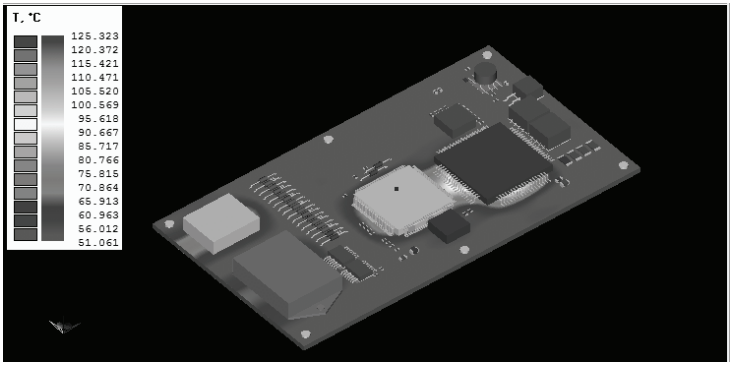



**Рис. 2.11.** Поле температур по печатной плате

**Таблица 2.1.** ***Карта тепловых режимов ЭРИ при стационарном тепловом воздействии***

| № п/п | Обозначение ЭРИ | Сторона | Температура ЭРИ | | Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед. | Перегрев, °С |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Расчетная, °С | Максимальная допустимая 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 |
| 6 | R4 | 2 | 93,902 | 85,000 | 1,105 | 8,902 |
| 7 | R5 | 2 | 93,902 | 85,000 | 1,105 | 8,902 |
| 8 | R6 | 2 | 93,902 | 85,000 | 1,105 | 8,902 |
| 9 | C29 | 2 | 86,387 | 85,000 | 1,016 | 1,387 |
| 10 | C38 | 2 | 83,600 | 85,000 | 0,984 | |
| 11 | C46 | 2 | 83,440 | 85,000 | 0,982 | |
| 12 | C34 | 2 | 83,341 | 85,000 | 0,980 | |
| 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 | |
| … | … | … | … | … | … | |
| 202 | VD11 | 1 | 52,952 | 125,000 | 0,424 | |
| 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 | |

## 2.2. Моделирование механических процессов в печатных узлах РЭС сложной формы

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 измерения механических систем при их динамическом деформировании наиболее удобным оказался вариант метода конечных элементов, при котором принцип возможных перемещений сочетается с принципом Даламбера.

Итоговая система уравнений движения конструкции выглядит следующим образом:

$$[M]\{\ddot{r}\}+[C]\{\dot{r}\}+[K]\{r\}=\{F\}, \tag{2.1}$$

где $\{r\}$ – вектор узловых перемещений; $[M]$, $[C]$, $[K]$ – матрицы масс, вязкого демпфирования и жесткости соответственно; $\{F\}$ – вектор внешних воздействий.

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

$$[K]\{r\}-\omega^2[M]\{r\}=0, \tag{2.2}$$

которая в линейной алгебре называется обобщенной и нацелена на определение ряда значений $\omega_i$ и векторов $\{r_i\}$. Для решения уравнений (2.1) и (2.2) необходимо, чтобы число значений $\omega_i$ было равно порядку системы уравнений. Последовательность $\omega_i$, расположенных по порядку возрастания, называется спектром собственных значений, а соответствующие им векторы $\{r_i\}$ называются собственными.

Для решения обобщенной задачи в общем случае существует довольно большое число методов. Однако при исследовании свободных колебаний конструкций РЭС их прямое применение не оправдано, поскольку в нашем случае вполне достаточно ограничиться определением лишь части спектра, которая соответствует мини-

мальным значениям $\omega_i$. К решению такой частичной проблемы собственных значений применим модифицированный метод Ланцоша со спектральной трансформацией.

При анализе влияния гармонической вибрации наибольшие амплитуды перемещений возникают на частотах, близких к собственным частотам конструкции. Поэтому при выборе частот, для которых выполняется расчет, наиболее рационально использовать переменный шаг. Плотность посева частот должна быть наибольшей в окрестностях собственных частот конструкции, а также зависеть от заданных параметров демпфирования, так как резонансные пики тем острее, чем меньше демпфирована система.

На рис. 2.12 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 следующим образом:

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

где $\Omega^i_{-j}$ – частоты, меньшие собственной частота $\omega_i$; $\Omega^i_{+j}$ – частоты, большие собственной частота $\omega_i$.

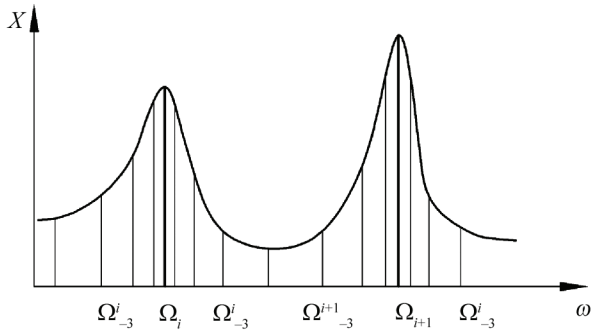



**Рис. 2.12.** Переменный шаг частот при гармоническом анализе

Плотность расположения частот $\Omega$ характеризует коэффициент

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

где $b = \frac{2(N-j)}{N-1}$, $\xi$ – заданный коэффициент демпфирования; $N$ – целочисленная константа, определяющее число частот $\Omega$; $j = 1, 2, 3, \ldots, 2N$.

Описанный подход позволяет уменьшить время расчета при анализе воздействия гармонической вибрации за счет меньшего числа 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:

$$S_d = \sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{n}\varphi_j\varphi_k\left[\sum_{l=1}^{q}\sum_{m=1}^{q}\frac{\varphi_{lj}\varphi_{mk}}{M_j M_k}\times H_j^*(\omega)H_k(\omega)S_{P_lP_m}(\omega) + \right.$$

$$\left. + \sum_{l=1}^{r}\sum_{m=1}^{r}\Gamma_{lj}\Gamma_{mk}\times H_j^*(\omega)H_k(\omega)S_{\ddot{u}_R\ddot{u}_P}(\omega)\right],$$

где $S_d$ – динамическая компонента выходной спектральной плотности ускорений; $n$ – число используемых собственных частот конструкции; $q$ – число степеней свободы, соответствующих незакрепленным узлам, где приложено воздействие; $r$ – число степеней свободы, соответствующих закрепленным узлам, где приложено воздействие в виде ускорения; $\varphi_j$ – форма колебаний конструкции на $j$-й собственной частоте; $\varphi_{lj}$ – $lj$-й элемент матрицы форм колебаний конструкции на собственных частотах; $S_{P_lP_m}$ и $S_{\ddot{u}_R\ddot{u}_P}$ – спектральная плотность воздействия, приложенного к свободным узлам конструкции, и спектральная плотность ускорений, приложенная к закрепленным узлам; $\omega$ – круговая частота воздействия; $H_j(\omega) = \frac{1}{\omega_j^2 - \omega^2 + 2i\omega_j\xi_j\omega}$ – комплексная модальная передаточная функция на $j$-й собственной частоте, связывающая входное воздействие в форме ускорений и реакцию системы в форме перемещений.

Среднеквадратическое ускорение незакрепленных узлов элементов конструкции определяется следующим выражением:

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

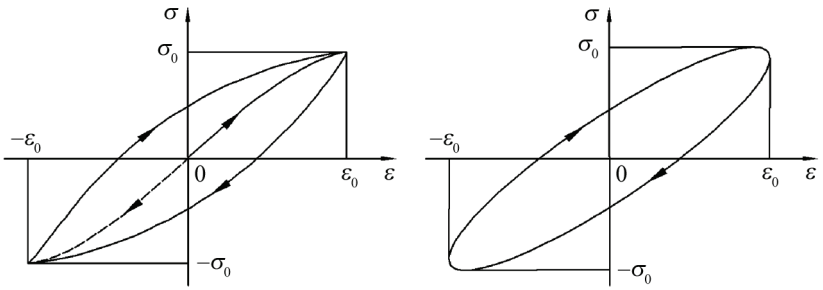
При анализе воздействия случайной вибрации на конструкцию обычно задается спектральная плотность ускорений, которая является линейной (логарифмической) функцией скорости. В этом случае подынтегральное выражение $S(\omega)$ можно представить в виде рациональной дроби $p(\omega)/q(\omega)$, где $p(\omega)$ – полином с действительными членами, а $q(\omega)$ – с комплексными. Полином $q(\omega)$, имеющий $N$ комплексных корней $\Omega_R$, можно разложить на сумму простых дробей:

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

Демпфирующие свойства материала при динамическом нагружении учитываются в формуле Е.С. Сорокина, описывающей эллиптическую петлю гистерезиса (рис. 2.13):

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

где $\sigma$ – нормальное напряжение; $\varepsilon$ – относительная деформация; $\varepsilon_0$ – амплитудное значение относительной деформации $\varepsilon$; $E$ – модуль упругости материала; $\delta$ – логарифмический декремент затухания колебаний.




*а*) *б*)

**Рис. 2.13.** Вид петли гистерезиса, получаемой экспериментально (*а*) и в соответствии с теорией Сорокина (*б*)

Эта формула справедлива лишь для установившихся (стационарных) колебаний. При исследовании знакопеременных переход-

ных процессов ее можно рассматривать как приближенную, заменяя в ней амплитуду деформации $\varepsilon_0$ значением $|\varepsilon_m|$ относительной деформации в точках реверса кривых деформирования материала на каждом полуцикле колебаний.

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.

Для формирования нелинейной матрицы жесткости конструкции достаточно объединить нелинейные матрицы жесткости всех конечных элементов, каждая из которых в общем случае определяется следующим образом:

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

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 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; $\omega$ – частота внешнего гармонического воздействия; $\{F_0\}$ – вектор, содержащий амплитуду внешнего воздействия.

Следует отметить, что элементы матрицы $[K_g]$ в уравнении содержат логарифмический декремент материала $\delta$, зависящий от со-

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

Таким образом, в уравнениях динамического поведения конструкции, соответствующих гипотезе внутреннего трения, т.е. амплитудной зависимости демпфирования, учтена несовершенная упругость материала.

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

С помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ, дополненной программным модулем моделирования механических процессов методом конечных элементов (рис. 2.14), можно моделировать печатные узлы РЭС сложной формы при воздействиях в виде гармонической и случайной вибрации; удара одиночного и многократного действия; линейного ускорения. Подсистема позволяет оценивать в узлах конструкции печатного узла, контрольных точках и на отдельных ЭРИ значения абсолютных и относительных ускорений, прогибов и перемещений, а также механических напряжений.

Результаты моделирования могут быть представлены в следующем виде:

– АЧХ или АВХ в зависимости от типа воздействия на контрольные точки и узлы конструкции, а также на отдельные ЭРИ;

– полей механических характеристик при заданном значении времени или частоты;

– деформации конструкции печатного узла;

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

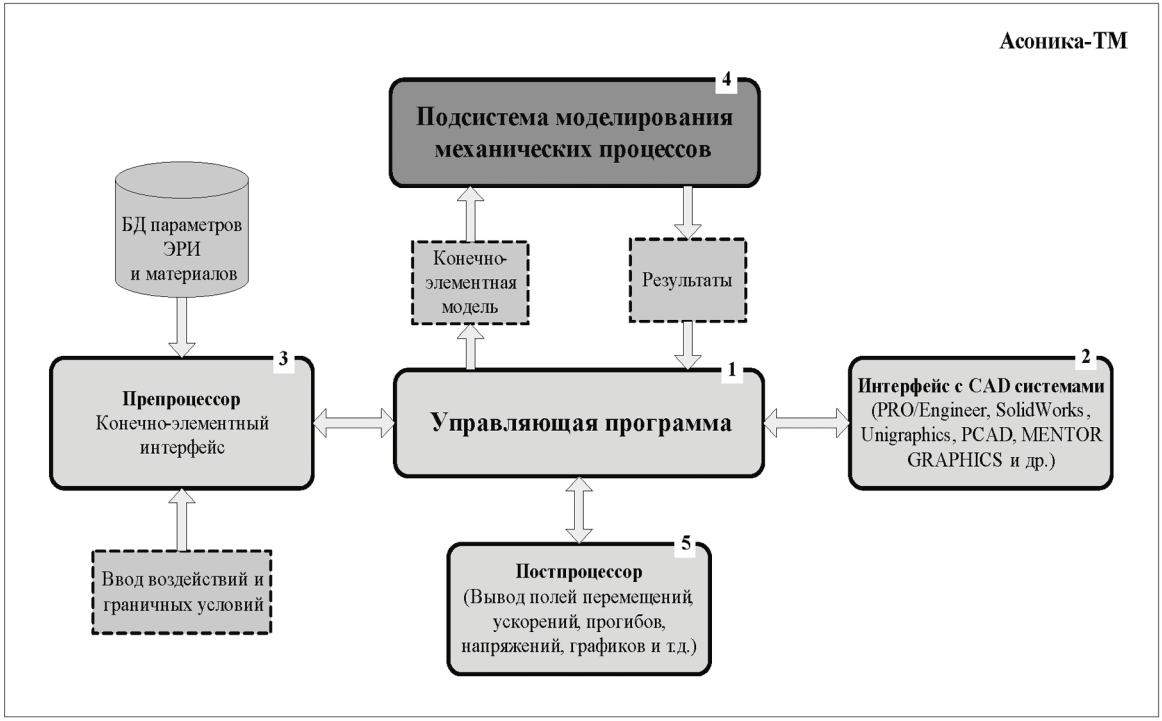



**Рис. 2.14.** Структура автоматизированной подсистемы АСОНИКА-ТМ с программным модулем моделирования механических процессов методом конечных элементов

– карт 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. Для взаимодействия с PDM-системой хранения и управления данными о РЭС используется интерфейс связи с различными CAD системами и системами топологического проектирования печатных плат PCAD, MENTOR GRAPHICS, в которых могут содержаться перечень ЭРИ, координаты размещения ЭРИ на плате, а также геометрия самой платы, что значительно сокращает время на ввод модели печатного узла.

В препроцессоре с помощью 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.

В подсистеме АСОНИКА-ТМ рассмотренный программный модуль моделирования механических процессов выполняет роль механического процессора.

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.

Структура программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов показана рис. 2.15.

Взаимодействие программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов и

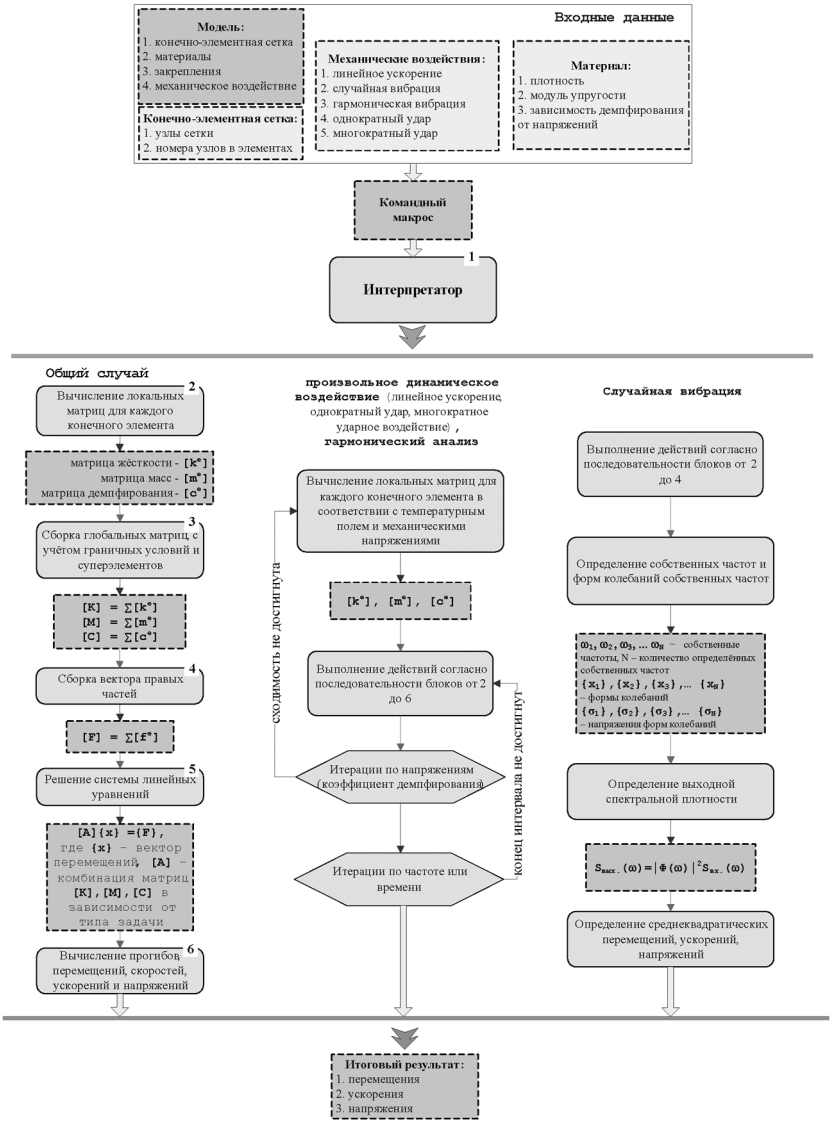



**Рис. 2.15.** Структура программного модуля моделирования механических процессов в конструкциях РЭС методом конечных элементов

подсистемы АСОНИКА-ТМ организовано формированием файла макрокоманд, который обрабатывается внутренним интерпретатором. По полученным входным данным для каждого элемента сначала вычисляются локальные матрицы жесткости, масс и демпфирования, которые затем собираются в глобальные матрицы. В зависимости от типа заданного механического воздействия проводится анализ либо произвольного динамического воздействия, либо случайной вибрации. В первом случае учитывается заданная зависимость демпфирующих свойств материала от механических напряжений, поэтому данный вид 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.

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

– геометрия печатного узла;

– описание слоев материла печатного узла в виде следующих параметров: $Dz$ – толщина слоя; $\rho$ – плотность материла слоя; $E_1$, $E_2$, $E_2$ – модули упругости по осям $x$, $y$ и под углом 45º соответственно; $\mu_1$, $\mu_2$, $\mu_3$ – коэффициенты Пуассона по осям $x$, $y$ и под углом 45º соответственно; $\gamma_0$ – коэффициент механических потерь; $k_\sigma$ – коэффициент зависимости демпфирования от напряжения;

– описание ЭРИ, т.е. обозначение, номер поверхности установки, координаты установки, масса $M_{\text{ЭРИ}}$;

– описание условий закрепления, т.е. координаты, жесткость опоры;

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

Уровни входных механических воздействий задаются в частотном или временном диапазоне:

– для гармонической вибрации виде зависимости амплитуды виброускорения от частоты;

– для случайной вибрации в виде зависимости спектральной плотности ускорения от частоты;

– для удара в виде зависимости ударного ускорения от времени (для многократного удара дополнительно задаются число ударных импульсов и период следования импульсов);

– для линейного ускорения в виде зависимости ускорения от времени;

– для акустического шума в виде зависимости среднеквадратического значения акустического давления от частоты.

По описанным входным данным подсистема АСОНИКА-ТМ формирует файл с макрокомандами, по которым 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) для каждого рассчитанного значения 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 постпроцессоры подсистемы АСОНИКА-ТМ автоматически рассчитывают остальные механические характеристики, необходимые для принятия проектного решения об обеспечении стойкости РЭС к механическим воздействиям и о повышении показателей надежности разрабатываемой аппаратуры (рис. 2.16).

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.

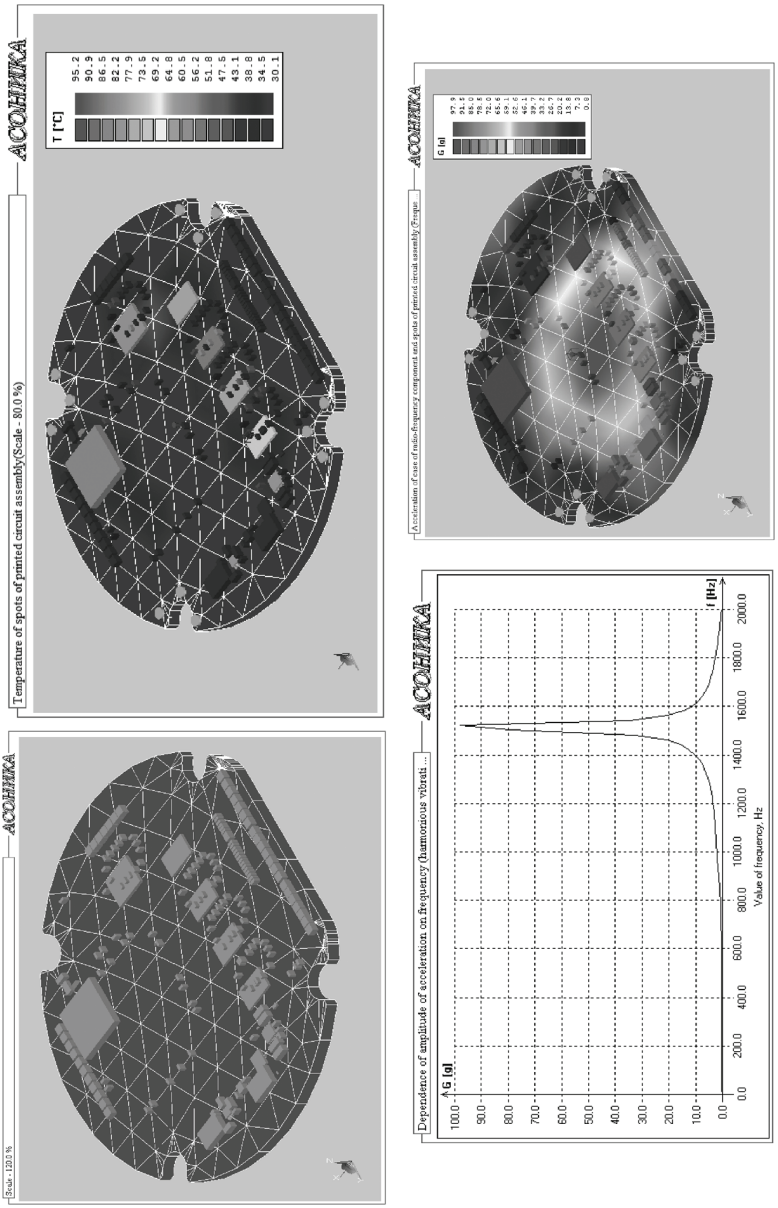



**Рис. 2.16**. Результаты моделирования тепловых и механических процессов в печатных узлах сложной формы

## 2.3. Усталостная прочность конструкций печатных узлов РЭС 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, – важная механическая характеристика. С каждым днем в России разбивается все больше и больше самолетов. Как показывает анализ, для старых самолетов одной из главных причин является выработка ресурса, а для современных – механические и тепловые перегрузки аппаратуры, располагаемой на борту. Новые РЭС, как правило, только испытывают, да и то не в процессе проектирования, а после создания опытного образца. При этом никто не контролирует механические ускорения и напряжения на каждом радиоэлементе, а тем более время до усталостного разрушения. Анализ приблизительно 400 отчетов о результатах механических испытаний приборов и их комплектующих, собранных за восемь лет, показали, что усталость является причиной 80% отказов радиоэлементов.

Экспериментальные исследования РЭС при их проектировании трудоемки и в большинстве случаев не позволяют оценить длительную работоспособность радиоэлементов 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 радиоэлементов в составе печатных узлов (ПУ) и блоков РЭС для анализа усталостной прочности радиоэлементов при механических воздействиях.

Практическое применение аналитических методов для выявления динамики изменений 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 возникать 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 обуславливают 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 его программных реализаций. 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 теоретических знаний и опыта использования данных программ. Кроме того, отсутствие специализированных баз данных о параметрах материалов конструкций РЭС, а также о параметрах радиоэлементов увеличивает время моделирования и ставит под сомнение адекватность моделей, создаваемых с помощью универсальных программ. 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 сегодняшний день необходимого программного и методического обеспечения, позволяющего разработчику РЭС в заданные сроки построить адекватную модель конструкции, рассчитать механические воздействия, оценить время до усталостного разрушения и принять решение о повышении надежности проектируемых РЭС. Это прежде всего связано с тем, что в специализированных программах, используемых для анализа механических ха-

рактеристик конструкций РЭС на уровне блоков, не заложено моделирование механических процессов в выводах РЭ, а в программах, используемых на уровне ПУ и РЭ, предусмотрен только расчет механических напряжений в конструкциях отдельных типовых РЭ, но отсутствует возможность определения зависимости времени до усталостного разрушения от варианта установки, крепежного 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 геометрические особенности типовых и нетиповых РЭ. При реализации методики предполагается, что пользовательские интерфейсы будут автоматизировать формирование геометрических моделей РЭ с помощью специальных алгоритмов, преобразующих геометрические модели в конечно-элементные аналоги, которые позволили бы использовать для моделирования одну из универсальных CAE-систем. Результаты моделирования содержат собственные формы и частоты ПУ, а также перемещения, напряжения и ускорения в узлах конструкции. На основе этих данных, используя параметры выносливости материала РЭ, можно рассчитать время до усталостного разрушения.

На основе сказанного можно предложить схему моделирования (рис. 2.17), согласно которой конструктор РЭС взаимодействует с математическим аппаратом CAE-системы 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 операции, характерные для моделирования механических процессов в конструкциях РЭС, снижая тем самым трудоемкость анализа и работы пользователя, поддающейся формализации. Участие в анализе расчетчика косвенное и сведено к минимуму: он только исследует, создает и внедряет новые модели типовых элементов конструкций РЭС.

В качестве математического аппарата моделирования рассматривается математическое ядро универсальной CAE-системы ANSYS. Благодаря средствам макропрограммирования, встроенным в систе-

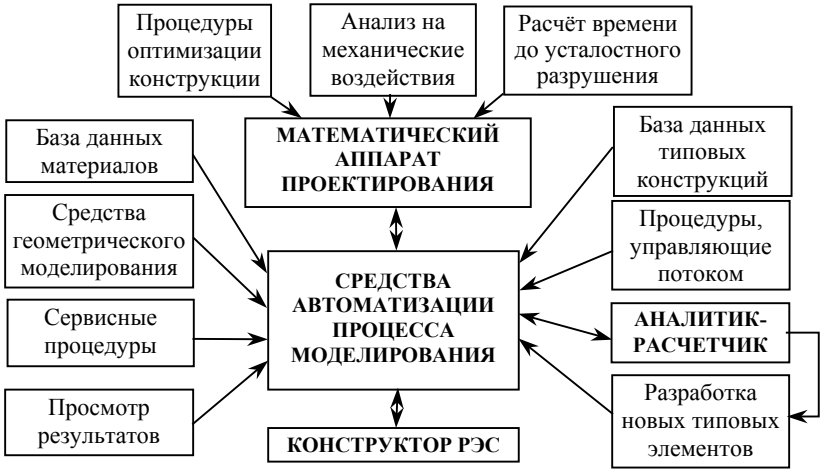



**Рис. 2.17.** Предлагаемая схема процесса моделирования конструкций РЭС

му ANSYS, можно автоматизировать процесс построения и конечно-элементного разбиения различных конструкций РЭ. В качестве специализированной программы для создания геометрических моделей печатных узлов выбрана подсистема АСОНИКА-ТМ, позволяющая создавать геометрические модели РЭ с произвольными вариантами установки и располагающая большими 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 конечно-элементных ANSYS-моделей радиоэлементов, в первую очередь, необходимо преобразовать геометрические примитивы, составляющие модель АСОНИКА-ТМ, в аналогичные геометрические объекты системы ANSYS.

ANSYS-модель включает в себя две взаимосвязанные модели: твердотельную и конечно-элементную, причем первая модель ис-

пользуется лишь как вспомогательное средство для генерации второй, поскольку для анализа нужна лишь вторая.

Одна из основных проблем, возникающих при конечно-элементном разбиении, связана с обеспечением связности модели. Твердотельная модель состоит из набора геометрических объектов или объемов различной формы. Без дополнительных усилий эти объемы останутся не связанными между собой, сосуществуя в пространстве как совокупность разрозненных объектов. На этапе конечно-элементного разбиения будет сформирована своя сетка элементов. В результате геометрическое расположение узлов сетки в местах касания объемов окажется различным для каждого из соприкасающихся объемов. Такая модель не гарантирует передачи нагрузок и деформаций между частями конструкции, моделируемыми разрозненными геометрическими объектами, и не пригодна для анализа.

Для обеспечения связности на этапе твердотельного моделирования необходимо с помощью 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. Кроме касания, объекты также могут пересекаться, т.е. занимать общее пространство. В последнем случае перед выполнением связывания приходится отсекать часть одного из пересекающихся объемов.

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

– большинство выводов РЭ представляют собой трубу круглого или прямоугольного сечения, состоящую из нескольких участков, разделенных местами перегиба. Вывод может касаться или пересекаться с корпусом или элементами крепления. Размеры корпуса, как правило, значительно превышают размеры выводов. При этом отдельные модели РЭ могут содержать не один десяток выводов. Принимая все это во внимание, а также то, что именно выводы – наиболее уязвимые части конструкции РЭ с точки зрения усталостной прочности, необходимо создать оптимизированные алгоритмы КЭ разбиения геометрии выводов стандартной формы;

– при создании твердотельной модели тонкие элементы конструкции (например, клеевое соединение, а также различные прокладки) могут быть отброшены без потери жесткости;

– 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 формирования (генерации) конечно-элементных 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. 2.18.

Усталостное разрушение представляет собой сложный, с трудом поддающийся точному описанию на микроскопическом уровне, физический процесс, в который включаются 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.

Для анализа усталости при различных типах нагрузки было предложено множество теорий, методов и гипотез, особенно в последнее время. Среди них можно выделить:

– механизм непрерывного накопления повреждений (Continuum Damage Mechanics), позволяющий рассматривать процесс накопления повреждений как непрерывный интегральный процесс, вследствие чего отпадает необходимость введения понятия «цикл нагружения»;

– методы критических плоскостей (Critical Plane Approaches), постулирующие, что усталостное разрушение наступает преимущественно в отдельных плоскостях, называемых критическими, и поэтому рассматривающие накопление повреждений в пределах упомянутых плоскостей.

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

**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;
преобразование каждой строки таблицы в набор макрокоманд ANSYS, которые управляют созданием аналогичного геометрического примитива в системе ANSYS;
отбрасывание тонких элементов конструкции соответствующих некоторому критерию оптимизации;
построение ANSYS-моделей радиоэлементов так, чтобы составляющие их наборы объёмов (ANSYS Volumes) не были связаны между собой.

**3. Обеспечение связности твердотельной модели.**

попарная проверка всего набора объёмов на предмет касания/пересечения средствами логических операций ANSYS и выявление типа геометрического контакта;
усечение части объёма, имеющего меньший приоритет в случае геометрического пересечения (т.е. перекрытия) объёмов;
поиск вырожденных поверхностей в местах контакта объёмов и корректировка модели;
связывание объёмов средствами логических операций, выбор которых зависит от выявленного варианта геометрического контакта;
связывание моделей радиоэлементов с моделью ПУ.

**4. Создание конечно-элементной 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 по внутренним командам проверки ANSYS;
при обнаружении элементов «слабой формы» – повторное разбиение объёмов с изменением опций команды разбиения (до тех пор, пока число элементов «слабой формы» не станет равным нулю либо не достигнет некоторого минимума).

**Рис. 2.18.** Алгоритм генерации конечно-элементных моделей

– основанный на напряжениях (stress-life approach S-N);
– основанный на деформациях (strain-life approach e-N).

Первый подход предполагает наличие достаточно невысоких нагрузок (напряжений) и большого числа циклов. При этом деформации остаются по большей части упругими. Данную модель также

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

При многоцикловой усталости может быть использовано так называемое уравнение Басквина: $0,5\Delta\sigma = \sigma_f'(2N_f)^b$, где $0,5\Delta\sigma$ – амплитуда напряжения в цикле; $N_f$ – число циклов до разрушения; $\sigma_f'$ – коэффициент усталостной прочности, зависящий от материала; $b$ – показатель усталостной прочности (показатель Басквина), зависящий от материала.

Уравнение Басквина – одно из основных, используемых при многоцикловой усталости, хотя на практике чаще используется следующая зависимость: $N_f = N_b\left(\sigma_0/\sigma_a\right)^m$, где $N_f$ – число циклов до разрушения; $N_b$ – базовое число циклов (обычно принимается $N_b = 10^7$); $\sigma_0$ – предел выносливости (или предел усталости) для материала; $\sigma_a$ – амплитуда напряжения в цикле; $m$ – параметр, зависящий от материала.

При малоцикловой усталости основным считается уравнение Мэнсона–Коффина–Басквина: $0,5\Delta\varepsilon = \frac{\sigma_f'}{E}(2N_f)^b + \varepsilon_f'(2N_f)^c$, где $0,5\Delta\varepsilon$ – амплитуда полной деформации в цикле; $N_f$ – число циклов до разрушения; $\sigma_f'$ – коэффициент усталостной прочности (fatigue strength coefficient), зависящий от материала; $b$ – показатель усталостной прочности или показатель Басквина (fatigue strength exponent), зависящий от материала; $\varepsilon_f'$ – коэффициент усталостной пластичности (fatigue ductility coefficient), зависящий от материала; $c$ – показатель усталостной пластичности (fatigue ductility exponent), зависящий от материала; $E$ – модуль упругости.

Обе модели разрабатывали при испытании опытных образцов в условиях простого нагружения (циклическое растяжение–сжатие, кручение). В результате получали экспериментальные кривые, характеризующие зависимость циклически изменяющегося параметра

(напряжения или полной деформации) от числа циклов до разрушения. При многоцикловой усталости такие зависимости называют кривыми усталости, или кривыми Веллера (Wöhler curves).

Для их применения в условиях сложного (многоосевого) нагружения применяются так называемые эквивалентные величины (эквивалентные напряжения или эквивалентные деформации). Например, чтобы использовать кривую Веллера (построенную для опытного образца в условиях циклического растяжения–сжатия) при многоосевом циклическом нагружении 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. Наиболее известны критерии в терминах главных напряжений:

– критерий максимального главного напряжения $\sigma_1 = \sigma_e$;

– критерий максимального касательного напряжения (критерий Треска) $\left|\left(\sigma_1 - \sigma_3\right)/2\right| = \tau_e$;

– 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 тогда, когда история нагружения характеризуется графиком зависимости спектральной плотности нагрузки от частоты. Такие методы, иногда называемые спектральными, позволяют проводить расчет усталости при вероятностном анализе, например при анализе случайной вибрации.

Обычно к усталостному разрушению радиоэлектронных средств приводят длительные воздействия, т.е. вибрации и многократные

удары. 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. Таким образом, при гармонической вибрации задача расчета этого времени достаточно тривиальна, поскольку

– 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.

При случайной вибрации алгоритм расчета времени до усталостного разрушения 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 трудно оценить для данной гипотезы 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, т.е. накопление усталостных повреждений в отдельных плоскостях, для которых предполагается, что разрушение наступит с наибольшей вероятностью.

Поскольку результатом анализа случайной вибрации являются спектральные плотности напряжения в узлах конструкции, то для

расчета времени до усталостного разрушения нужно использовать спектральные методы. Для произвольной, в том числе широкополосной, случайной вибрации задействуют различные гипотезы, позволяющие рассчитать время до разрушения непосредственно из спектральной плотности эквивалентной величины.

При ударном воздействии усталостное разрушение может наступить за очень короткое время из-за больших механических напряжений и значительных пластических деформаций. Поэтому модель многоцикловой усталости здесь неприменима.

Использование модели малоцикловой усталости наталкивается на определенные 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, который для сложных конструкций в ANSYS требует больших затрат времени. Во время анализа могут возникнуть проблемы со сходимостью результатов. Это приведет к необходимости уменьшать шаг интегрирования, изменять условия сходимости и т.п. Кроме того, для каждого материала потребуется задавать зависимость 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 – коррекция пластичности с помощью правила Нойбера.

Оценка нециклического нагружения 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 выделенных циклов нужно применить одно из правил суммирования усталостных повреждений. В такой ситуации наиболее распространено правило Пальмгрена–Майнера.

Учитывая сказанное, была 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 конечно-элементного 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. 2.19) 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 конечно-элементной 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. 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.

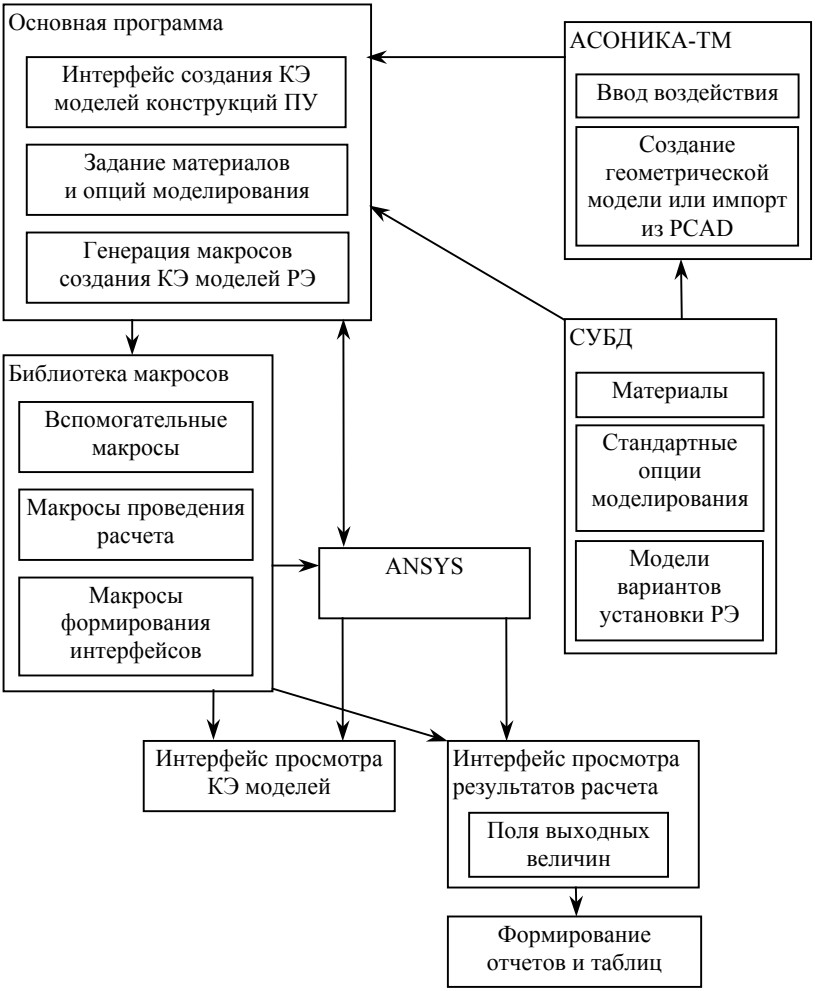



**Рис. 2.19.** Структура автоматизированной подсистемы усталостного анализа конструкций печатных узлов

Структура автоматизированной подсистемы включает в себя, помимо основной программы, следующие блоки: библиотеку макросов, систему управления базами данных (СУБД) и интерфейсы отображения результатов.

В БД собраны модели вариантов установки РЭ, на основе которых, используя минимум параметров (размеры места установки 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 изменять их вручную. Модели материалов, хранящиеся в базе, уже содержат усталостные и механические свойства, и от пользователя требуется указать лишь названия материалов перед проведением расчета.

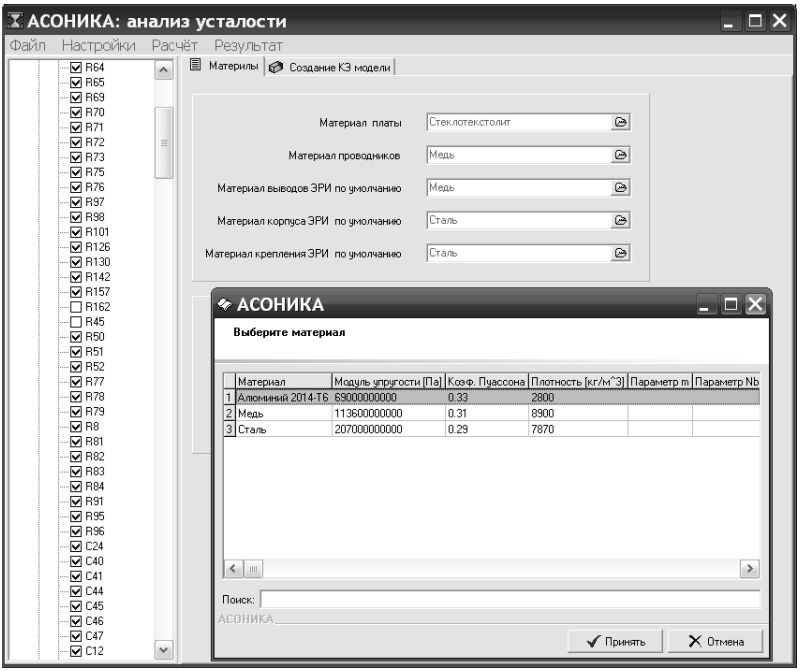
Библиотека макросов, помимо различных вспомогательных макросов и макросов проведения расчета на механические воздействия, содержит также пользовательские интерфейсы на языке tcl/tk, использующие для отображения результатов все графические возможности ANSYS. Основная программа контролирует данные интерфейсы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

Автоматизированная подсистема позволяет проводить анализ усталостной прочности конструкций ПУ при обычных механических воздействиях типа гармонической и случайной вибраций, а также при многократном ударном воздействии. Результатом расчета являются поля перемещений и напряжений, а также время до усталостного разрушения.

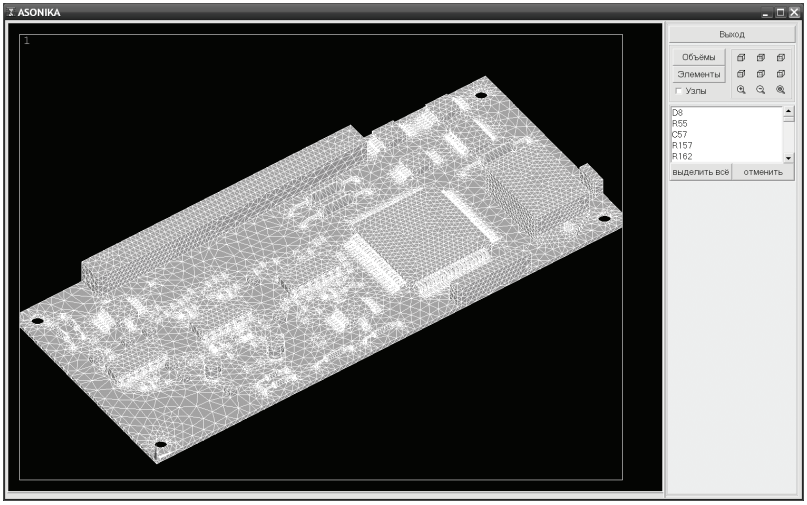
Экранные формы автоматизированной подсистемы по заданию исходных данных и выводу результатов представлены на рис. 2.20.

Рассмотрим методику обеспечения защиты конструкций ПУ от усталостного разрушения с помощью рассмотренной автоматизированной подсистемы. Такую методику можно полагать частью более общей методики обеспечения надежности конструкций РЭС при механических воздействиях с применением системы АСОНИКА.

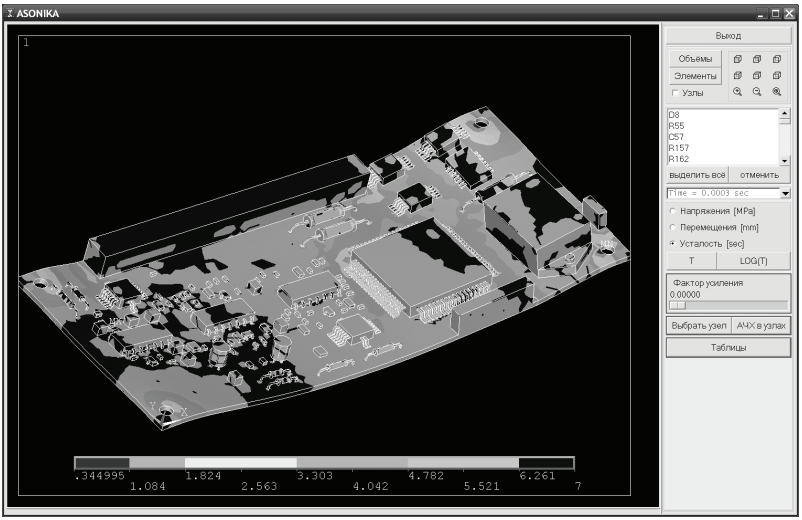
Методика включает следующие этапы:


АСОНИКА: анализ усталости
Файл Настройки Расчёт Результат
Материалы
Создание КЭ модели
Материал платы
Стеклотекстолит
Материал проводников
Медь
Материал выводов ЭРИ по умолчанию
Медь
Материал корпуса ЭРИ по умолчанию
Сталь
Материал крепления ЭРИ по умолчанию
Сталь
АСОНИКА
Выберите материал
Материал
Модуль упругости [Па]
Коэф. Пуассона
Плотность [кг/м^3]
Параметр m
Параметр Nb
1 Алюминий 2014-Т6 69000000000 0.33 2800
2 Медь 113600000000 0.31 8900
3 Сталь 207000000000 0.29 7870
Поиск:
Принять
Отмена

*а*)


ASONIKA
Выход
Объёмы
Элементы
Узлы
D8
R55
C57
R157
R162
выделить всё
отменить

*б*)




*в*)

**Рис. 2.20.** Экранные формы автоматизированной подсистемы:
*а* – задание исходных данных; *б* – просмотр результатов конечноэлементного разбиения (см. с. 120); *в* – просмотр результатов расчета (поле логарифма времени до усталостного разрушения)

1. После создания модели ПУ в подсистеме АСОНИКА-ТМ осуществляется экспорт полученной модели в систему конечно-элементного 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 наибольшей 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.

3. Пользователь просматривает поля и графики выходных механических характеристик (напряжений, перемещений, времени до усталостного разрушения) на предмет визуализации и анализа результатов.

4. В случае превышения расчетными величинами допустимых значений выполняется редактирование конструкции и проводится повторный расчет 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. Результаты сохраняются 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 3

# Создание карт рабочих режимов и анализ надежности ЭРИ

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

3.2. Показатели надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ (АСОНИКА-Б)

3.3. Пример использования подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-Б при проектировании печатных узлов РЭС

3.4. Модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PsPice и подсистем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б

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

В итоге проверки правильности применения электрорадиоизделий (ЭРИ) в аппаратуре получают результаты 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 (НТД) 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);

– карту 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 требований 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 формы 4 и 5 можно не включать в комплект карт сборочных единиц низших ступеней. В этом случае в заполняемые указанные формы для сборочной единицы высшей ступени необходимо включить карты на все ЭРИ, входящие в сборочные единицы низших ступеней.

В окончательном виде комплект КРР предоставляется разработчиком аппаратуры на стадии формирования рабочей документации (по результатам испытаний опытного образца). Комплект КРР можно сформировать на более ранних стадиях разработки, рассчитав параметры элементов схем или использовав результаты.

В подсистему АСОНИКА-Р, предназначенную для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов ЭРИ, заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции (2000 года).

В ее базе данных содержится информация о предельных значениях параметров ЭРИ, взятая из НТД. После задания пользователем перечня ЭРИ программа автоматически заносит информацию о каждом ЭРИ из базы данных в карты режимов в колонки «По НТД», причем при верстке карты значения параметров «В схеме» автоматически сравниваются 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», превышающие соответствующие значения «По НТД», выделяются красным цветом. В базу данных могут вводиться значения параметров «По НТД» в виде числовых констант или в виде табличных, графических и функциональных зависимостей 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 формате А3 и А4.

Перечень ЭРИ, для которых требуются карты рабочих режимов, может быть введен как вручную пользователем, так и путем конвертирования специального файла в рамках интегрированной информационной среды предприятия (PDM-системы) через проме-

жуточный текстовый файл, структура которого представлена далее. Возможен экспорт параметров ЭРИ в автоматизированную подсистему анализа показателей безотказности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б.

Подсистема может использоваться на одном рабочем месте либо в сети если, а на рабочих местах – управляющая программа, а база данных установлена на сервере. При этом редактировать базу данных может только администратор базы.

Алгоритм функционирования программы приведен на рис. 3.1, а ее структура показана на рис. 3.2.




**Рис. 3.1.** Алгоритм функционирования программы

В рамках автоматизированной системы АСОНИКА реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой РЭС, наполняет ее результатами функционирования проблемных подсистем (с их помощью можно моделировать электрические, тепловые, механические и другие физические процессы), а также позволяет интегрироваться с известными системами топологического проектирования печатных плат и известными CAD-системами.

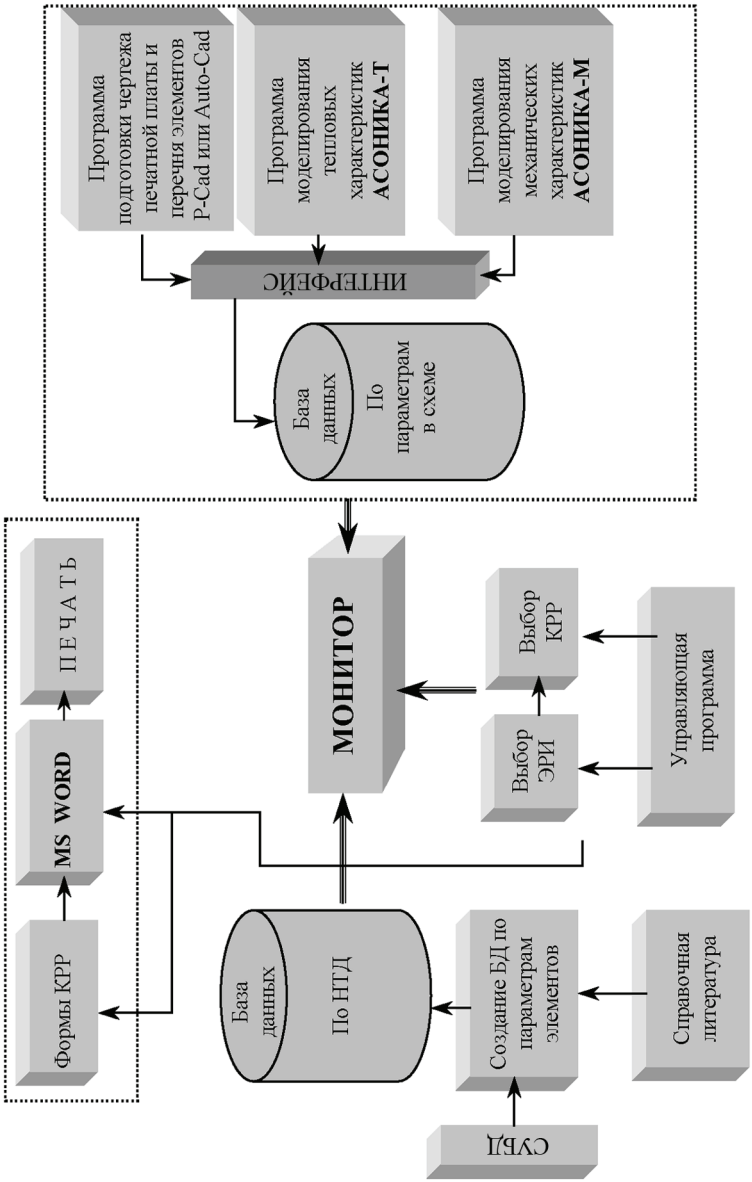



**Рис. 3.2.** Структура подсистемы АСОНИКА-Р

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 подсистем моделирования происходит формирование электронной модели изделия.

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

## Входные данные

Для моделирования с помощью данной подсистемы необходима следующая исходная информация:

– техническое задание на разработку РЭС;

– эскизы или сборочные чертежи конструкции;

– спецификация;

– перечень элементов;

– выходной pdf-файл системы PCAD.

Для подготовки входных данных используется специализированный графический интерфейс ввода. Введенная информация преобразуется в текстовый файл, передаваемый 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 другие характеристики ЭРИ.

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

## Выходные данные

Для просмотра выходных данных используется специализированный графический интерфейс вывода, на вход которого поступает текстовый файл, сформированный 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 их из базы данных.

## Выполнение программы

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. 3.3.

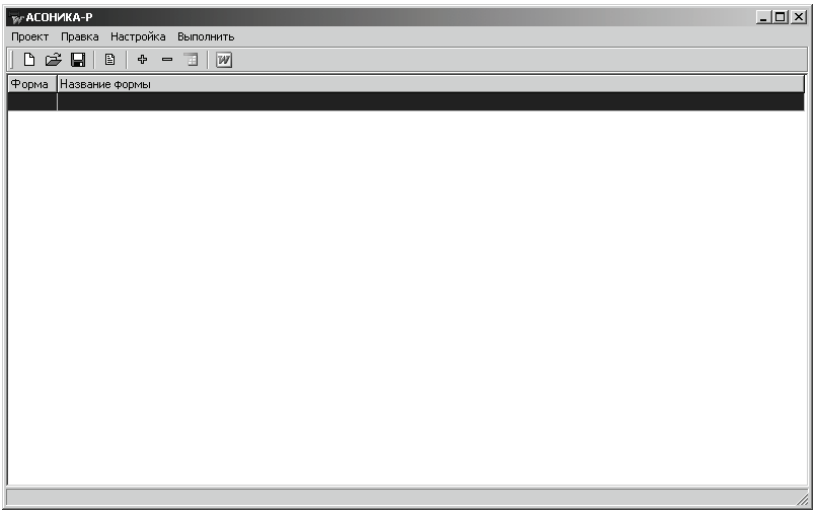



**Рис. 3.3.** Основное окно программы

**Меню «Проект».** В него включены следующие пункты.

1. «*Новый*». Создать новый проект. Если текущий проект не был сохранен, то появляется соответствующее предупреждение (рис. 3.4).

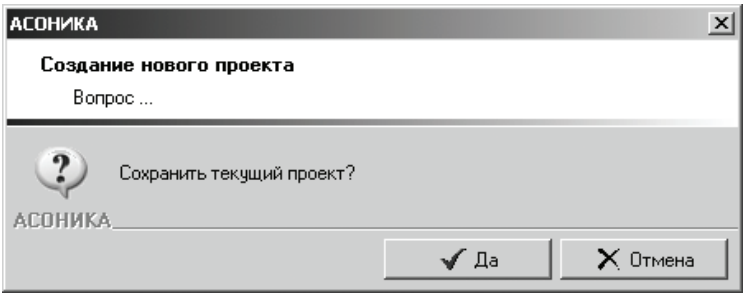



**Рис. 3.4.** Диалоговое окно для создания нового проекта

2. «*Открыть*». Открыть ранее созданный проект. Если текущий проект не был сохранен, то появляется соответствующее предупреждение (рис. 3.4).

3. «*Сохранить*». Сохранить текущий проект. Если предыдущий проект не был сохранен, то команда выполняется как пункт «*Сохранить как*».

4. «*Сохранить как*». Сохранить текущий проект под другим именем.

5. «*Свойства*». Задать индекс изделия, для которого формируются карты режимов (рис. 3.5). Если текущий проект не сохранен, то выполнение данного пункта меню недоступно.

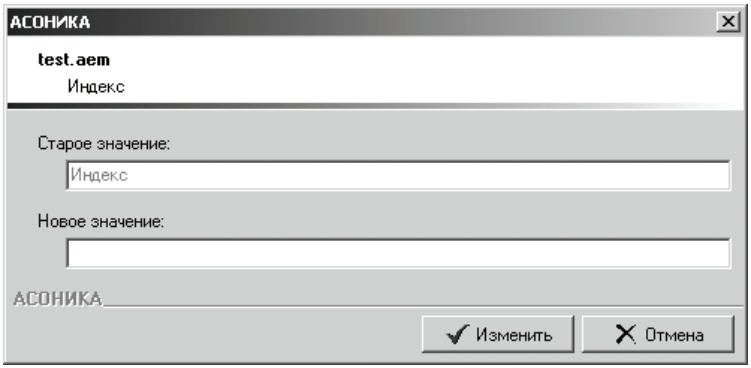



**Рис. 3.5.** Диалоговое окно для задания индекса изделия

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 1. Если нумерация должна начинаться с другой цифры, нужно войти в колонтитулы на первой странице, установить курсор в поле «Лист» и в окне «Колонтитулы» нажать на кнопку «Формат номера страницы» и ввести номер первой страницы.

6. «*Импорт*». Состоит из следующих файлов.

6.1. «Ф а й л А С О Н И К А - Р». Чтение файла, созданного подсистемой. При этом к текущему проекту будут добавлены ЭРИ из импортируемого проекта, отсутствующие в текущем проекте.

6.2. «Ф а й л А С О Н И К А - Т М». Чтение файла подсистемы моделирования печатных узлов на тепловые и механические воздействия АСОНИКА-ТМ.

6.3. «Ф а й л с п и с к а». Чтение файла с расширением *.ilp. Структура файла представлена следующим образом:

$ERI_1$: $RECORD_1$

$ERI_2$: $RECORD_2$

…

$ERI_K$: $RECORD_K$

где $ERI_i$ – позиционное обозначение $i$-го ЭРИ, $RECORD_i$ – полная условная запись.

6.4. «Ф а й л P - C A D P C B». Чтение файла компоновки печатного узла в формате PDIF.

6.5. «Ф а й л P - C A D S C H». Чтение файла электрической схемы печатного узла в формате PDIF.

6.6. «Ф а й л с п и с к а». Чтение файла в формате *.bom (Bild of Material). В качестве разделителя атрибутов файла используется символ «;».

6.7. «Ф а й л т е м п е р а т у р». Чтение текстового файла, содержащего температуры ЭРИ (создается в подсистеме АСОНИКА-ТМ).

6.8. «Ф а й л у с к о р е н и й». Чтение текстового файла, содержащего ускорения ЭРИ (создается в подсистеме АСОНИКА-ТМ). Именем файла гармонической вибрации должно быть «ГВ.txt», ударного воздействия – «УВ.txt», многократного ударного воздействия – «МУВ.txt».

6.9. «Ф а й л  м о щ н о с т е й». Чтение текстового файла, содержащего напряжения, токи и мощности электрорадиоизделий, получаемого с помощью специализированного конвертора с системой PSpice.

7. «*Экспорт*». Содержит файл:

7.1. «Ф а й л  А С О Н И К А - 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. 3.6).

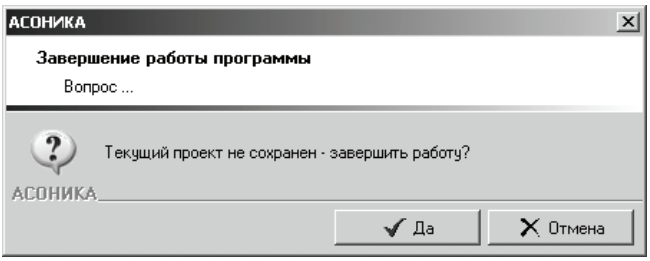



**Рис. 3.6.** Диалоговое окно для завершения работы программы

**Меню «Правка».** В него включены следующие пункты:

1. «*Добавить форму*». Добавить форму в проект (рис. 3.7).

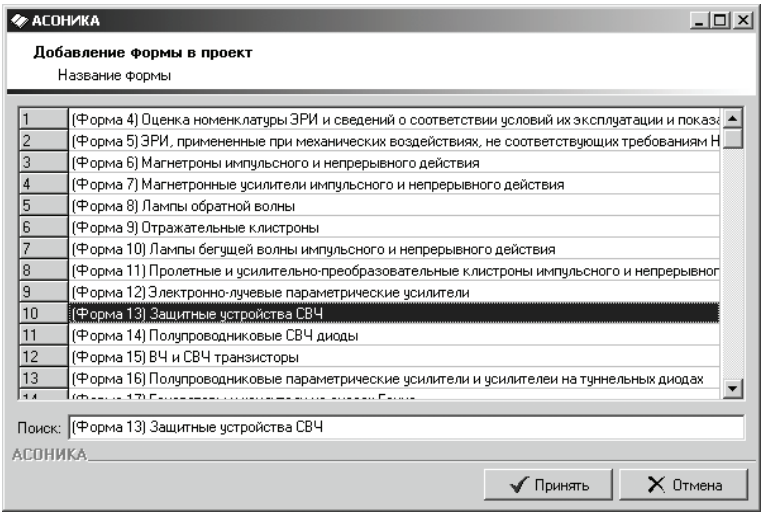



**Рис. 3.7.** Диалоговое окно для добавления формы в проект

2. «*Удалить форму*». Удалить форму из проекта. При этом возникает соответствующее предупреждение (рис. 3.8).

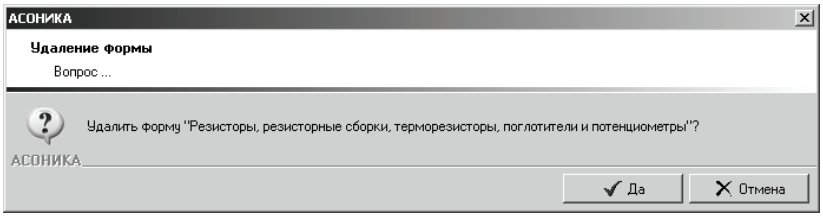



**Рис. 3.8.** Диалоговое окно для удаления формы

3. «*Редактировать список ЭРИ*». Редактировать список ЭРИ выбранной формы (рис. 3.9). Для выполнения пункта меню требуется подвести курсор к названию формы в таблице основного окна, и дважды нажать левую кнопку мыши.

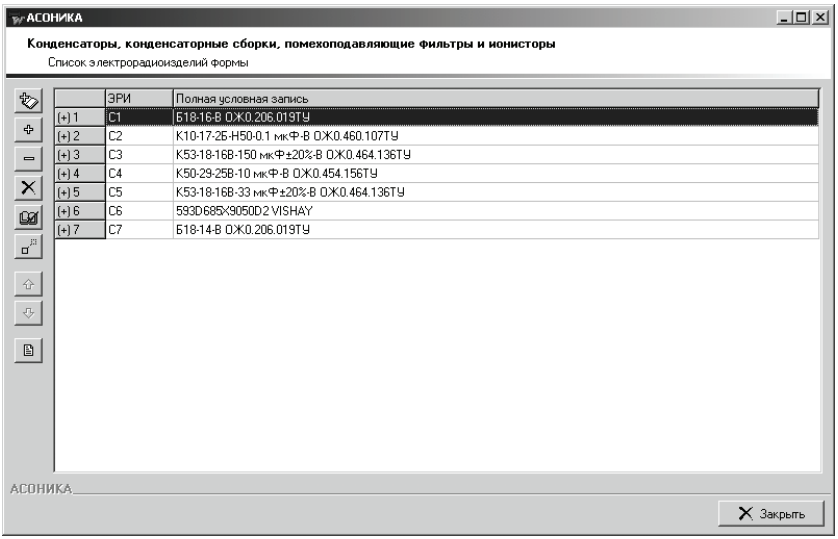



**Рис. 3.9.** Диалоговое окно для редактирования списка ЭРИ

Для добавления в список ЭРИ, содержащийся в справочной базе данных, необходимо нажать на кнопку  (рис. 3.10). Для выбора полной условной записи добавляемого ЭРИ необходимо нажать на кнопку  (рис. 3.11). Если при добавлении ЭРИ в списке уже

есть элемент с введенным позиционным обозначением, то возникает соответствующее предупреждение (рис. 3.12).

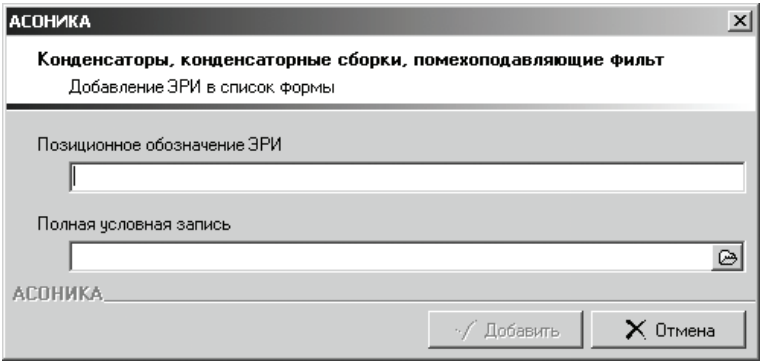



**Рис. 3.10.** Диалоговое окно для добавления в список ЭРИ

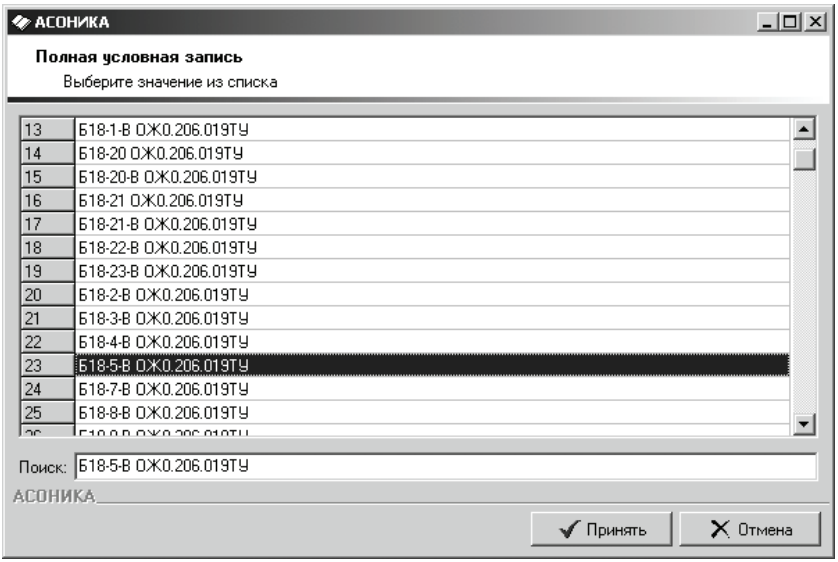



**Рис. 3.11.** Диалоговое окно для выбора полной условной записи добавляемого ЭРИ

Для добавления в список ЭРИ, отсутствующего в справочной базе данных, необходимо нажать на кнопку  и ввести позиционное обозначение (в схеме), а также полную условную запись ЭРИ (рис. 3.13).

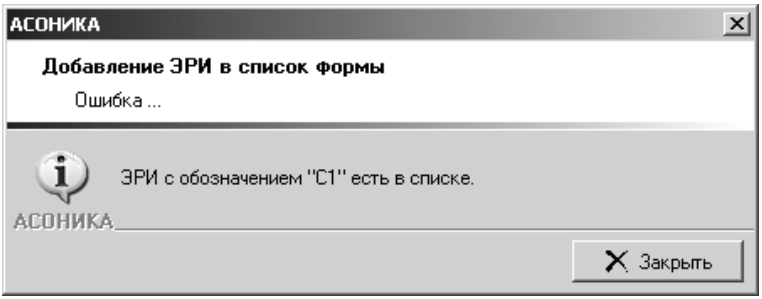



**Рис. 3.12.** Диалоговое окно для предупреждения

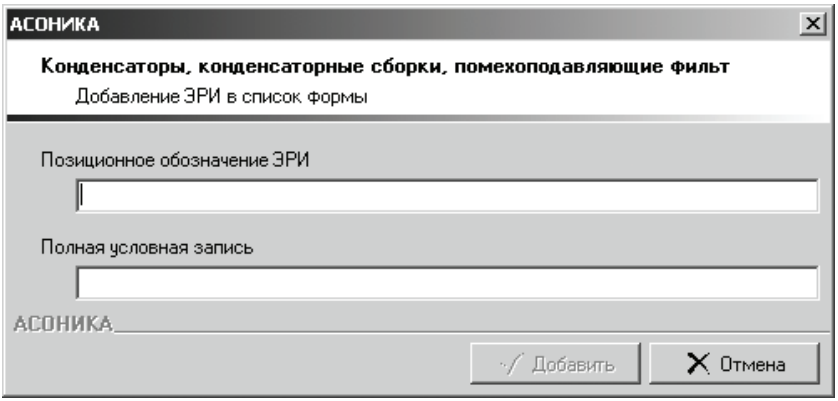



**Рис. 3.13.** Диалоговое окно для добавления в список ЭРИ, отсутствующего в справочной базе данных

Для удаления ЭРИ из списка необходимо нажать на кнопку , затем подтвердить или отменить удаление (рис. 3.14).

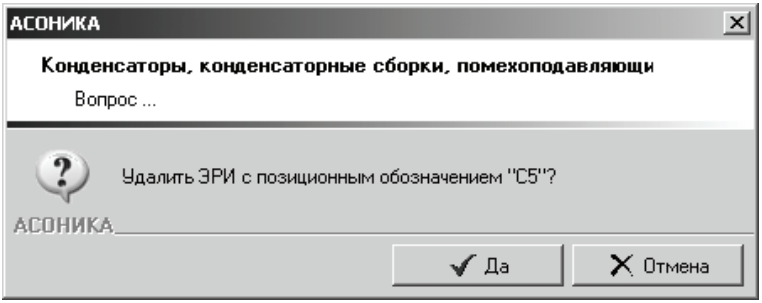



**Рис. 3.14.** Диалоговое окно для удаления ЭРИ

Для удаления всех ЭРИ из списка необходимо нажать на кнопку  , затем подтвердить или отменить удаление (рис. 3.15).

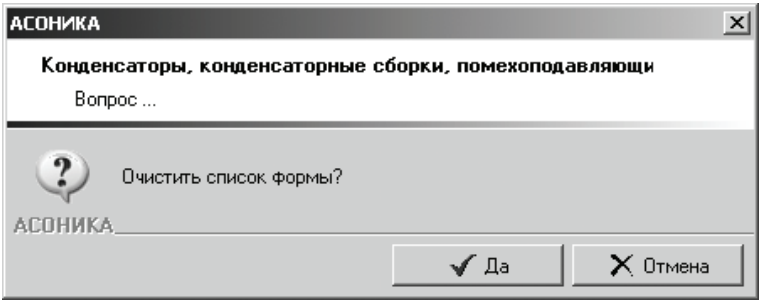



**Рис. 3.15.** Диалоговое окно для подтверждения или отмены удаления

Для изменения позиционного обозначения или полной условной записи выбранного ЭРИ необходимо нажать на кнопку  (рис. 3.16).

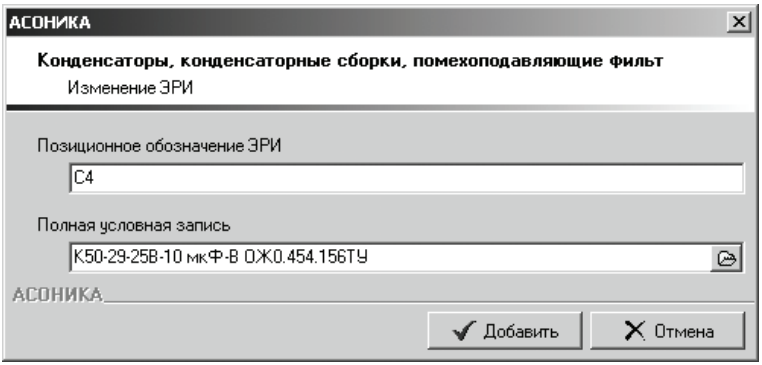



**Рис. 3.16.** Диалоговое окно для изменения позиционного обозначения или полной условной записи

Для копирования выбранного ЭРИ со всеми параметра в новый ЭРИ необходимо нажать на кнопку  (рис. 3.17) и задать новое условное обозначение.

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

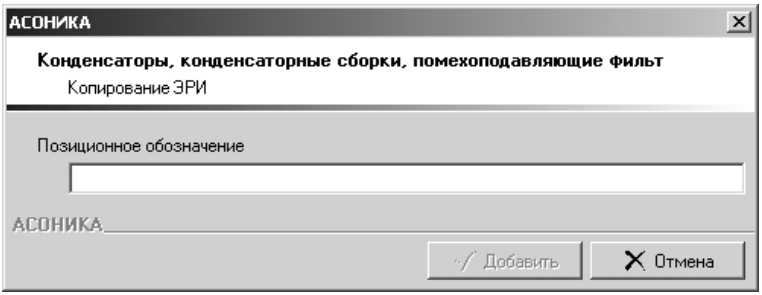



**Рис. 3.17.** Диалоговое окно для копирования ЭРИ

Для редактирования параметров выбранного ЭРИ необходимо нажать на кнопку  (рис. 3.18) либо дважды нажать левую кнопку мыши, подводя курсор к описанию ЭРИ в списке. После задания параметров электрорадиоизделия необходимо нажать на кнопку 

. При закрытии окна редактирования параметров ЭРИ без предварительного сохранения параметров появляется соответствующее предупреждение (рис. 3.19).

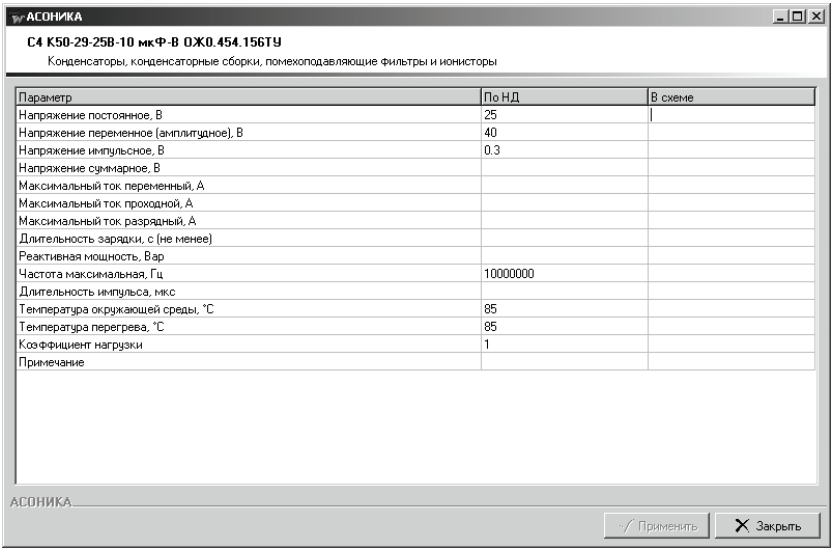



**Рис. 3.18.** Диалоговое окно для редактирования параметров ЭРИ

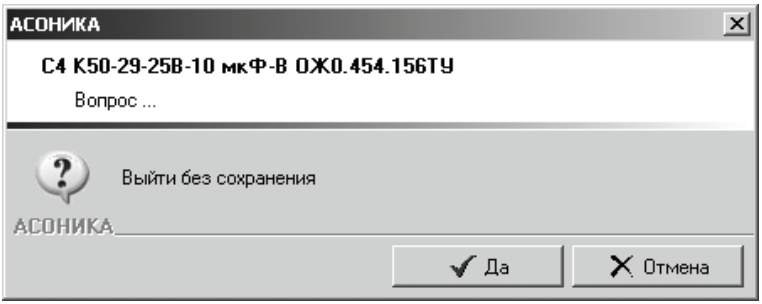



**Рис. 3.19.** Диалоговое окно для предупреждения

4. «*Сформировать Форму №4*». Автоматически формировать форму №4 (рис. 3.20).

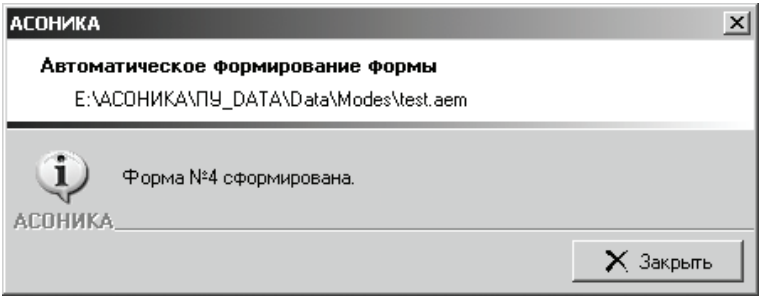



**Рис. 3.20.** Диалоговое окно для формирования формы №4

5. «*Сформировать Форму №5*». Автоматически создавать форму №5 (рис. 3.21).

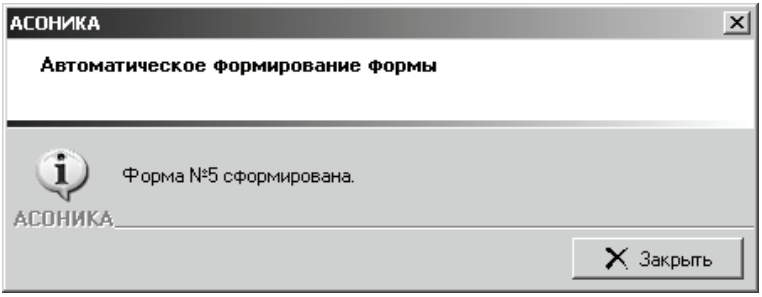



**Рис. 3.21.** Диалоговое окно для создания формы №5

6. «*Открыть форму*». Открыть форму для ручного редактирования в среде Microsoft Word (рис. 3.22).

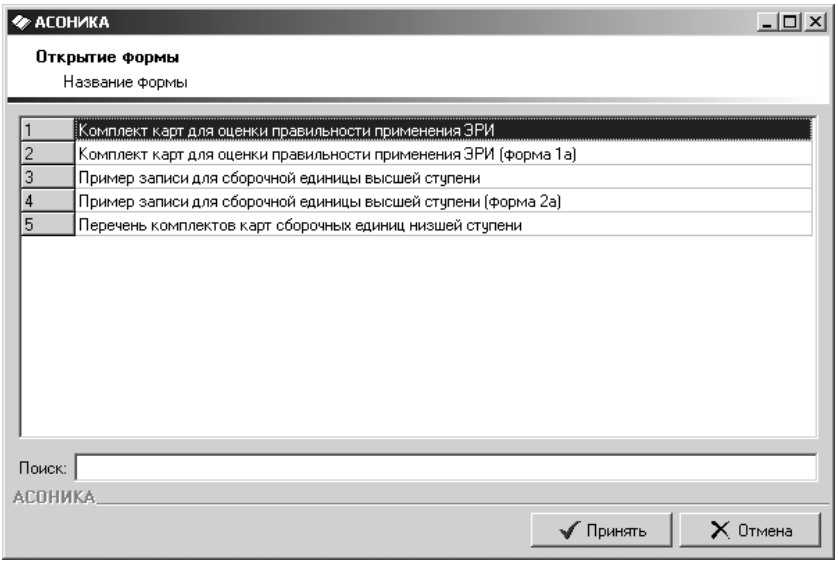



**Рис. 3.22.** Диалоговое окно для открытия формы для ручного редактирования

**Меню «Выполнить».** В него включены следующие пункты.

1. «*Верстать форму*». Формировать карту режимов для выбранной формы.

2. «*Верстать несколько форм*». Формировать карты режимов для выбранных форм.

3. «*Верстать все формы*». Формировать карты режимов для всех форм проекта.

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

## 3.2. Показатели надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ (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 для достижения необходимой надежности;

– выбор лучшего из имеющихся вариантов резервирования для 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:

– пассивное с неизменной нагрузкой;

– активное нагруженное;

– активное ненагруженное;

– активное облегченное.

База данных сервисного обеспечения подсистемы АСОНИКА-Б содержит сведения, предназначенные для использования при расчетах показателей безотказности аппаратуры. К таким показателям относятся:

– номенклатура 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 и при хранении в различных условиях;

– информация о показателях надежности ЭРИ и коэффициентах моделей.

Информация о показателях надежности ЭРИ и коэффициентах моделей включает:

– 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 различных испытаний);

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

Редактор базы данных позволяет пополнять номенклатуру ЭРИ, а также менять все перечисленные показатели надежности и математические модели для расчета.

Математическое ядро подсистемы, используя в качестве модели экспоненциальное распределение, позволяет рассчитать все коэффициенты математических моделей, хранящихся в базе данных, и эксплуатационную интенсивность отказов ЭРИ, а также характеристики безотказности ЭРИ и РЭС, которой присуще резервирование всех видов.

Подсистема может использоваться на одном рабочем месте либо в сети, если на сервере установлена база данных, а на рабочих местах – управляющая программа. При этом редактировать базу данных может только ее администратор.

## Описание логической структуры

Алгоритм программы представлен на рис. 3.23, где ЭМ – электронная модель; ФУ – функциональный узел; ЭСХ – электрическая схема; ТЗ – техническое задание; ЭРИ – электрорадиоизделие.

Структура программы с описанием функций составных частей и связей между ними показана на рис. 3.24.

Подсистема АСОНИКА-Б представляет собой комплекс программ для ЭВМ, предназначенный для функционирования как в составе системы АСОНИКА, так и автономно как самостоятельная подсистема. Основу подсистемы составляет управляющая программа, которая формирует иерархию конструкции РЭС и выполняет передачу

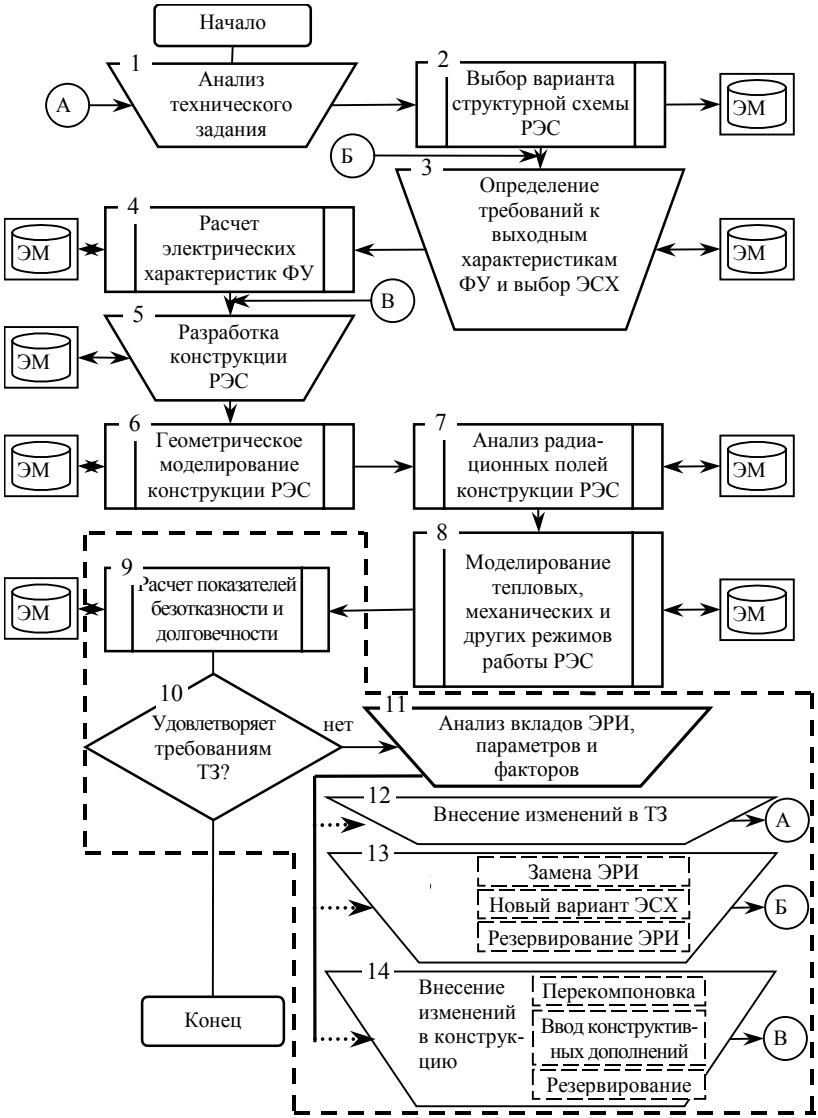



**Рис. 3.23.** Алгоритм функционирования программы

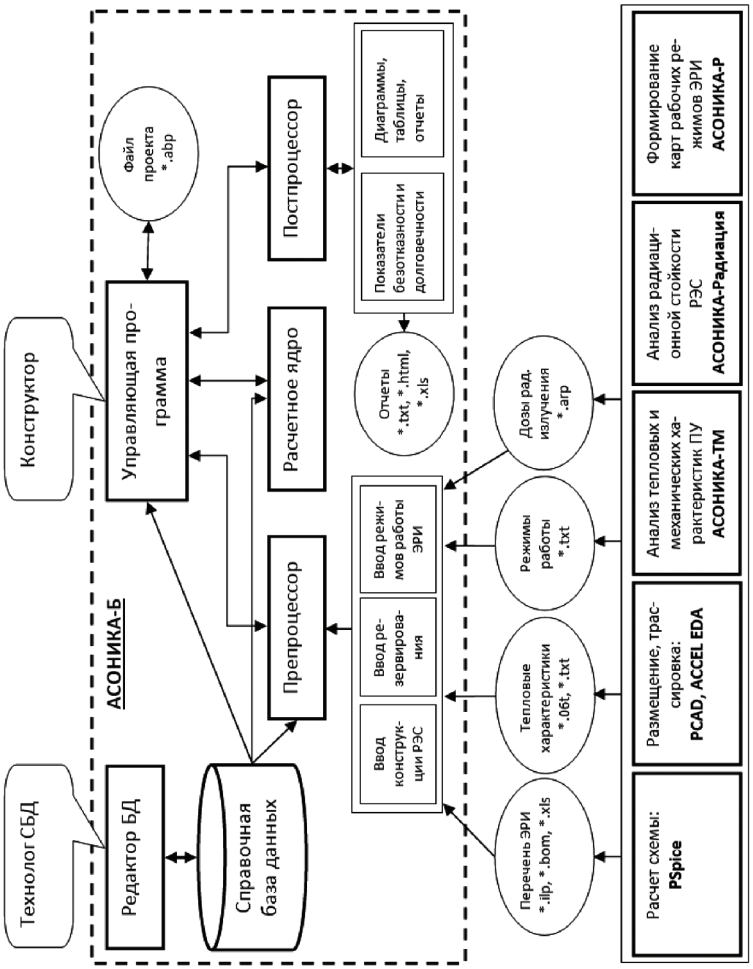



**Рис. 3.24.** Структура подсистемы АСОНИКА-Б

данных между конструктивными уровнями иерархии. Препроцессор с помощью оконных интерфейсов создает модель показателей безотказности и долговечности конструкции РЭС с точки зрения исходных данных. Перечень ЭРИ, входящих в состав РЭС, режимы работы ЭРИ (тепловые, электрические, радиационные характеристики), либо вводятся вручную на основе СБД, либо передаются из ЭМ в виде специального файла. Необходимые параметры модели можно выбрать из СБД, а при необходимости – идентифицировать. Затем управляющая программа запускает расчетное ядро в работу 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. Самые ненадежные ЭРИ выводятся из таблиц с полным перечнем ЭРИ и их показателями безотказности и долговечности и также сохраняются в виде отчетов, на основе которых разработчиком может быть принято проектное решение. При недопустимых показателях безотказности и долговечности можно задействовать резервирование элементов конструкции РЭС и изменить конструкцию РЭС с последующим повторным моделированием физических процессов и уточнением показателей безотказности и долговечности. Все исходные данные и результаты моделирования сохраняются в ЭМ.

## Связи с другими программами

В рамках разработанной автоматизированной системы реализуется специальный программный комплекс, который создает структуру электронного (виртуального) макета разрабатываемой РЭС, наполняет ее результатами работы проблемных подсистем системы (подсистемы позволяют моделировать электрические, тепловые, механические и другие физические процессы), а также позволяет 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 обработанный электронный макет 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 помощью моделирования формируется электронная модель изделия. Для этого используется следующая исходная информация, извлеченная из других программ:

– 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).

## Входные данные

Для моделирования с помощью 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 или не отапливаемом помещении либо 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).

Сначала входные данные, подготовленные с помощью специализированного графического интерфейса ввода, после импорта выходных файлов P-CAD, АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р и чтения параметров ЭРИ из базы данных преобразуются в текстовый файл, который поступает на вход расчетного модуля.

Входной ILP-файл с перечнем ЭРИ, полученный из BOM-файла системы P-CAD, (рис. 3.25) содержит позиционные обозначения ЭРИ и их полную условную запись ЭРИ.

```
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. 3.25.** Фрагмент ILP-файла с перечнем ЭРИ

Входной файл с рабочими температурами ЭРИ (рис. 3.26), полученный из подсистемы АСОНИКА-ТМ, содержит:

– порядковый номер ЭРИ;

– позиционное обозначение ЭРИ;

– сторону печатной платы;
– расчетную температура ЭРИ;
– максимальную допустимая температура ЭРИ по ТУ;
– коэффициент тепловой нагрузки ЭРИ;
– перегрев ЭРИ.

| КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| (при стационарном тепловом воздействии) | | | | | | |
| № п/п | Обозначение ЭРИ | Сторона | Температура ЭРИ | | Коэффициент тепловой нагрузки, отн. ед. | Перегрев, °С |
| | | | Расчетная, °С | Максимальная допустимая по ТУ, °С | | |
| 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. 3.26.** Фрагмент файла с температурами ЭРИ

Входной файл с напряжениями, токами и мощностями для ЭРИ (рис. 3.27), полученный из подсистемы АСОНИКА-Р, содержит:

– позиционное обозначение ЭРИ;

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

```
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. 3.27.** Фрагмент файла с электрическими характеристиками ЭРИ

Кодирование параметров выполняется по следующей форме:

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 для параметра элемента, выбранного в схеме; знак # – для параметра, выбранного по НД.

Подробное описание параметров для всех форм:

14. Карта рабочих режимов полупроводниковых СВЧ-диодов.

В схеме: Pj – мощность рассеиваемая непрерывная (импульсная), Вт; T_sr – температура окружающей среды,°С; Kel – коэффициент нагрузки.

15. Карта рабочих режимов ВЧ и СВЧ транзисторов.

В схеме: Pj – постоянная рассеиваемая мощность (статический режим), Вт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

22. Карта рабочих режимов полупроводниковых генераторов шума.

В схеме: T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

35. Карта рабочих режимов индикаторов знакосинтезирующих полупроводниковых.

В схеме: T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

47. Карта рабочих режимов оптопар.

В схеме: I – средний (постоянный) ток, мА; Skva – скважность (режим входа); Pj – мощность рассеивания (режим выхода), Вт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

54. Карта рабочих режимов полупроводниковых ограничителей напряжения.

В схеме: Skva – скважность (режим во время воздействия импульсов перегрузки); Pj – постоянная (средняя) рассеиваемая мощность (режим во время воздействия импульсов перегрузки), Вт; T_sr – температура окружающей среды,°С; Kel – коэффициент нагрузки.

55. Карта рабочих режимов диодов (выпрямительных, импульсных, универсальных), варикапов и диодных сборок.

В схеме: Pj – рассеиваемая мощность, мВт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

По НД: Umax_TU – максимальное обратное напряжение, В.

56. Карта рабочих режимов полупроводниковых стабилитронов и стабисторов.

В схеме: U – обратное напряжение, В; Pj – рассеиваемая мощность, мВт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

57. Карта рабочих режимов туннельных и обращенных диодов.

В схеме: U – прямое напряжение, В; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°С; Kel – коэффициент нагрузки.

58. Карта рабочих режимов транзисторов и транзисторных сборок.

В схеме: f – частота следования, Гц; P – средняя мощность, Вт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса), °С; Kel – коэффициент нагрузки.

59. Карта рабочих режимов однопереходных транзисторов.

В схеме: Pj – рассеиваемая мощность, мВт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса),°C; Kel – коэффициент нагрузки.

60. Карта рабочих режимов полевых транзисторов и транзисторных сборок.

В схеме: f – частота следования, Гц; P – средняя мощность, Вт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса), °C; 20 – Kel – коэффициент нагрузки.

62. Карта рабочих режимов тиристоров.

В схеме: f – частота следования импульсов (ток анод-катод), Гц; Pj – мощность, рассеиваемая тиристором, Вт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

63. Карта рабочих режимов операционных усилителей и компараторов напряжения.

В схеме: Pj – мощность рассеивания, мВт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса), °C.

64. Карта рабочих режимов стабилизаторов напряжения, схем управления импульсными стабилизаторами напряжения.

В схеме: Pj – мощность рассеивания, мВт; T_sr – температура окружающей среды (корпуса), °C.

65. Карта рабочих режимов цифровых функциональных узлов (модулей, микромодулей, микросхем).

В схеме: U – напряжение питания, В; Pj – мощность рассеивания, мВт; T – температура окружающей среды (корпуса), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

67. Карта рабочих режимов конденсаторов, конденсаторных сборок, помехоподавляющих фильтров и ионисторов.

В схеме: U – напряжение постоянное, В; T – температура окружающей среды, °C; Kel – коэффициент нагрузки.

По НД: Umax – напряжение постоянное, В.

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

В схеме: P – суммарная мощность, Вт; T – температура окружающей среды (корпуса), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

По НД: 13 – P – суммарная мощность, Вт.

69. Карта рабочих режимов кварцевых резонаторов, кварцевых микрогенераторов, пьезоэлектрический и электромеханических фильтров и линий задержки на поверхностных акустических волнах.

В схеме: T – температура окружающей среды (корпуса), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

75. Карта рабочих режимов электрических соединителей.

I – величина тока (коммутируемый сигнал), мА; Ncontact – количество соединений; T_sr – температура окружающей среды, °C; Kel – коэффициент нагрузки.

84. Карта рабочих режимов силовых трансформаторов.

T – температура окружающей среды (обмоток), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

85. Карта рабочих режимов импульсных трансформаторов.

T – температура окружающей среды (обмоток), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

86. Карта рабочих режимов дросселей фильтров.

T – температура окружающей среды (обмотки), °C; Kel – коэффициент нагрузки.

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

## Выходные данные

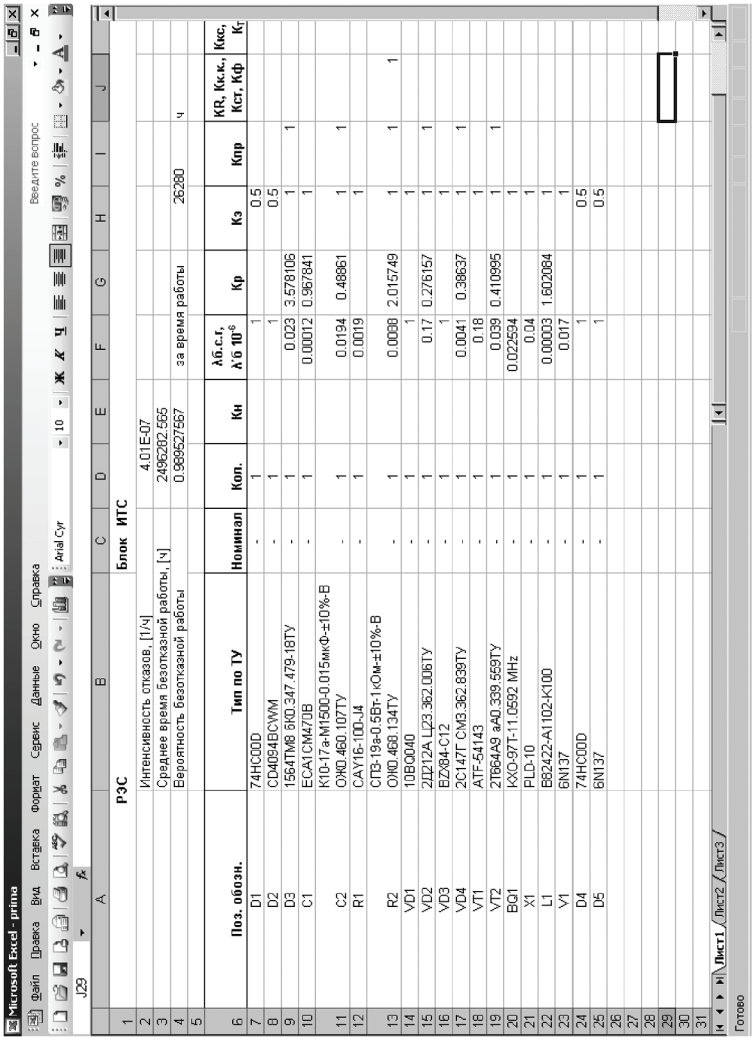
Для просмотра выходных данных используется специализированный графический интерфейс вывода, на вход которого поступает текстовый файл, сформированный по результатам работы расчетного модуля. Выходные данные представлены в виде графиков и отчета с исходными данными и результатами расчета.

По результатам расчета на ЭВМ пользователь подсистемы АСОНИКА-Б может получить следующую выходную информацию:

– 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). По желанию пользователя выходной файл может быть сформирован в трех форматах: текстовом, html и xls. Фрагмент выходного файла в формате xls приведен на рис. 3.28.




| | 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] | | 2496262.565 | | | | | | |
| 4 | | Вероятность безотказной работы | | 0.989527567 | | за время работы | | 26280 | ч | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| 6 | Поз. обозн. | Тип по ТУ | Номинал | Кол. | Ки | λб.с.г, λ'б 10⁻⁶ | Кр | Ка | Кпр | КR, Кк.к., Кст. Кф | Ккс, Кг |
| 7 | D1 | 74HC00D | - | 1 | | 1 | | 0.5 | | | |
| 8 | D2 | CD4094BCWM | - | 1 | | | | 0.5 | | | |
| 9 | D3 | 15647M8 6K0.347.479-18ТУ | - | 1 | | 0.023 | 3.578105 | 1 | 1 | | |
| 10 | C1 | ECA1CM470B | - | 1 | | 0.00012 | 0.967841 | 1 | | | |
| 11 | C2 | K10-17а-М1500-0.015мкФ-±10%-В ОЖО.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 ОЖО.468.134ТУ | - | 1 | | 0.0000 | 2.015749 | 1 | 1 | 1 | |
| 14 | VD1 | 1DB0040 | - | 1 | | 1 | | 1 | | | |
| 15 | VD2 | 2Д212А Ц23.362.006ТУ | - | 1 | | 0.17 | 0.276157 | 1 | 1 | | |
| 16 | VD3 | EZX84-C12 | - | 1 | | 1 | | 1 | | | |
| 17 | VD4 | 2С147Т СМЗ.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 | КХО-97Т-11.0592 MHz | - | 1 | | 0.022594 | | 1 | | | |
| 21 | X1 | PLD-10 | - | 1 | | 0.04 | | 1 | | | |
| 22 | L1 | В82422-А1102-К100 | - | 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

**Рис. 3.28.** Фрагмент выходного файла подсистемы АСОНИКА-Б в формате xls

## Выполнение программы

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

**Главное окно.** Главное окно программы (рис. 3.29) разделено на три части. В левой части окна находится дерево конструкции РЭС, которое содержит список всех элементов РЭС в соответствии с иерархией.

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.

Для выбора элемента следует нажать левую кнопку мыши, установив курсор на имени элемента. Щелчком правой кнопкой мыши по дереву вызывается 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, которая позволяет просматривать и редактировать параметры выбранного элемента. Таблица разделена на три столбца. Первый из них содержит внутреннее имя параметра и по умолчанию отключен, второй – наименование и размерность параметра, третий – значение параметра.

На второй закладке находится диаграмма или таблица интенсивностей отказов элементов конструкции. На диаграмме показаны интенсивности отказов дочерних элементов выбранного в дереве элемента конструкции. Если в иерархии выбран низший элемент

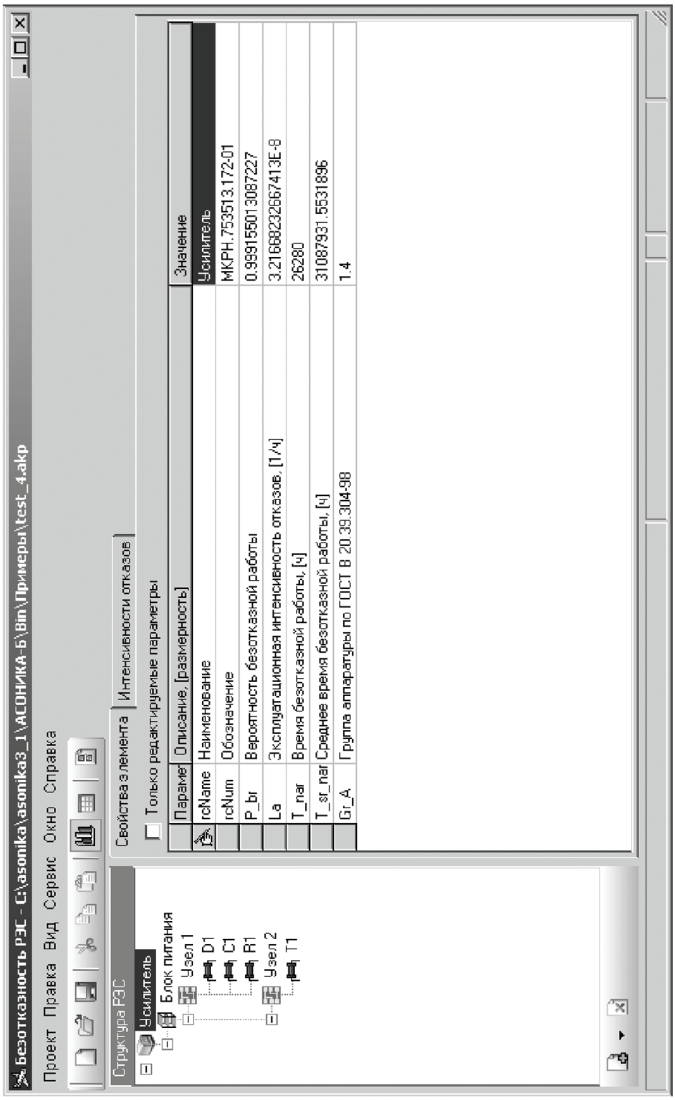



**Рис. 3.29.** Главное окно программы

(например ИЭТ), не содержащий 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.

**Описание главного меню.** В меню (рис. 3.30) «Проект» содержатся команды управления файлом проекта.

1. «*Новый*». Создать новый проект;
2. «*Открыть*». Открыть ранее сохраненный проект;
3. «*Сохранить*». Сохранить редактируемый проект;
4. «*Сохранить как…*». Сохранить файл проекта под другим именем;
5. «*Сохранить отчет*». Сохранить отчет, содержащий результаты расчетов;
6. «*Импорт*». Содержит команды, позволяющие импортировать параметры конструкций из файлов других программ:

6.1. «Импорт – Список ЭРИ». Импорт перечня элементов из универсального перечня элементов;

6.2. «Импорт – Температур». Импорт рабочих температур для элементов выбранного узла из выходного файла подсистемы АСОНИКА-ТМ;

6.3. «Импорт – Электр. характеристик». Импорт напряжений, токов и мощностей для элементов выбранного узла из отчета программы «Режимы»;

6.4. «Экспорт – Список ЭРИ». Сохранение перечня элементов в универсальной перечень элементов.

**Меню «Правка»** (рис. 3.31). Содержит команды редактирования конструкции РЭС.

1. «*Добавить*». Добавить в конструкцию требуемый элемент.
2. «*Удалить*». Удалить выбранный элемент из конструкции.

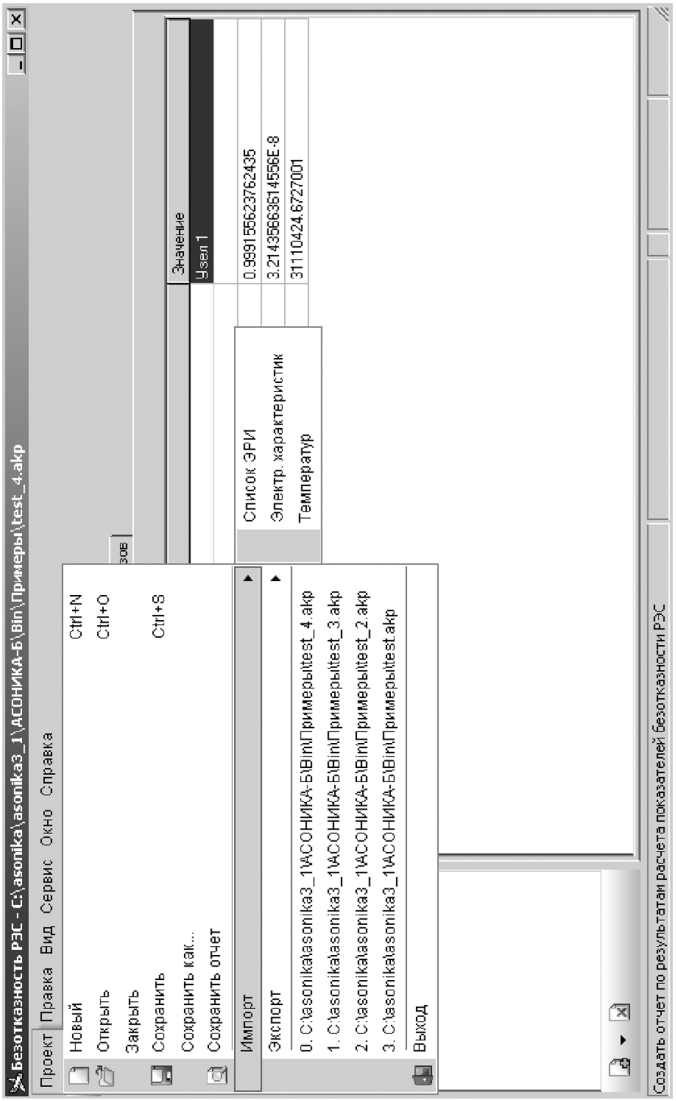



**Рис. 3.30.** Меню «Проект»

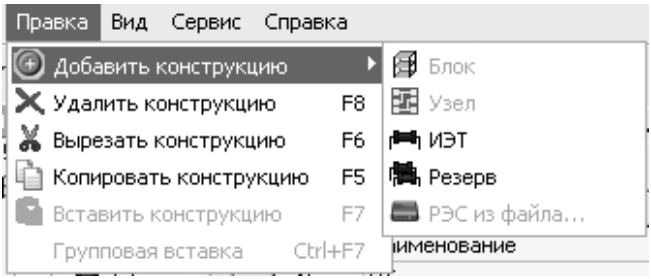



**Рис. 3.31.** Меню «Правка»

**Меню «Вид»** (рис. 3.32). Содержит команды, управляющие внешним видом главного окна и отображением информации о конструкции.

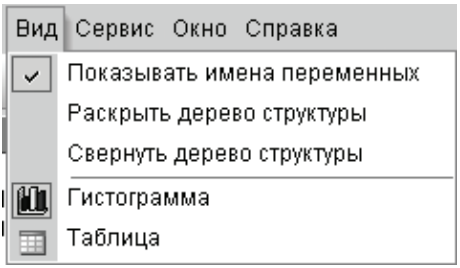



**Рис. 3.32.** Меню «Вид»

1. «*Показывать имена переменных*». Управление отображением столбца таблицы параметров, содержащего имена переменных, соответствующих параметрам.

**Меню «Сервис»** (рис. 3.33). Содержит команды, управляющие настройками программы.

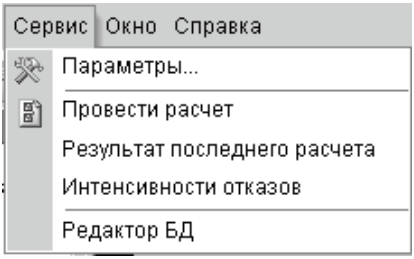



**Рис. 3.33.** Меню «Сервис»

1. «*Редактор БД*». Закрытие подсистемы и запускает программы «Редактор БД».

2. «*Провести расчет*». Запустить процесс расчета показателей безотказности.

3. «*Параметры*». Вызвать диалоговое окно настроек программы.

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

**Кнопочная панель.** Под главным меню программы расположена кнопочная панель (рис. 3.34), которая дублирует наиболее часто использующие команды главного меню.



**Рис. 3.34.** 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 программами.** К ним относятся следующие процедуры.

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, то будет предложено сохранить его. После этого появится диалоговое окно «Новый проект» (рис. 3.35).

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

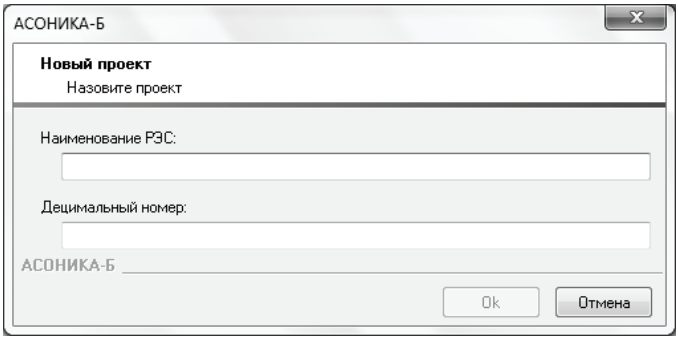



**Рис. 3.35.** Диалоговое окно «Новый проект»

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.* 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 том же файле, 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, то будет предложено сохранить его. После этого появится типовое окно открытия файла, в котором 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, в котором 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.

Ш а г 1. Выберите пункт меню «Правка – Добавить – ИЭТ».

Ш а г 2. В появившемся диалоговом окне укажите класс добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 3.36).

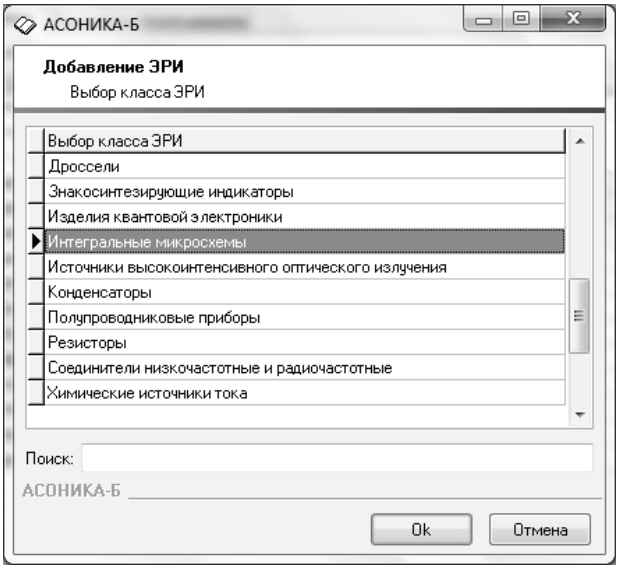



**Рис. 3.36.** Диалоговое окно «Выбор класса ЭРИ»

Ш а г 3. В появившемся диалоговом окне укажите сокращенный тип добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 3.37).

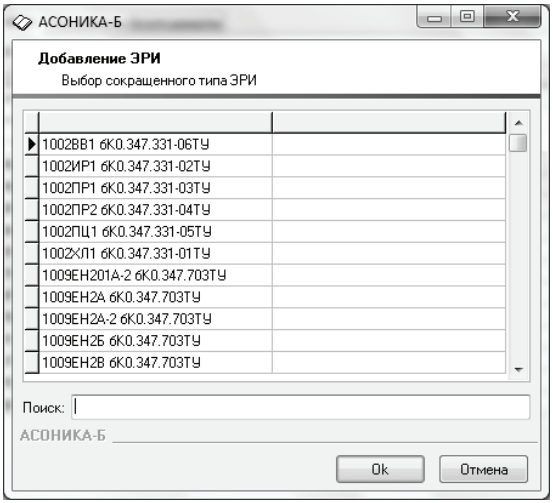



**Рис. 3.37.** Диалоговое окно «Выбор сокращенного типа ЭРИ»

Ш а г 4. В появившемся диалоговом окне укажите полный тип добавляемого ЭРИ и нажмите кнопку «ОК» (рис. 3.38).

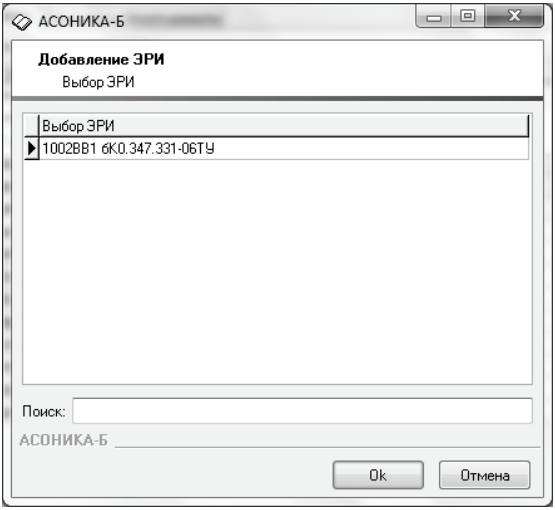



**Рис. 3.38.** Диалоговое окно «Выбор ЭРИ»

Ш а г 5. В появившееся диалоговое окно введите позиционное обозначение добавляемого ЭРИ (рис. 3.39) и нажатием кнопки «ОК» завершите процесс добавления ЭРИ.

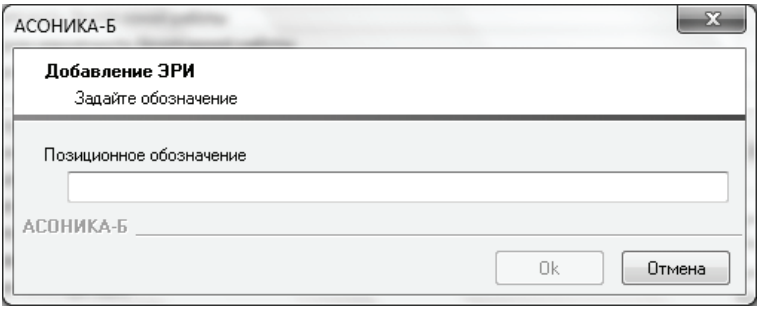



**Рис. 3.39.** Диалоговое окно «Выбор позиционного обозначения»

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

**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, содержащийся в другом проекте или в настоящем, нужно выполнить следующие операции:

– 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, в котором надо расположить копируемый элемент, нажать правую кнопку мыши и выбрать пункт «Вставить конструкцию» или нажать функциональную клавишу F7.

Для ввода нескольких одинаковых ЭРИ можно использовать групповое копирование. 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 нужно 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 нужно установить курсор на «Узел» и 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, в котором необходимо указать вид резервирования (рис. 3.40) и либо подтвердить добавление нажатием кнопки «ОК», либо отменить нажатием кнопки «Отмена».

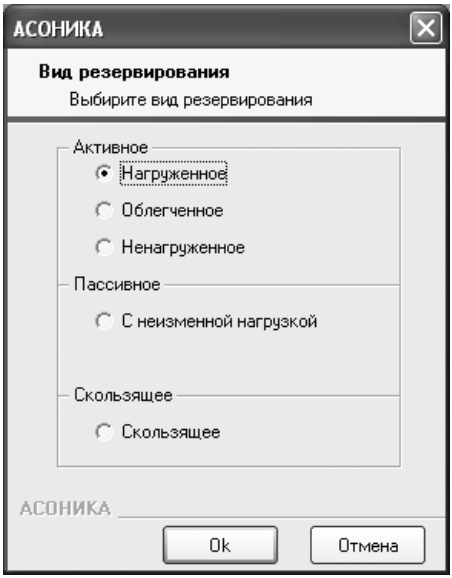



**Рис. 3.40.** Диалоговое окно для выбора вида резервирования

В дереве конструкции РЭС резервирование будет выглядеть как отдельный узел (рис. 3.41), в состав которого будут входить основные и резервные элементы в зависимости от типа резервирования.




*а*) *б*) *в*)

**Рис. 3.41.** Резервирование: активное (*а*); пассивное (*б*); скользящее (в)

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

**Импорт перечня ЭРИ.** Чтобы ознакомится со списком ЭРИ, содержащимся в файле с расширением .ilp, нужно: установить курсор на узел, в который нужно ввести список ЭРИ; войти в меню «Проект – Импорт – Список ЭРИ» и выбрать файл с расширением ilp. При этом сообщается информация об отсутствии в базе ЭРИ.

Чтобы сохранить список ЭРИ в файле с расширением ilp, нужно: установить курсор на узел, в котором нужно сохранить список ЭРИ; войти в «Проект – Экспорт – Список ЭРИ», ввести имя файла с расширением ilp и сохранить.

**Редактирование параметров элемента.** Для редактирования параметров элемента предназначена таблица, в которой они перечислены. Чтобы отредактировать значение параметра, необходимо выбрать его в столбце «Значение» этой таблицы.

Если после выбора параметра соответствующая ячейка таблицы, содержащая его значение, превращается в поле для текстового ввода (рис. 3.42), то значение параметра должно быть введено с клавиатуры.




**Рис. 3.42.** Редактирование параметра вручную

Если в правой части ячейки таблицы появляется кнопка  , то значение параметра следует выбрать из списка (рис. 3.43). Для этого нажмите на кнопку  и в появившемся диалоговом окне выберите значение параметра из списка возможных (рис. 3.44). Выбор подтвердите нажатием кнопки «Выбрать».




**Рис. 3.43.** Параметр, требующий выбора значения из списка

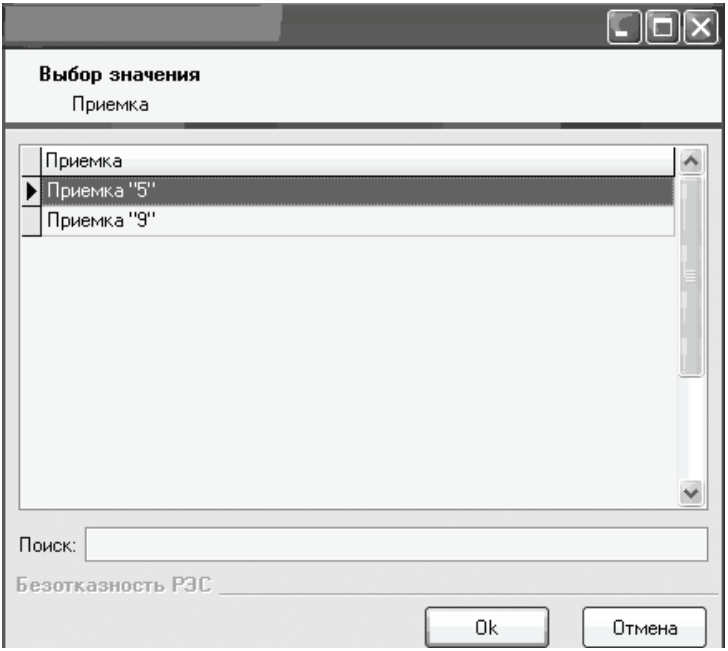



**Рис. 3.44.** Диалоговое окно для выбора значения параметра

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

**Импортирование реальных характеристик.** *Для импорта температур* из дерева выберите конструкций узел, для которого проводился расчет тепла в подсистеме АСОНИКА-ТМ. Выделите в меню пункт «Проект – Импорт – Температур», после чего откроется стандартный диалог открытия файлов, в котором надо указать выходной файл расчета температур подсистемы АСОНИКА-ТМ. При импорте проводится сопоставление позиционных обозначений элементов выбранного узла и элементов в файле.

*Для импорта электрических характеристик* в дереве конструкций выберите узел, для элементов которого составлена карта ре-

жимов работы в подсистеме АСОНИКА-Р. Выделите в меню пункт «Проект – Импорт – Электр. Характеристик», после чего откроется стандартный диалог открытия файлов, в котором надо указать выходной файл подсистемы АСОНИКА-Р. При импорте проводится сопоставление позиционных обозначений элементов выбранного узла и элементов в файле.

**Расчет показателей безотказности.** До начала запуска процесса 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 процесса расчета в строке состояния главного окна программы (рис. 3.45) появляется иконка калькулятора (  ) и полоса прогресса, которая отображает степень завершенности расчета.



**Рис. 3.45.** Строка состояния

Если к моменту начала расчета значения некоторых параметров какого-либо элемента конструкции 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 (элемент К2 на рис. 3.46).




**Рис. 3.46.** 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, причем его высота пропорциональна рассчитанной интенсивности отказов (рис. 3.47).

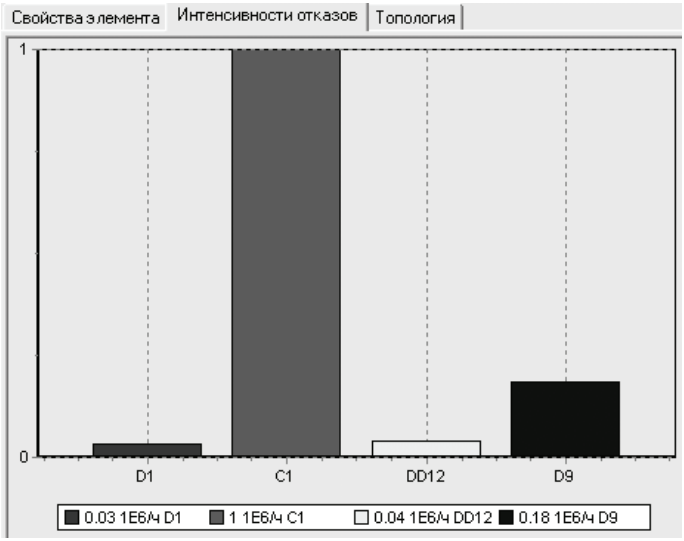



**Рис. 3.47.** Диаграмма интенсивнностей отказов

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.

Пример табличного представления результатов показан на рис. 3.48.

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. 3.48.** Табличное представление результатов расчета

Чтобы представить результаты расчета в виде текста, необходимо нажать кнопку ..., расположенную в правом верхнем углу диаграммы интенсивностей отказов. После этого откроется диалоговое окно, содержащее список элементов, входящих в состав выбранного элемента конструкции, и соответствующих им интенсивностей отказов в формате таблицы (рис. 3.49).

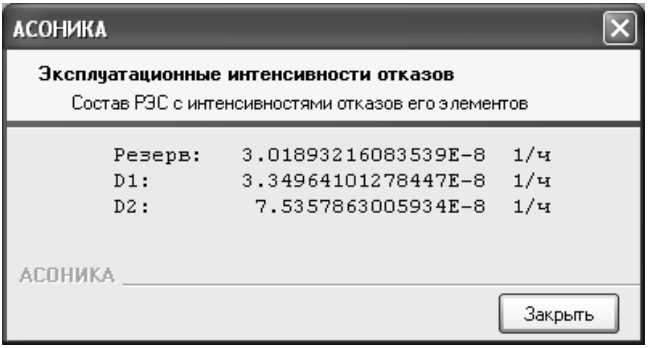



**Рис. 3.49.** Текстовое представление результатов расчета

**Сохранение результатов расчета.** Программа позволяет сохранять результаты расчетов в различных открытых форматах документов. Процесс сохранения результатов расчета включает в себя генерацию отчета и сохранение его в файле. 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.

Чтобы сформировать отчет, выберите пункт меню «Проект – Сохранить отчет». В появившемся стандартном диалоговом окне для сохранения файла укажите папку, в которой вы хотите сохранить отчет, имя файла отчета и формат файла, затем нажмите кнопку сохранить.

## 3.3. Пример использования подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-Б при проектировании печатных узлов РЭС

В качестве примера анализа показателей безотказности печатного узла на основе комплексного моделирования физических процессов рассмотрим процесс разработки печатного узла, в ТЗ на который указано обеспечить безотказную 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 в системе P-CAD формируется конструкция ПУ.

В подсистеме АСОНИКА-ТМ конструкция печатного узла конвертируется из системы P-CAD (рис. 3.50) и проводится моделирование тепловых и механических характеристик печатного узла.

Результаты моделирования тепловых режимов показаны на рис. 3.51. По этим результатам автоматически формируются карты рабочих режимов ЭРИ в подсистеме АСОНИКА-Р (рис. 3.52–3.54). При этом температуры и ускорения ЭРИ переносятся 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.

В подсистеме АСОНИКА-Б конструкция печатного узла извлекается из системы P-CAD (перечень ЭРИ), а значения токов, напряжений, температур импортируется из подсистем АСОНИКА-Р и АСОНИКА-ТМ.

С учетом реальных режимов работы рассчитываются показатели безотказности печатного узла (рис. 3.55). По результатам этого расчета в подсистеме АСОНИКА-Б было определено, что вероятность безотказной работы ПУ в течении 10 000 ч составляет 0,92, что не удовлетворяет требованиям ТЗ.

Из диаграмм вкладов ЭРИ в общую безотказность ПУ (рис. 3.56 и 3.57) видно, что наименьшей надежностью обладают диод V1 и резистор R2.

Для повышения отказоустойчивости ПУ было принято решение понизить нагрузки на диод V1 и внести соответствующие изменения

в схему ПУ. Для повышения отказоустойчивости резистора было принято два решения: понизить температуру путем перекомпоновки ЭКБ, а также ввести резервирование (рис. 3.58).

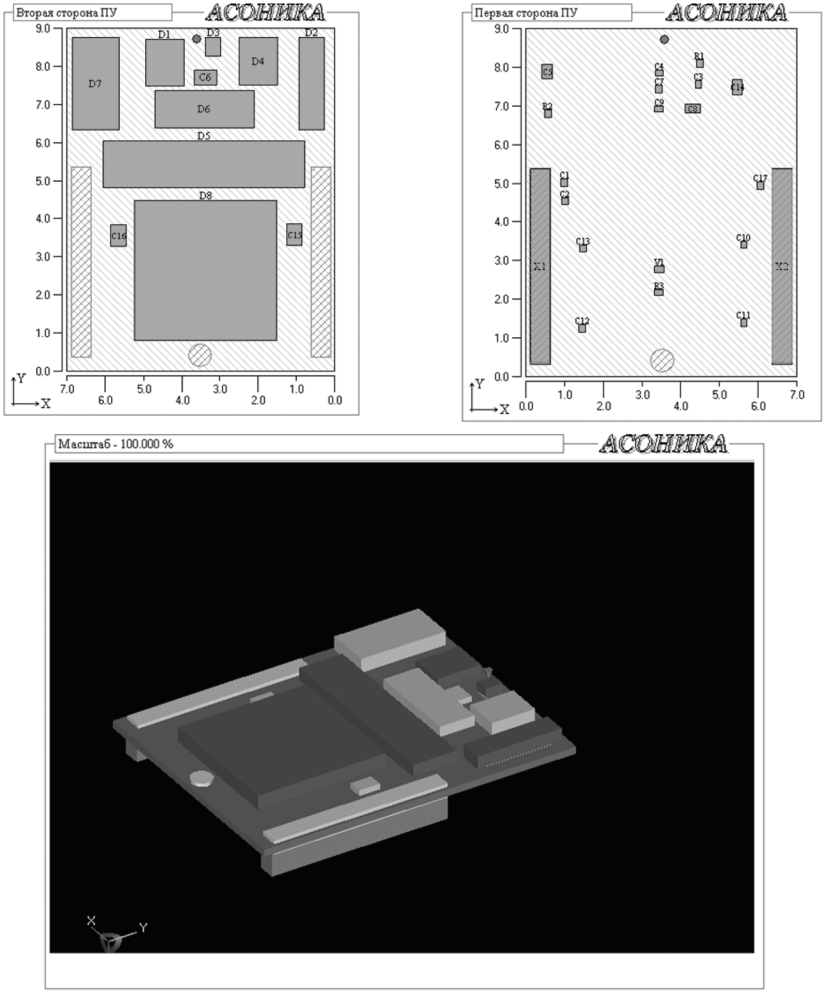
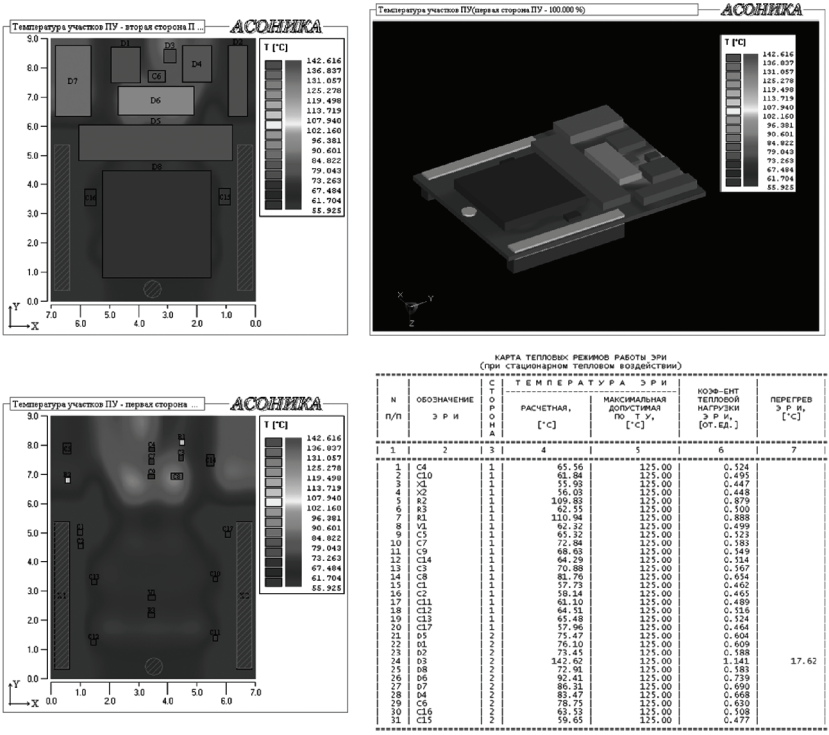



**Рис. 3.50.** Конструкция печатного узла, конвертированная из системы P-CAD




КАРТА ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ
(при стационарном тепловом воздействии)

| N П/П | ОБОЗНАЧЕНИЕ ЭРИ | СТОРОНА | ТЕМПЕРАТУРА ЭРИ | | КОЭФ-ЕНТ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ЭРИ, [ОТ.ЕД.] | ПЕРЕГРЕВ ЭРИ, [°C] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | РАСЧЕТНАЯ, [°C] | МАКСИМАЛЬНАЯ ДОПУСТИМАЯ ПО Т.У, [°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. 3.51.** Результаты моделирования тепловых режимов

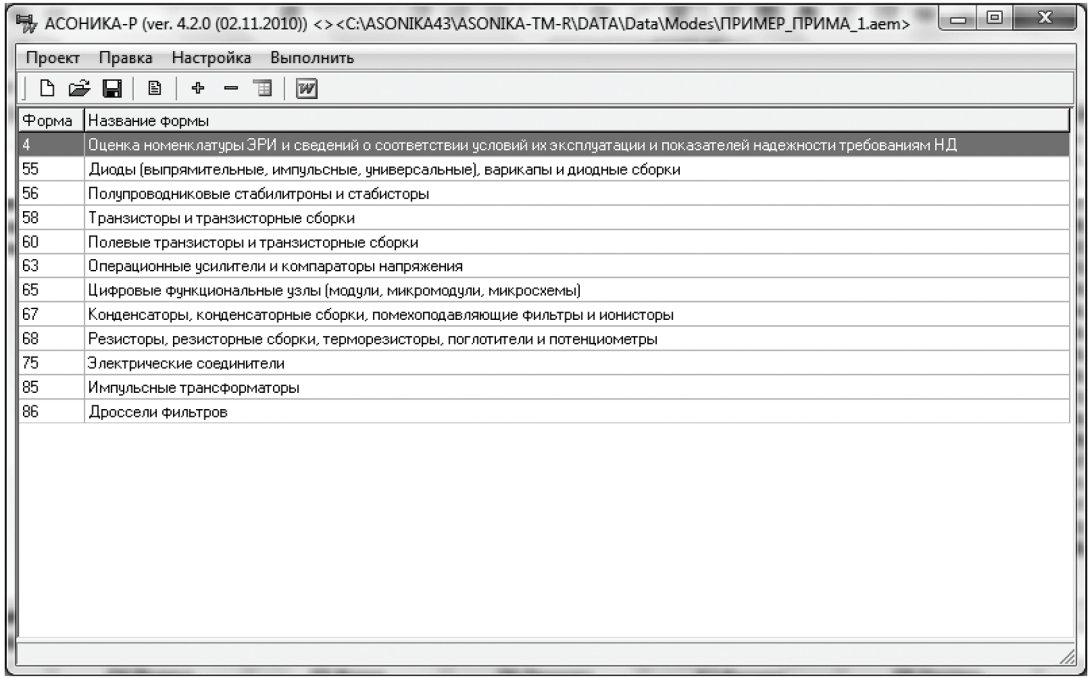
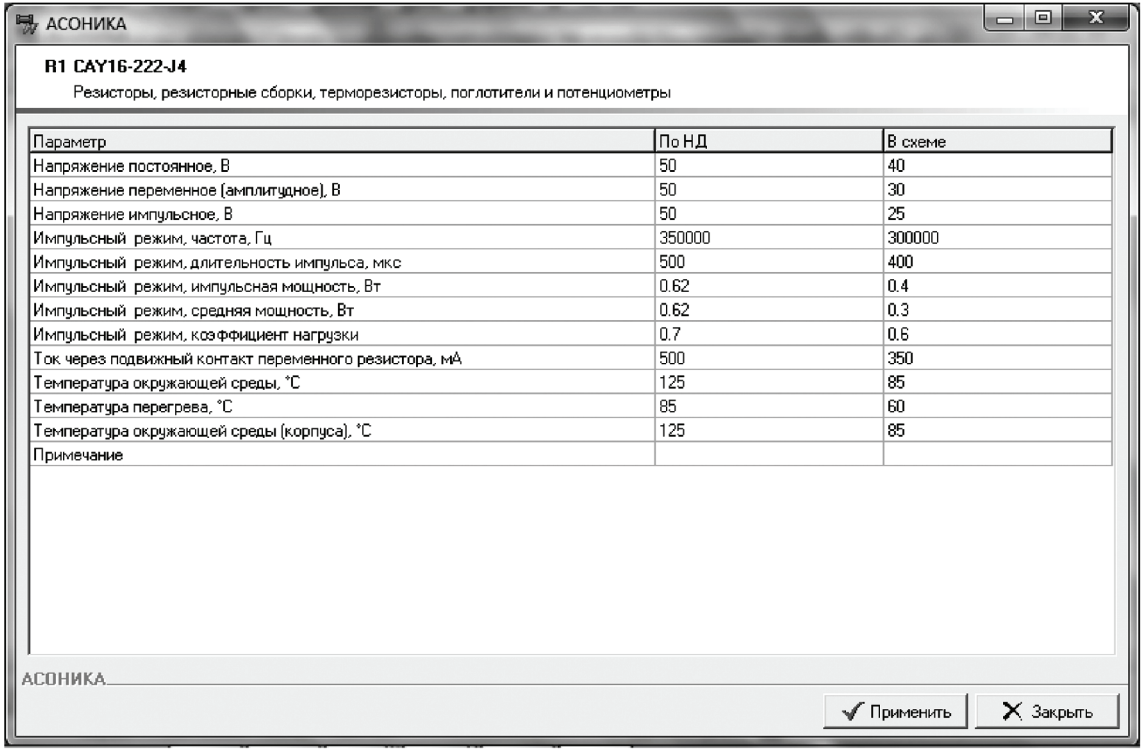
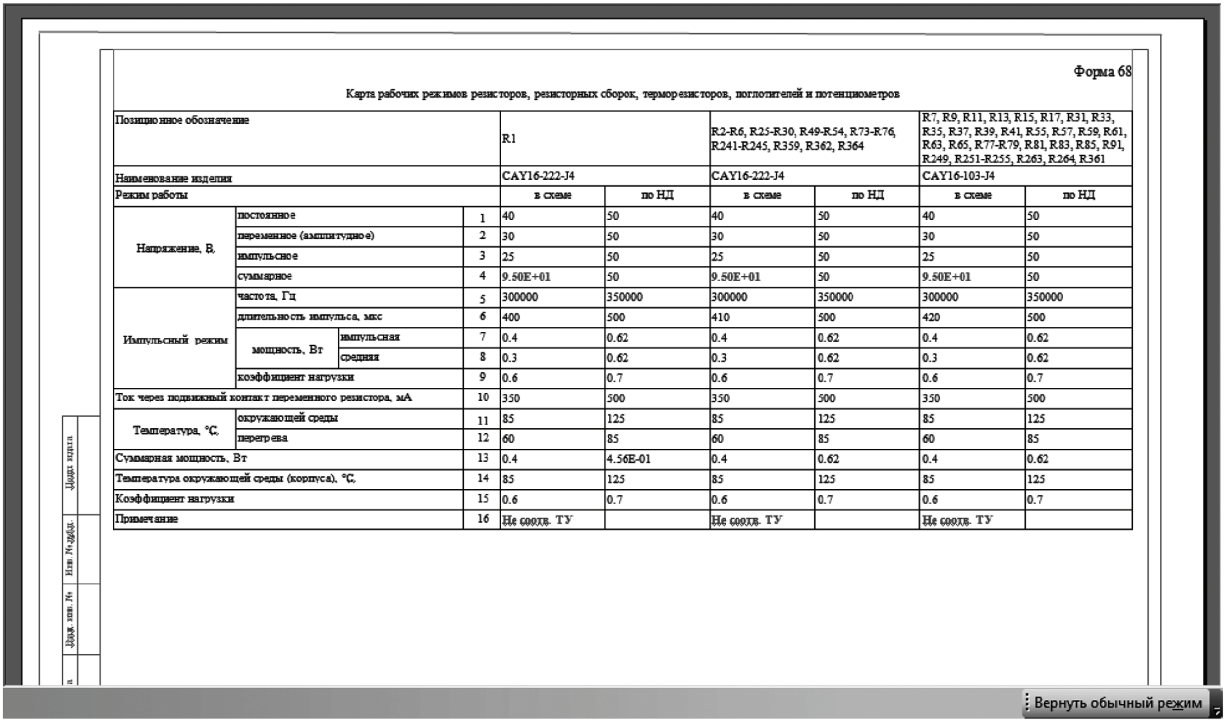



**Рис. 3.52.** Диалоговое окно для формирования карт рабочих режимов




| Параметр | По НД | В схеме |
|---|---|---|
| Напряжение постоянное, В | 50 | 40 |
| Напряжение переменное (амплитудное), В | 50 | 30 |
| Напряжение импульсное, В | 50 | 25 |
| Импульсный режим, частота, Гц | 350000 | 300000 |
| Импульсный режим, длительность импульса, мкс | 500 | 400 |
| Импульсный режим, импульсная мощность, Вт | 0.62 | 0.4 |
| Импульсный режим, средняя мощность, Вт | 0.62 | 0.3 |
| Импульсный режим, коэффициент нагрузки | 0.7 | 0.6 |
| Ток через подвижный контакт переменного резистора, мА | 500 | 350 |
| Температура окружающей среды, °С | 125 | 85 |
| Температура перегрева, °С | 85 | 60 |
| Температура окружающей среды (корпуса), °С | 125 | 85 |
| Примечание | | |

**Рис. 3.53.** Диалоговое окно для задания 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. 3.54.** Вывод карты рабочих режимов в подсистеме АСОНИКА-Р

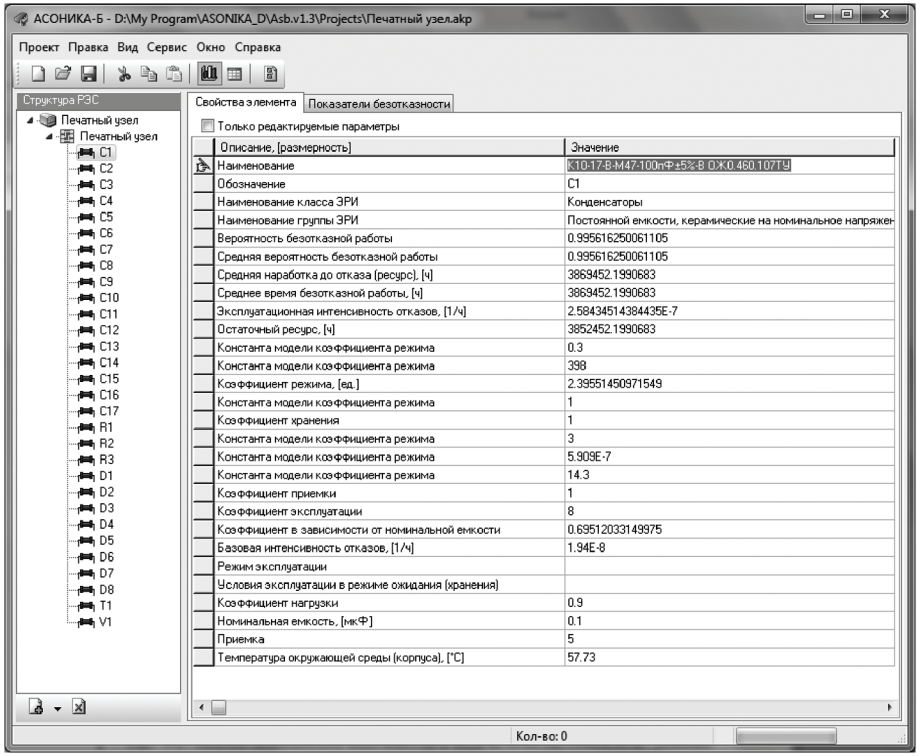



**Рис. 3.55.** Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: задание исходных данных

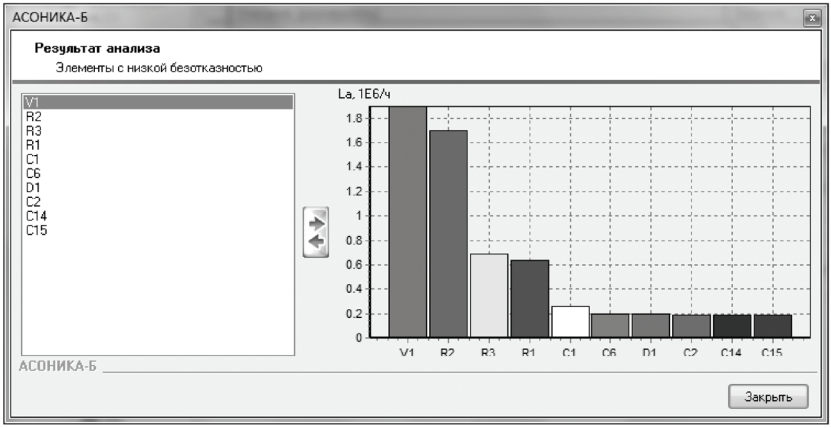



**Рис. 3.56.** Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: ЭРИ с низкой безотказностью

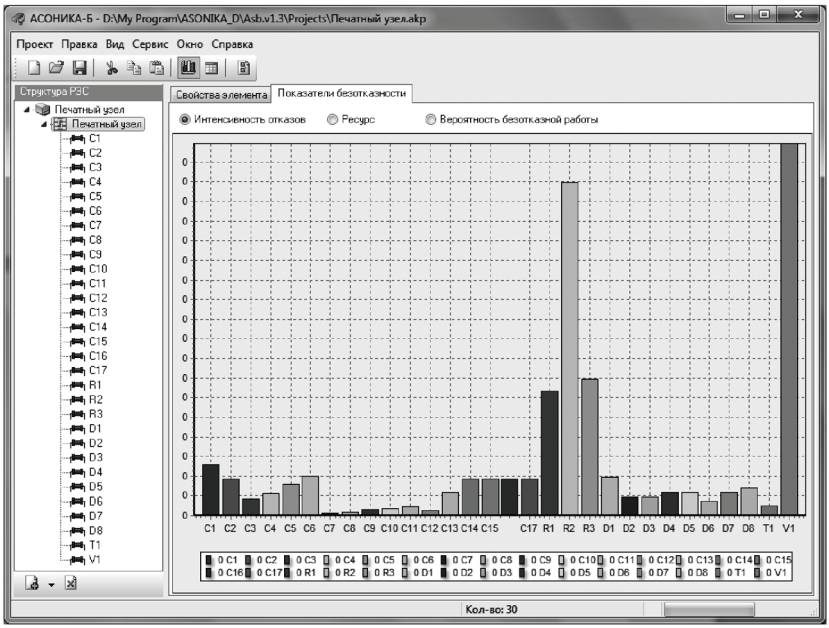



**Рис. 3.57.** Анализ показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б: вклады ЭРИ в общую безотказность РЭС

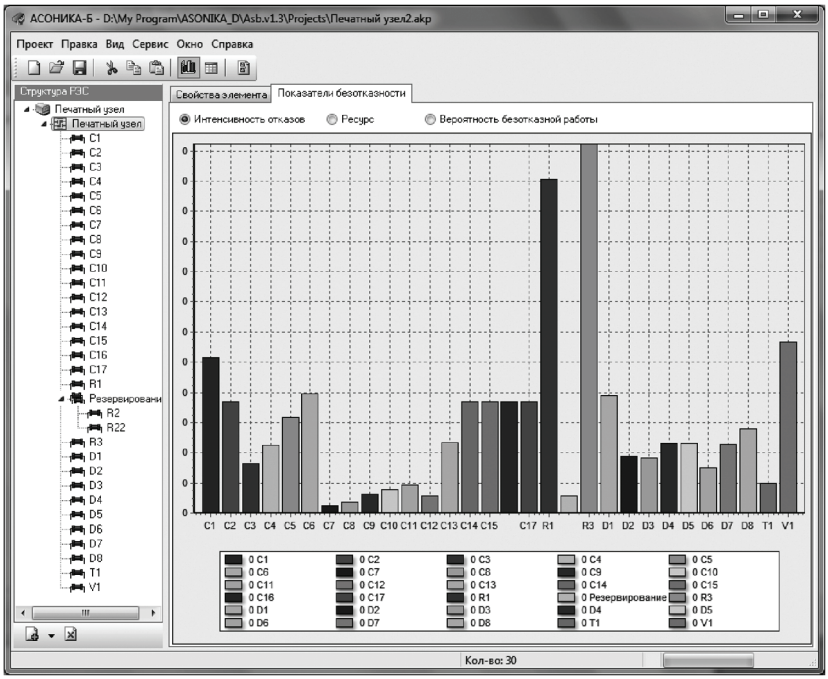



**Рис. 3.58.** Вклады ЭРИ в общую безотказность ПУ после оптимизации конструкции

## 3.4. Модуль интеграции системы моделирования электрических процессов в схемах PsPice и подсистем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-Р, АСОНИКА-Б

### Конвертор PsPice – АСОНИКА-Т

При интеграции системы PsPice и подсистемы анализа и обеспечения тепловых характеристик конструкций аппаратуры АСОНИКА-Т выполняются следующие действия:

– проводится расчет мощностей тепловыделения ЭРИ по электрическим характеристикам, полученным в системе PsPice, которые сохраняются в текстовом файле в виде структуры <Позиционное обозначение ЭРИ> <Значение мощности в Вт>;

– 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.

## Конвертор PsPice – АСОНИКА-Б

При интеграции системы PsPice и подсистемы анализа показателей надежности РЭС с учетом реальных режимов работы ЭРИ АСОНИКА-Б выполняются следующие действия:

– электрические характеристики (токи, напряжения, мощности и др.), полученные в результате расчета электрической схемы в системе PsPice, сохраняются в текстовом файле в виде структуры <Позиционное обозначение ЭРИ> <Сила тока в А> <Напряжение в В> <Мощность в Вт> <др. 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.

## Конвертор PsPice – АСОНИКА-Р

При интеграции системы PsPice и подсистемы автоматизированного заполнения карт рабочих режимов ЭРИ АСОНИКА-Р выполняются следующие действия:

– электрические характеристики (токи, напряжения, мощности и др.), полученные в результате расчета электрической схемы в системе PsPice, сохраняются в текстовом файле в виде структуры <Позиционное обозначение ЭРИ> <Сила тока в А> <Напряжение в В> <Мощность в Вт> <др. 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 (рис. 3.59).

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. 3.59.** Пример файла log.txt

Структура файла ERIModes5.ini, согласно которой происходит считывание электрических параметров, имеет следующий вид, показанный на рис. 3.60.

```
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. 3.60.** Фрагмент файла ERIModes5.ini

Опишем структуру файла ERIModes5.ini: 1-й столбец – номер формы (например, 68 – резисторы); 2-й столбец – число передаваемых электрических параметров; 3-й столбец и последующие – передаваемые параметры

Далее для каждой формы приводятся позиционные обозначения параметров элементов, входящих в моделируемую конструкцию. Так, для формы 55 (диоды):

1 – выпрямительный режим, постоянный или средний выпрямленный ток в миллиамперах;

2 – выпрямительный режим, максимальный импульс тока при включении в амперах;

6 – максимальное обратное напряжение в вольтах;

10 – коэффициент нагрузки.

Для формы 58 (транзисторы биполярные):

1 – статический режим, напряжение коллектор-эмиттер в вольтах;

2 – статический режим, напряжение коллектор-база в вольтах;

3 – статический режим, напряжение эмиттер-база в вольтах;

4 – статический режим, ток коллектора в амперах;

5 – статический режим, ток базы в амперах;

17 – средняя мощность, Вт;

18 – импульсная мощность, Вт;

20 – коэффициент нагрузки.

Для формы 67 (конденсаторы):

1 – постоянное напряжение в вольтах;

3 – импульсное напряжение в вольтах;

9 – реактивная мощность, ВАр;
14 – коэффициент нагрузки.

Для формы 68 (резисторы):
1 – постоянное напряжение в вольтах;
3 – импульсное напряжение в вольтах;
13 – суммарная мощность, Вт;
15 – коэффициент нагрузки.

# ГЛАВА 4

# Электромагнитная совместимость РЭС (АСОНИКА-ЭМС)

4.1. Электромагнитные помехи и их источники

4.2. Испытания на ЭМС и устойчивость к электромагнитным воздействиям

4.3. Методика моделирования электромагнитных процессов

4.4. Автоматизация синтеза модели для расчета эффективности экранирования РЭС

4.5. Структура подсистемы АСОНИКА-ЭМС

## 4.1. Электромагнитные помехи и их источники

Электромагнитная совместимость (ЭМС) определяется 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 их распространения 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. Причины их возникновения обусловлены различными явлениями как природного характера, так и созданными человеком системами и оборудованием (рис. 4.1).

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 (рис. 4.2). Механизмом связи называют физический принцип передачи энергии электромагнитных процессов от источника к рецептору помех.

Гальваническая связь осуществляется через ток или напряжение. Электрическое и магнитное поля характеризует квазистатический диапазон, в котором эти поля независимы друг от друга. Связь через излучение имеет место тогда, когда приемник находится в дальнем поле, а электрическое и магнитное поля возникают одновременно и связаны между собой.




**Рис. 4.1.** Виды источников ЭМП

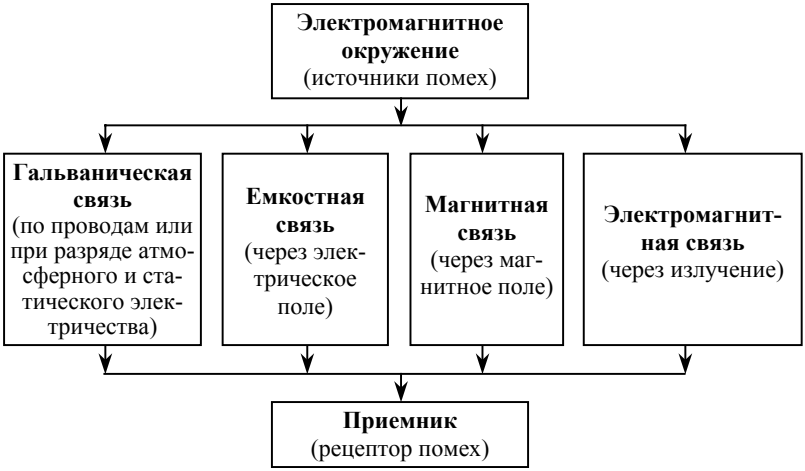



**Рис. 4.2.** Виды механизмов связи источников и приемников помех

Помехи могут проникать в устройство или, наоборот, передаваться в окружающую среду различными путями (рис. 4.3):

– 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.

На практике в большинстве случаев связь устанавливается одновременно по нескольким путям, и, кроме того, один путь может использоваться несколькими механизмами связи. Все это существенно затрудняет правильное объяснение появления помех.

В настоящее время из-за постоянного роста парка электронной аппаратуры все большее значение приобретают вопросы защиты РЭС от внешних электромагнитных воздействий и минимизации помех, создаваемых аппаратурой. Сегодня восприимчивость к помехам характерна для 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).

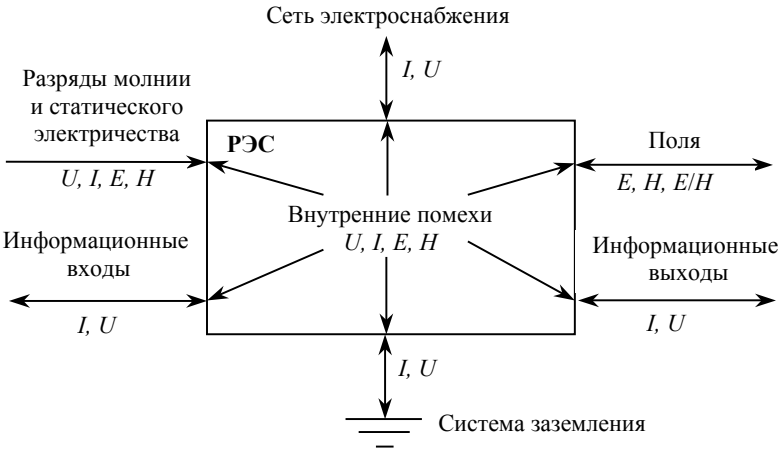



**Рис. 4.3.** Пути проникновения и излучения помех в электронное устройство:
*I, U* – ток и напряжение (гальваническая связь);
*E, H, E*/*H* – электрическое, магнитное и электромагнитное поля

## 4.2. Испытания на ЭМС и устойчивость к электромагнитным воздействиям

При проектировании радиоэлектронной аппаратуры принципиально невозможно добиться ее полной защиты от всех электромагнитных воздействий и исключения создаваемых ею помех. Однако можно спроектировать изделие так, что оно будет функционировать в 80…90% случаев и не создавать помех другим устройствам, т.е. защищая изделие от внешних электромагнитных возмущений, мы, тем самым, одновременно препятствуем выходу создаваемых им помех во внешнюю среду.

В общем случае, техническое задание на разрабатываемое устройство содержит требования к помехоустойчивости и помехоэмиссии согласно ГОСТ и ОСТ. В различных областях техники действуют собственные 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:

– прерывание, провалы, выбросы и колебания напряжения электропитания;

– переходные (импульсные) напряжения в линиях электропитания, сигнальных линиях и линиях управления;

– радиочастотные электромагнитные поля как импульсные (создаваемые радиолокационными станциями), так и непрерывные, 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 РЭС 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 РЭС 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 ГОСТ и ОСТ. В общем случае, для проведения испытаний опытный образец проектируемого изделия помещается в соответствующую электромагнитную обстановку (ЭМО). Цель испытаний – определить, может ли изделие надлежащим образом функционировать в соответствующей ЭМО.

Несомненным достоинством натурных испытаний на воздействие ЭМП является достоверность полученных результатов. В настоящее время сертификат соответствия требованиям ЭМС может быть выдан производителю изделия только на основании положи-

тельных результатов испытаний согласно ГОСТ в аттестованной государством лаборатории.

Однако для решения комплексной задачи обеспечения стойкости проектируемой РЭС к электромагнитным воздействиям недостаточно проведения испытаний лишь на этапе опытного образца. Спектр электромагнитных воздействий при испытаниях может быть не совсем полным, не учитывать специфики конкретной ЭМО, в которой предполагается эксплуатировать изделие. Испытания на стойкость к ЭМП в большинстве случаев выявляют несоответствие проектируемой РЭС требованиям ГОСТ. 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 РЭС. К достоинствам математического моделирования относятся прежде всего его дешевизна по сравнению с натурными испытаниями – не нужно изготавливать опытный образец, а также скорость – вносить изменения в схему и конструкцию можно за несколько часов, ведь изменяется только модель. Кроме того, можно значительное сократить персонал, занятый на испытаниях, поскольку весь процесс моделирования может выполнять один человек соответствующей квалификации. Однако применение моделирования электромагнитных процессов требует очень тщательного выбора метода математического моделирования и реализующего его программного обеспечения, и правильной постановки задачи. При неправильно выбранном выборе метода либо неправильно поставленной задаче 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, т.е. 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 ре-

шающих задачи электродинамики. Среди них имеются как узкоспециализированные инструменты, призванные решать конкретную проблему (например, расчет антенн в программе MAGMAS 3D), так и поистине универсальные программные комплексы, охватывающие практически весь спектр задач электродинамики, вплоть до расчета заряженных частиц (CST STUDIO SUITE).

На сегодняшний день все четче прослеживается тенденция к сокращению числа узкоспециализированных программ, к расширению спектра решаемых задач, к усложнению пользовательского интерфейса, и как следствие, к существенному увеличению стоимости программного обеспечения (ПО), а также к значительному увеличению времени, необходимого специалисту, 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, актуальным становится создание удобного в работе и простого в изучении программного комплекса, позволяющего на уровне пользователя–разработчика РЭС быстро решать наиболее распространенные вопросы обеспечения стойкости РЭС к внешним электромагнитным воздействиям и оперативно, в процессе разработки, принимать решение о внесении изменений в конструкцию. Для примера рассмотрим методическое, лингвистическое и программное обеспечение, предназначенное для определения эффективности экранирования корпусом РЭС внешнего радиочастотного электромагнитного поля.

Чтобы решить эту задачу, необходимо создать модель, в которой нашли бы отражение все необходимые для электродинамического моделирования параметры реальной РЭС, такие как ее пространственная конструкция, электрофизические характеристики материалов, из которых состоит РЭС, а также параметры воздействия и граничные условия. Изначально необходимо разбить объем модели на конечные элементы с условием соответствия конечно-элементной модели исходной. На сегодняшний день не существует методики автоматизированного синтеза моделей РЭС 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 – требует длительного времени для изучения всех возможных настроек и параметров, что является серьезным недостатком.

Чтобы написать эффективную программу для расчета экранов, необходимо сначала разработать методику создания модели РЭС, пригодной для анализа.

## 4.3. Методика моделирования электромагнитных процессов

Эффективность экранирования электрического поля вычисляется с помощью следующей формулы:

$$S = 20 \lg \frac{E_0}{E_э}, \tag{4.1}$$

где $E_0$ – напряженность электрического поля в отсутствие корпуса; $E_э$ – напряженность электрического поля внутри корпуса.

Аналогично определяется эффективность экранирования магнитного поля. Таким образом, чтобы оценить 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. Мы применим метод конечных элементов (Finite Element Method, FEM).

### Создание трехмерной модели конструкции ЭА

Применяемые сегодня электронные приборы представляют собой довольно сложные конструкции (рис. 4.4), состоящие из двух и более крышек, имеющие скругления, ребра, отверстия произвольной формы, проушины для крепления. Такую модель невозможно рассчитать в приемлемые сроки на современных рабочих станциях, так как она содержит большое число деталей, размер которых мал по сравнению с размером всей модели и которые требуют огромного числа конечных элементов (порядка нескольких миллионов). Поэтому перед инженером-расчетчиком стоит нетривиальная задача – создать модель РЭС, пригодную для электрофизического моделирова-

ния, позволяющую с приемлемой точностью и в разумные сроки провести расчет результата электромагнитных воздействий на прибор. Такие модели, с одной стороны, не должны быть слишком детальными, а с другой – не должны быть слишком упрощены, поскольку в противном случае результаты моделирования и натурного эксперимента могут значительно (на порядок или больше) различаться.

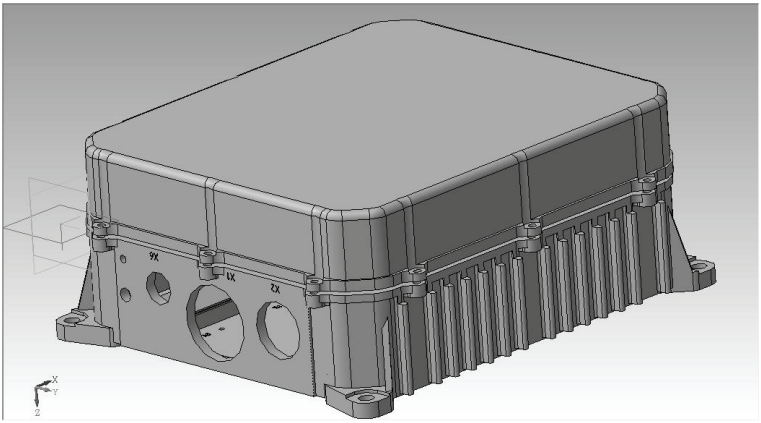



**Рис. 4.4.** Трехмерная модель корпуса РЭС

На основе требований, предъявляемых к моделям РЭС различными системами электрофизического моделирования и к практическим наблюдениям, был разработан алгоритм преобразования трехмерной модели из конструкторской документации в модель, пригодную для расчета методом конечных элементов (рис. 4.5).

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 ГОСТ по ЭМС.

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 влияют на поле внутри корпуса, поэтому их можно смело исключать из модели для уменьшения числа конечных элементов.

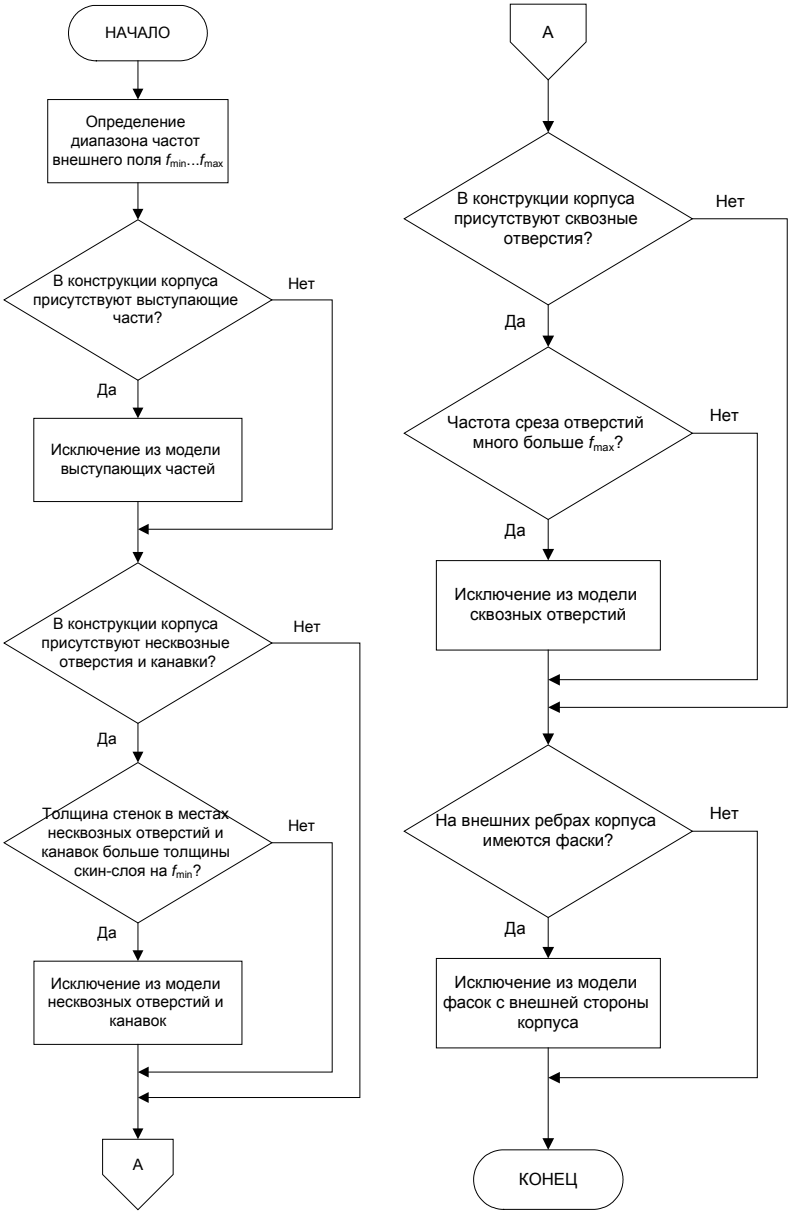



**Рис. 4.5.** Алгоритм моделирования корпуса РЭС для расчета эффективности экранирования электромагнитного поля методом конечных элементов

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 частоте $f_{\min}$, то данное отверстие можно исключить из модели. Толщина скин-слоя $\Delta$ на частоте $f$ считается по следующей формуле:

$$\Delta = \sqrt{\frac{1}{\pi f \mu \sigma}},$$

где $\mu$ и $\sigma$ – абсолютные магнитная и удельная проводимость металла.

Затем проводится анализ сквозных отверстий в стенках корпуса. Отверстие в металлической стенке представляет собой волноводный фильтр, с частотой среза, равной

$$f_{\text{ср}} = \frac{1,75 \cdot 10^5}{D} \text{ либо } f_{\text{ср}} = \frac{1,5 \cdot 10^5}{W}.$$

С помощью первой формулы можно рассчитать частоту среза для круглого отверстия ($D$ – диаметр отверстия), с помощью второй – для прямоугольного, где $W$ – наибольший размер.

Если рассчитанная частота среза много больше $f_{\max}$, то отверстие можно исключить из модели, так как колебания с частотой, меньшей 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 (см. рис. 4.1), 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. 4.6 показана трехмерная модель корпуса прибора, подготовленная к дальнейшим шагам электродинамического моделирования.

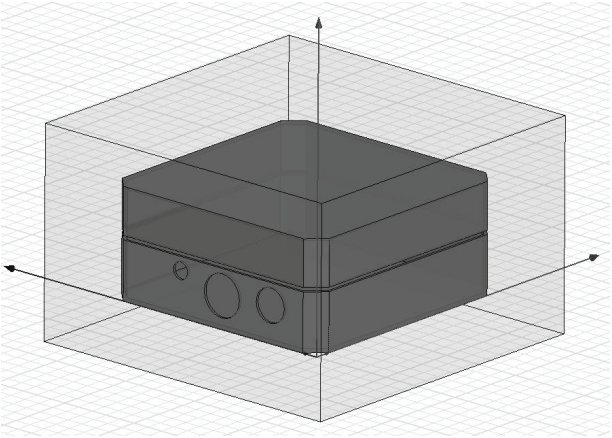


**Рис. 4.6.** Трехмерная модель корпуса прибора с окружающим пространством для конечно-элементного расчета

В трехмерную модель конструкции следует также включить воздушное пространство как внутри корпуса, так и снаружи. Расстояние от стенок корпуса до границ окружающего воздушного пространства должно быть не менее $1/6\lambda$ на наименьшей частоте. Например, если частота падающей плоской волны равна 1 ГГц, то $\lambda = 0,3$ м, следовательно, расстояние до границы воздушного пространства должно составлять 0,05 м.

Следующим шагом создания электродинамической модели является назначение электрофизических свойств материалов объемам счетной области.

## Назначение материалов

Чтобы решить граничную задачу электродинамики, т.е. найти векторы **E** и **H**, в некоторой области удовлетворяющие 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: $\hat{\varepsilon}_a$, $\hat{\mu}_a$, $\hat{\sigma}^e$, $\hat{\sigma}^m$. В данном случае тензор – 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 0*x*, 0*y*, 0*z*:

$$\hat{\varepsilon}_a = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_{zz} \end{bmatrix}.$$

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. Мнимые части, определяемые тензорами электрической и магнитной проводимостей, описывают свойство среды рассеивать электромагнитную энергию, т.е. 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 моделирования 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. 4.7).

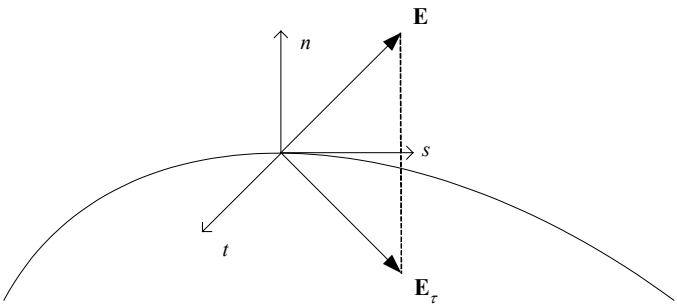



**Рис. 4.7.** Поверхность и локальная система координат

В этом случае произвольный вектор **E** раскладывается на нормальную компоненту $E_n$ и тангенциальный вектор $\mathbf{E}_\tau$, лежащий в плоскости $tOs$, а тангенциальный (касательный) $\mathbf{E}_\tau$ – на компоненты $E_t, E_s$. Обычно граничные условия формулируются для компонент $E_t, E_s$ и для касательных компонент магнитного поля.

**Поверхность раздела двух сред.** Граничные условия для поверхности раздела двух сред с разными диэлектрическими и магнитными свойствами, которые могут быть также анизотропными средами, описываются следующими соотношениями:

$$\mathbf{E}_{\tau 1} = \mathbf{E}_{\tau 2}, \ \mathbf{H}_{\tau 1} = \mathbf{H}_{\tau 2},$$

где индексы 1, 2 соответствуют полям по разные стороны от границы. Таким образом, касательные компоненты электромагнитного поля на границе раздела сред непрерывны.

**Идеальная электрическая и идеальная магнитные стенки.** В наиболее простой форме граничные условия записываются для идеализированных поверхностей магнитной и электрической стенок. Идеальная электрическая стенка является моделью поверхности металла без потерь, т.е. металла с бесконечной проводимостью. Для нее граничные условия имеют следующий вид:

$$\mathbf{E}_\tau = 0.$$

Хотя магнитные проводники пока не известны из-за отсутствия в природе магнитных зарядов, понятие магнитной стенки оказывается полезным при решении электродинамических задач: с ее помощью можно вводить плоскости симметрии модели, т.е. рассчитывать поле только в одной половине (при центральной симметрии, например). Граничные условия для магнитной стенки имеют следующий вид:

$$\mathbf{H}_\tau = 0.$$

Особенностью идеальных проводников является то, что поле не проникает внутрь таких сред. Это приводит к тому, что поле, пересекая поверхность идеального проводника (и не только), скачкообразно меняется (рис. 4.8).

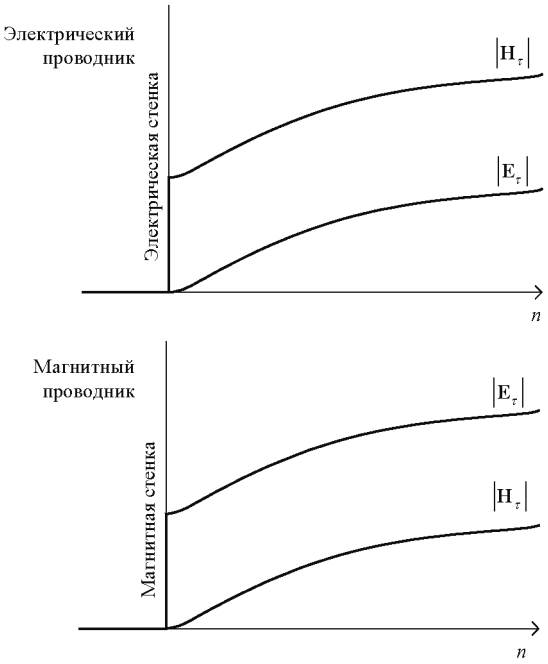



**Рис. 4.8.** Поля вблизи поверхности идеальных проводников

Из рис. 4.8 видно, что на поверхности идеальной электрической стенки возникает скачок касательного магнитного поля при непрерывном касательном электрическом поле. Наоборот, на поверхности магнитного проводника касательное электрическое поле разрывно.

В электродинамике разрыв компонент поля эквивалентен появлению токов. В случае разрыва тангенциальных компонент в бесконечно тонком слое, распределенном вдоль поверхности, возникают поверхностные токи, связанные с тангенциальными компонентами полей следующим образом:

$$\mathbf{j}^e = (\mathbf{n} \times \mathbf{H}_\tau), \quad \mathbf{j}^m = -(\mathbf{n} \times \mathbf{E}_\tau),$$

где $\mathbf{j}^{e,m}$ – плотности поверхностных токов.

**Идеально согласованные слои.** Говоря об определении поля, наведенного внешним источником в закрытых структурах, каковыми являются большинство корпусов РЭС, нельзя не упомянуть об излу-

чении волны в свободное пространство. Дело в том, что число конечных элементов, применяемых в модели, ограниченно, т.е. невозможно напрямую смоделировать излучение волн в бесконечность. Поэтому в численной электродинамике широко применяют граничные условия для поглощения излучаемых и переотраженных волн из счетной области. Такие условия получили название идеально согласованных слоев (Perfectly Matched Layers, PML).

## Источники возбуждения

В тот момент, когда построена трехмерная модель исследуемой области, а также назначены материалы и граничные условия, встает вопрос о передаче энергии электромагнитной волны в структуру, т.е. о ее возбуждении. Решая такую электродинамическую задачу, следует иметь в виду, что существует несколько способов ввода энергии в вычислительный объем, зависящих от типа решаемой задачи: с помощью волноводного порта, дискретного порта, падающей волны, источника напряжения, источника тока, внутреннего поля смещения. При оценке наведенного поля внутри таких замкнутых структур, как корпуса РЭС, используется только возбуждение падающей волной.

Обратим внимание на падающую (плоскую) волну, которая распространяется в одном направлении и однородна в направлении, перпендикулярном к ее распространению. Угол, под которым волна падает на структуру, называется углом падения. Падающая волна описывается соотношением

$$E_{\text{inc}} = E_0 e^{-jk_0(\hat{k}\cdot r)},$$

где $E_{\text{inc}}$ – падающая волна; $E_0$ – 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, для решения трехмерных задач электродинамики использован 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 $\lambda/10$, где $\lambda$ – длина волны в среде, в которой ищется решение, нежелательно). Эти коэффициенты определяются с помощью уравнений Максвелла и граничных условий. В результате решение электродинамической задачи сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) 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 с искривленной поверхностью. Поэтому ограничения на размер тетраэдра накладывает не только точность определения поля, но и точность аппроксимации исходной структуры новой структурой, составленной из тетраэдров.

Для оптимизации сетки используется итерационный процесс, в котором шаг между ячейками автоматически уменьшается в критических областях. На первом этапе построения тетраэдров используются вершины объектов анализируемой структуры. Тем самым создается начальное разбиение, для которого ищется грубое распределение поля. Анализ этого поля позволяет установить наличие областей, в которых скорость изменения поля наиболее велика. Выявив такие области, поле снова дробят, но уже на 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. 4.9 показан пример дискретизации пространства модели корпуса РЭС.

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 $\lambda/10$).

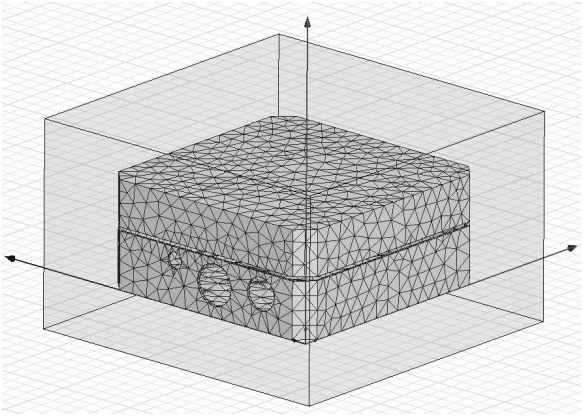


**Рис. 4.9.** Пример дискретизации пространства

## Выполнение расчета

После разбиения модели на конечные элементы можно проводить расчет. В зависимости от числа конечных элементов в модели время расчета может составлять от нескольких минут до нескольких суток и более. В результате определяются напряженности поля в узлах конечно-элементной сетки. Подставляя эти значения, рассчитанные для различных частот, в формулу (4.1), получаем зависимость эффективности экранирования от частоты падающей волны (рис. 4.10).

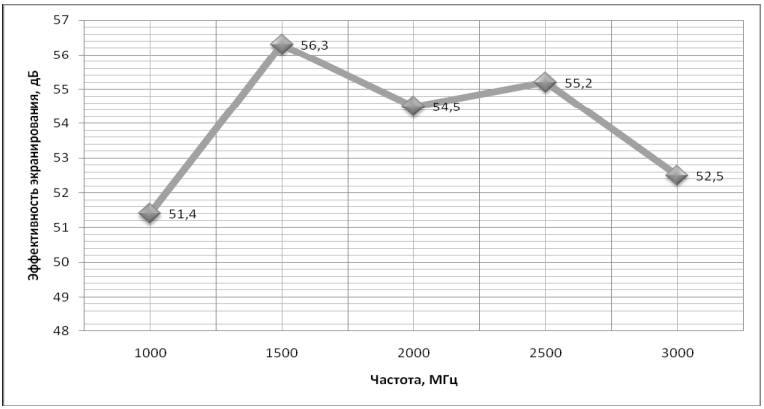



**Рис. 4.10.** Зависимость эффективности экранирования электрического поля корпусом РЭС от частоты падающей волны

## 4.4. Автоматизация синтеза модели для расчета эффективности экранирования РЭС

Методика создания модели РЭС для расчета эффективности экранирования состоит из следующих этапов:

1) создание трехмерной твердотельной модели РЭС по приведенному 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, чтобы инженер-конструктор, не знакомый с тонкостями электродинамического моделирования, мог провести анализ эффективности экранирования электромагнитного поля корпусом РЭС, 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. 4.11.

Конструктор взаимодействует с конечно-элементной CAE-системой моделирования (CAE – Computer Aided Engineering – программное обеспечение для инженерных расчетов) и CAD-системой проектирования (CAD – Computer Aided Design – программное обеспечение для проектирования) посредством понятного ему языка проектирования. Различают входной и выходной языки проектирования. Входной язык делится на язык описания объектов моделирования и язык описания заданий. С помощью первого осуществляется ввод модели конструкции в CAD-систему, а с помощью второго за-

даются параметры моделирования (диапазон частот, напряженность воздействующего поля, параметры сетки конечных элементов). Выходной язык используется для отображения результатов анализа электромагнитного процесса (графика зависимости эффективности экранирования от частоты, картин распределения поля внутри корпуса).

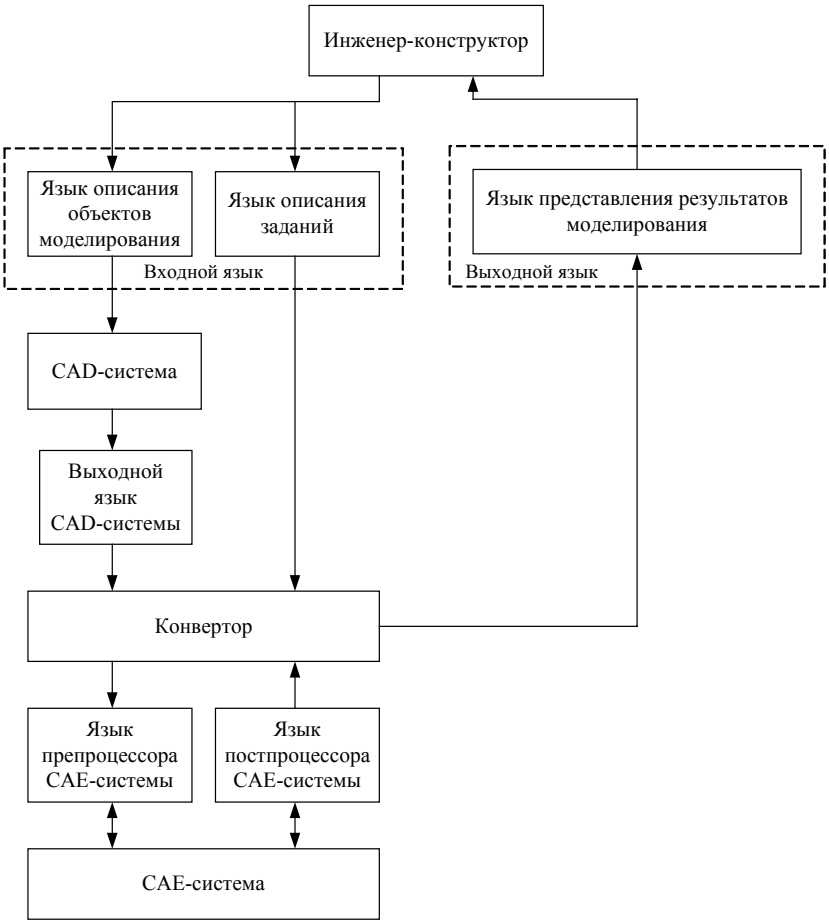



**Рис. 4.11.** Схема взаимодействия конструктора с системой моделирования электромагнитных процессов в процессе синтеза модели

Данные, вводимые конструктором на входном языке проектирования в CAD-систему, с помощью программы-конвертора переводятся в данные, понятные программе-препроцессору CAE-системы. После 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. Согласно данной схеме конструктор, не обладая знаниями, необходимыми для моделирования, управляет мощным математическим ядром CAE-системы на доступном ему языке, что повышает эффективность процесса проектирования.

Приведенная методика автоматизации создания модели РЭС легла в основу подсистемы АСОНИКА-ЭМС.

## 4.5. Структура подсистемы АСОНИКА-ЭМС

Подсистема трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС была создана в рамках автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА для замены натурных испытаний на устойчивость к электромагнитному полю электронных приборов и их систем на ранних стадиях проектирования. Вид главного окна программы показан на рис. 4.12.

На данном этапе развития в АСОНИКА-ЭМС можно рассчитывать:

– напряженность электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри типового корпуса электронного блока при воздействии электромагнитных волн;

– напряженность 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;

– эффективность экранирования электрического и магнитного полей корпусом типового блока;

– эффективность экранирования электрического и магнитного полей корпусом произвольного блока.

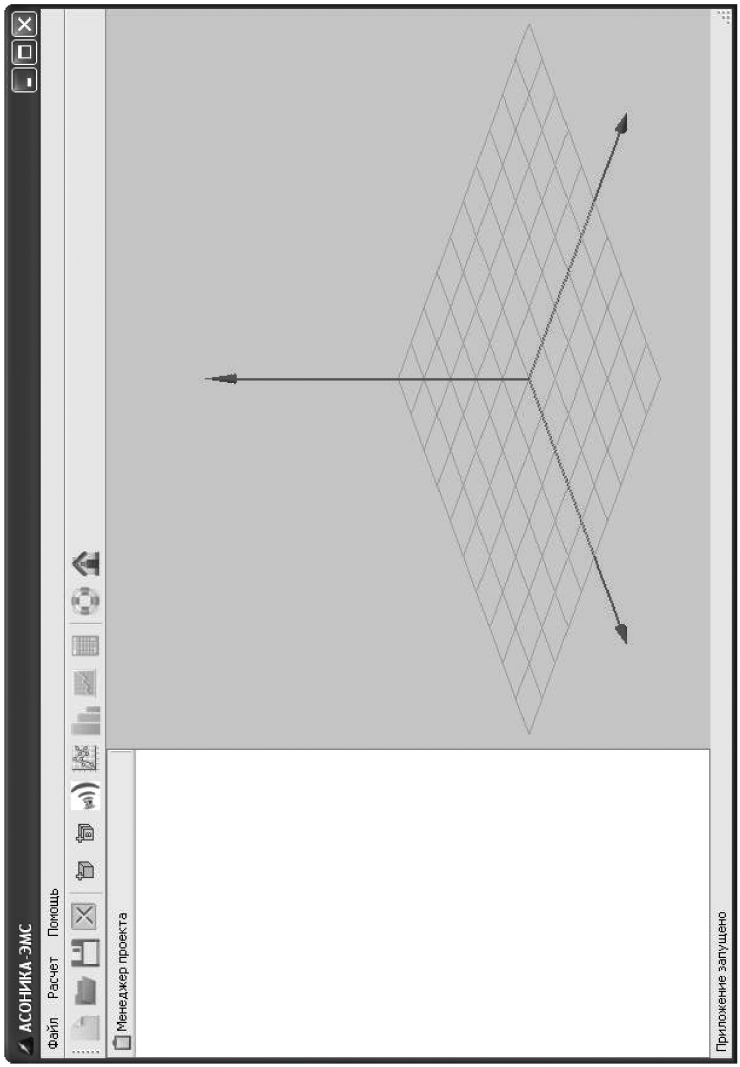



**Рис. 4.12.** Главное окно программы АСОНИКА-ЭМС

Система АСОНИКА-ЭМС состоит из трех подсистем: интерфейса пользователя, расчетного ядра и графической подсистемы (рис. 4.13).

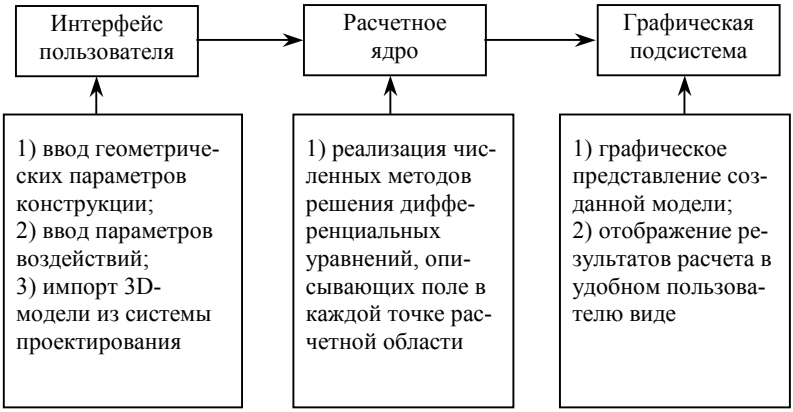



**Рис. 4.13.** Структура подсистемы трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС

Интерфейс пользователя решает две задачи: с его помощью можно ввести вручную геометрические параметры испытуемого типового изделия (блока, шкафа) либо нетипового, взяв их из файла, созданного в системах трехмерного проектирования, а также задать параметры электромагнитного поля, воздействию которого подвергается изделие.

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. 4.14). Кроме геометрических размеров, в этом окне необходимо также указать материалы верхней и нижней крышек корпуса.

Кроме задания модели типового блока, в программу можно импортировать модели блоков произвольной формы, выполненные в CAD-системах, в формате SAT (рис. 4.15).

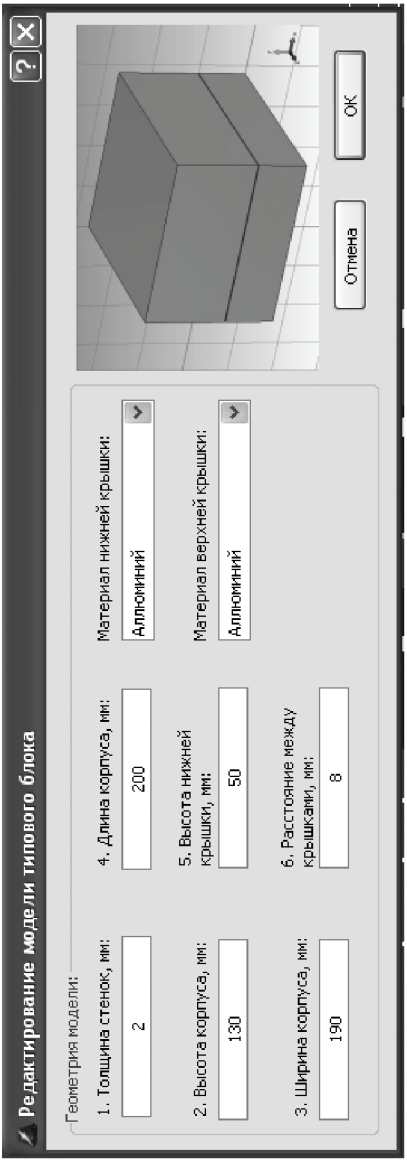



**Рис. 4.14.** Диалоговое окно для редактирования параметров модели типового блока

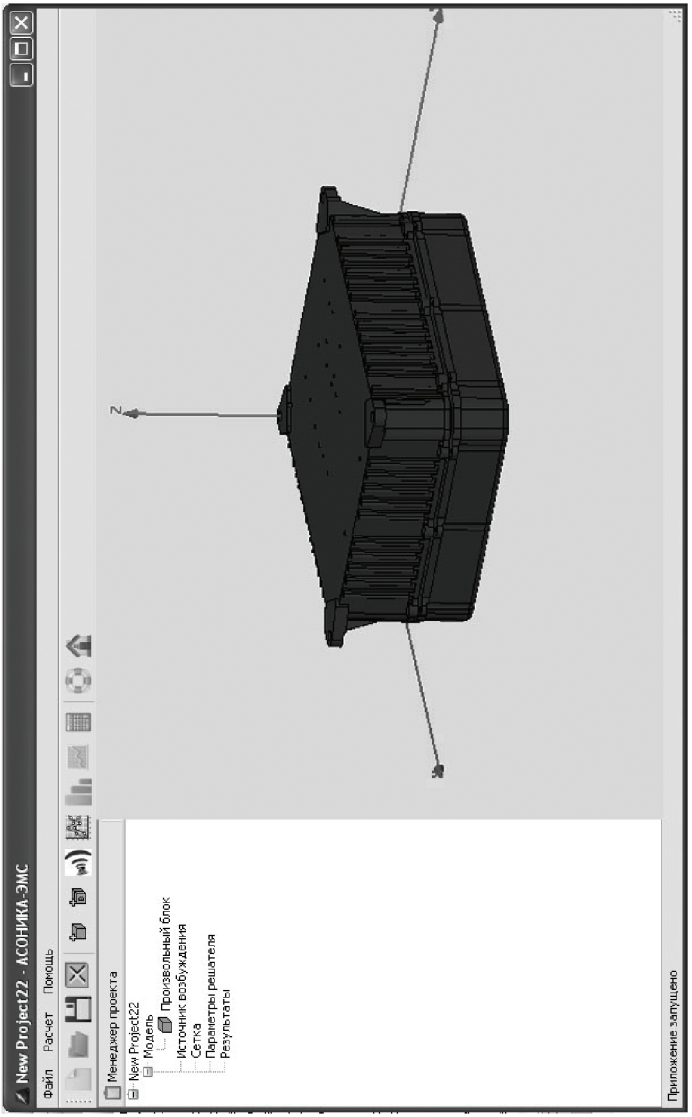



**Рис. 4.15.** Диалоговое окно для импорта модели из формата SAT

После того как трехмерная модель конструкции анализируемого корпуса введена в проект, необходимо задать параметры источника возбуждения (плоской электромагнитной волны). Для этого в меню «Расчет» программы АСОНИКА-ЭМС, следует выбрать подменю «Источник возбуждения», а в нем – пункт «Плоская волна» (рис. 4.16).

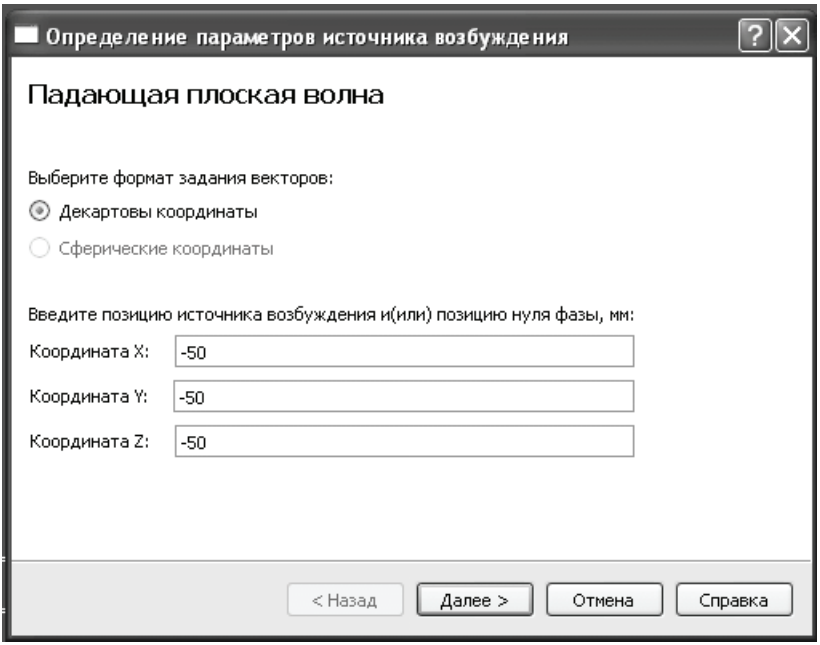



**Рис. 4.16.** Диалоговое окно для настройки параметров источника возбуждения

В появившемся диалоговом окне задаются формат ввода векторов (декартовы или сферические координаты), а также позиция источника возбуждения. В зависимости от выбранного формата появляется то или иное окно задания параметров электромагнитной волны (рис. 4.17, 4.18), после чего задаются тип плоской волны, а также параметры, зависящие от этого типа (рис. 4.19).

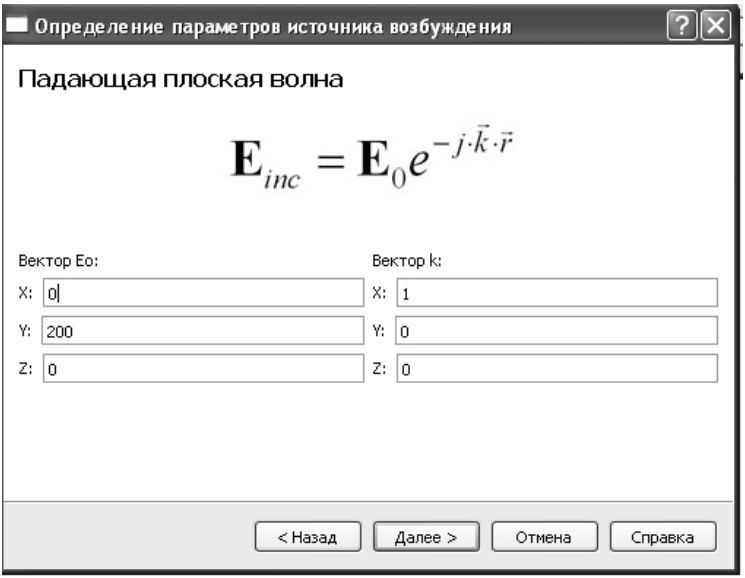



**Рис. 4.17.** Диалоговое окно для задания параметров плоской волны в декартовых координатах

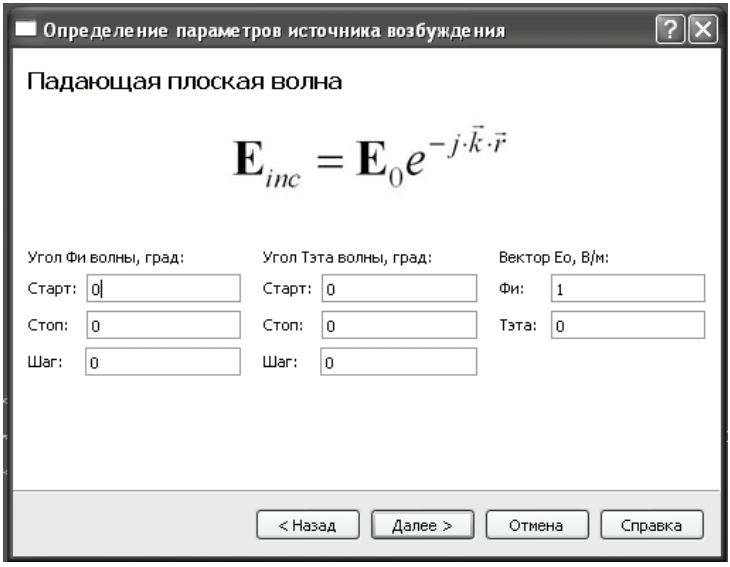



**Рис. 4.18.** Диалоговое окно для задания параметров плоской волны в сферических координатах

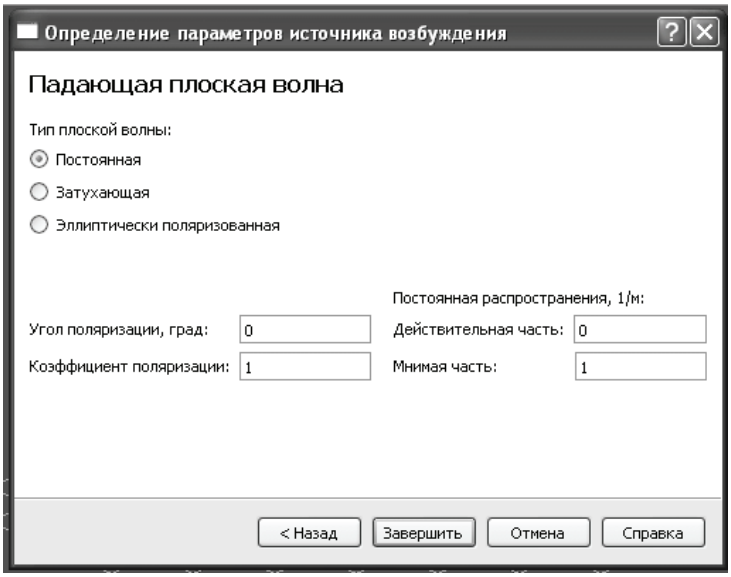



**Рис. 4.19.** Диалоговое окно для задания типа плоской волны

После задания параметров 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 мал размер каждого из отдельных элементов (тетраэдров). Решения, в которых используется большее число элементов, точнее, чем решения, выполненные с помощью крупных ячеек, состоящих из относительно небольшого числа элементов. Самым правильным критерием для выбора размеров ячейки является малая вариация поля в ее пределах. В этом случае поле можно корректно аппроксимировать линейной функцией. Скорость изменения поля зависит от рабочей частоты и неоднородности среды. С другой стороны, решение задачи при большом числе 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 $\lambda/10$ ($\lambda$ – длина волны в среде, в которой ищется решение), нежелательно. На рис. 4.20 показано диалоговое окно задания параметров сетки конечных элементов, с помощью которого можно задать ограничения на длину элементов или на их число. Это окно вызывается с помощью меню «Расчет | Параметры сетки КЭ».

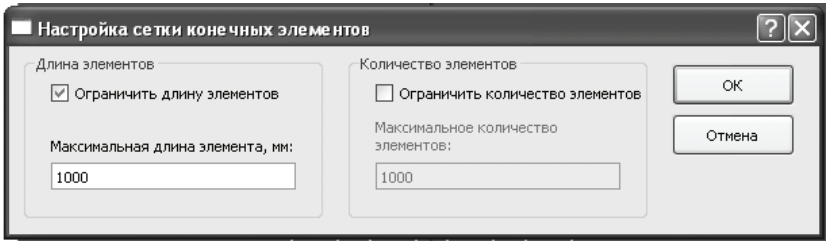



**Рис. 4.20.** Диалоговое окно для настройки сетки конечных элементов

После определения параметров конечно-элементной сетки необходимо задать частоту решения в диалоговом окне, вызываемом с помощью меню «Расчет | Настройка параметров решения» (рис. 4.21). В этом же окне можно задать диапазон частот воздействий, которым подвергается испытуемая конструкция.

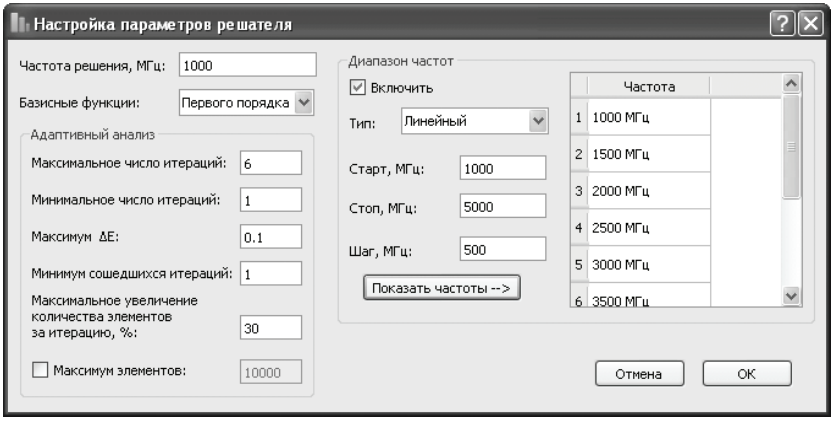



**Рис. 4.21.** Диалоговое окно для настройки параметров решателя

Следующим шагом будет указание результатов, которые программа должна будет вывести на экран по завершению расчетов.

Диалоговое окно настройки параметров отображаемых результатов вызывается с помощью меню «Расчет | Настройка результатов» (рис. 4.22).

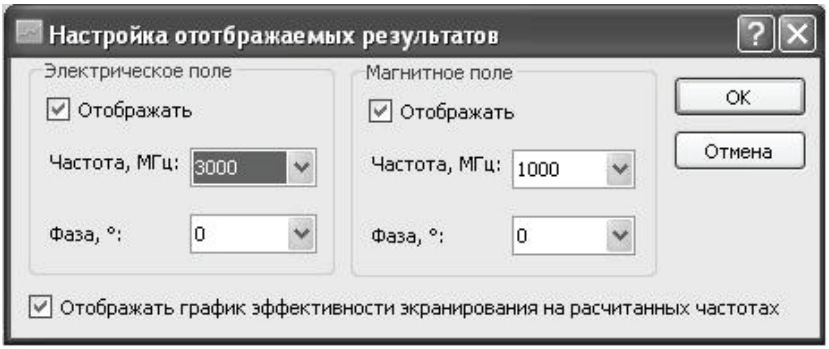



**Рис. 4.22.** Диалоговое окно для настройки отображаемых результатов

В этом окне можно задать отображение электрического и магнитного полей для разных частот (если задан их диапазон) и фаз. При выборе пользователем пункта «Отображать график эффективности экранирования на рассчитанных частотах» после завершения расчетов будет выведен на экран в отдельном окне график эффективности экранирования магнитного и электрического полей.

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. 4.23). Значения напряженности в расчетных точках обозначены размером (чем больше размер, тем больше напряженность) и цветом (от фиолетового к красному). Интерфейс пользователя реализован с помощью легко доступного пакета библиотек Qt.

Чтобы вывести на экран график эффективности экранирования, необходимо подвести курсор к пункту «Эффективность экранирования» на дереве проекта и щелкнуть мышью. График эффективности экранирования электрического и магнитного полей появится в отдельном окне (рис. 4.24).

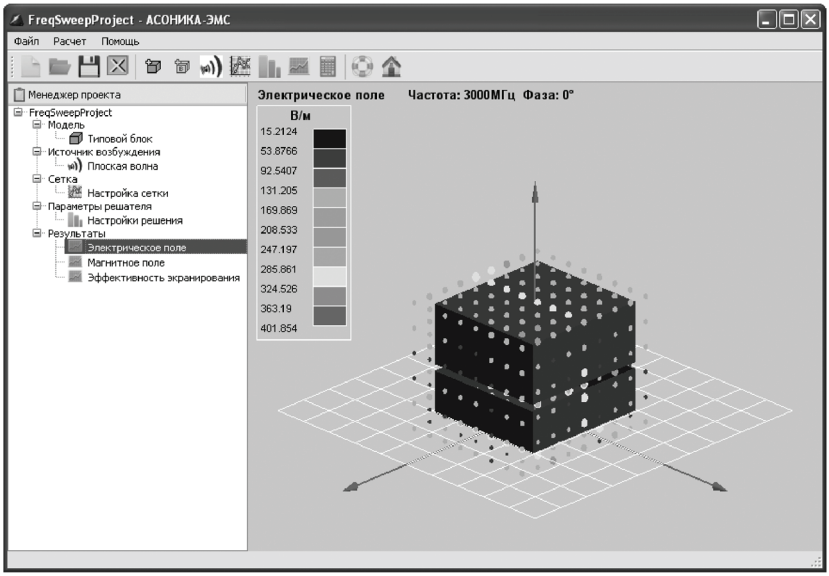



**Рис. 4.23.** Диалоговое окно для отображения результатов расчета

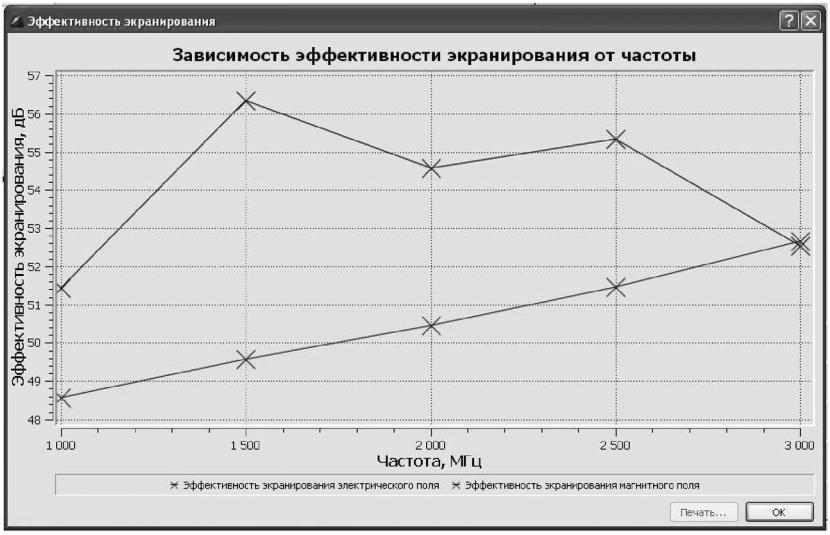



**Рис. 4.24.** Зависимость эффективности экранирования от частоты

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 API OpenGL.

Система трехмерного электромагнитного моделирования АСОНИКА-ЭМС, являясь составной частью системы АСОНИКА, может использоваться на таких приоритетных направлениях развития науки, техники и технологий в Российской Федерации как:

– информационно-телекоммуникационные системы;

– перспективные вооружения, военная и специальная техника;

– транспортные, авиационные и космические системы;

– энергетика и энергосбережение.

Система АСОНИКА-ЭМС имеет ряд преимуществ перед зарубежными аналогами. Самое существенное из них – это стоимость. Естественно, что российские предприятия не могут позволить себе приобретать программные комплексы стоимостью несколько сот тысяч евро, поэтому ориентированная на российского потребителя система АСОНИКА-ЭМС будет стоить на порядок дешевле.

В дальнейшем для АСОНИКА-ЭМС планируется реализовать связь с общей базой данных (БД) системы АСОНИКА, в которой содержатся электрофизические параметры материалов, используемых в электронной промышленности. Кроме того, предполагается обеспечить вывод исходных данных и результатов расчета в текстовый процессор Microsoft Office Word, а также разработать программный модуль расчета наведенных помех в кабелях, связывающих электронные устройства.

# ГЛАВА 5

# Интегрированная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим, электромагнитным, радиационным и надежностным параметрам (АСОНИКА-БД)

5.1. Выбор системы управления базой данных ЭРИ
5.2. Накопление базы данных ЭРИ
5.3. Структура базы данных ЭРИ
5.4. База данных ЭРИ и материалов (фрагменты)

## 5.1. Выбор системы управления базой данных ЭРИ

Одним из важных направлений системы АСОНИКА является развитие и совершенствование базы данных ЭРИ и материалов. В последнее время в системе АСОНИКА применяется база данных POSTGRESQL как одна их лучших открытых клиент-серверных систем. В настоящее время многие современные системы баз данных поддерживают технологию «клиент-сервер», которая позволяет редактировать данные с разных клиентских мест (при этом данные хранятся только на одном выделенном сервере).

После их анализа была выбрана реляционная система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL, реализованная в рамках проекта POSTGRES, основанного профессором Калифорнийского университета в Беркли Майклом Стоунбрэкером и проспонсированного 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 таких как NASA, в том числе для отслеживания астероидов. PostgreSQL используется для финансового анализа, а также внедрена в области образования, науки и производства.

У СУБД PostgreSQL нет фирмы владельца, но ее разработкой и развитием управляет организационный комитет, контактирующий с огромным числом разработчиков со всего мира (в том числе и 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 (прежде всего используется в практике больших корпораций).

Еще одна база данных MySQL – свободная система управления базами данных для малых и средних приложений – в настоящее время является собственностью компании Oracle Corporation.

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: GNU General Public License (GPL) для GPL проектов и коммерческую (платную). Для полного соответствия с требованиями лицензии GPL систему необходимо распространять вместе с исходными кодами. Коммерческая лицензия позволяет распространять систему без исходного кода приложения, но она и стоит достаточно дорого (табл. 5.1).

**Таблица 5.1.** ***Технические и стоимостные характеристики баз данных PostgreSQL и Oracle***

| База данных | Максимальный размер | Максимальный размер таблицы, TB | Максимум полей в таблице | Макс. размер записи, TB | Макс. размер поля текст/графика, GB | Макс. число символов в названии таблицы | Стоимость самой БД, тыс. долл. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Postgre SQL | Неограниченно | 32 | 250–1600 зависимости от типа данных | 1,6 | 1 / 2 | 63 | 0 |
| Oracle | Неограниченно | 0,004 | 1000 | 0,000008 | 1/ неогр. | 30 | ~40 (версия Enterprise) |

Более простая схема лицензирования СУБД PostgreSQL (BSD лицензия) 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 прикладывая исходные коды и не затрачивая средства на саму СУБД PostgreSQL (она распространяется бесплатно, этот суть лицензии Berkley). Это снижает себестоимость системы, что в конечном итоге приведет к увеличению объема ее продаж.

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. Версия, разрабатываемая 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 ошибок раз-

личного программного обеспечения 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 4000 строк кода); FreeBSD (целиком) – 306 проблем (1 ошибка на 4000 строк кода); Linux (только ядро) – 950 проблем (1 ошибка на 10 000 строк кода).

Из технических и стоимостных характеристик баз данных PostgreSQL и Oracle (см. 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 базу данных PostgreSQL можно использовать практически во всех существующих на данный момент операционных системах, таких как Windows, Linux, FreeBSD, Mac OS X, Solaris.

Кроме того, эта база данных используется в известных поисковых серверах http://rambler.ru и http://google.com, что подчеркивает ее надежность и скорость обработки данных. Поэтому в основе системы АСОНИКА была выбрана именно эта 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.

## 5.2. Накопление базы данных ЭРИ

Данные, содержащиеся в БД системы АСОНИКА, должны быть достоверными. В СУБД АСОНИКА хранятся теплофизические и физико-механические параметры электрорадиоизделий (ЭРИ) и материалов конструкций РЭС. Каждое значение этих параметров либо выбирается из справочников или ТУ, либо идентифицируется. Сбор данных из этих источников в основном происходит за счет ручного ввода

(редактирования данных). Однако данный процесс можно автоматизировать, в частности подготовить файл определенного формата (например excel файл), в который построчно заносятся данные о каждом ЭРИ или материале по специально подготовленному шаблону, а затем с помощью специальной программы обработать этот файл, занося данные в БД. Таким образом уменьшится время на добавление новых ЭРИ и материалов за счет отсутствия необходимости заполнять каждый новый ЭРИ или материал с помощью непростого многостраничного интерфейса редактирования СУБД АСОНИКА.

Важно также развивать специальные конверторы, которые позволят идентифицировать физико-механические и теплофизические параметры конструкций РЭС и таким образом заполнять СУБД АСОНИКА достоверными значениями этих параметров, что в итоге повысит точность моделирования.

Также необходимо развивать конверторы, связывающие расчет электрических схем (например система Mentor Graphics) с подсистемами АСОНИКА-Т, АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ. Это поможет задать адекватные (точные) данные о мощностях тепловыделений ЭРИ или блоков в целом для систем АСОНИКА-Т, АСОНИКА-ТМ. В итоге такой подход поможет повысить точность и скорость проведения расчетов.

Система АСОНИКА является мощным средством виртуальных испытаний электронных макетов приборов. В тоже время практическое использование системы показало, что ее эффективность ограничивается количественным и качественным наполнением прилагаемой базы данных электрорадиоизделий и материалов.

Справочная база данных (СБД) электрорадиоизделий и материалов предоставляет информацию о параметрах материалов и о параметрах ЭРИ. Справочная база данных состоит из основных и дополнительных таблиц. Основные таблицы содержат:

– параметры материалов печатных узлов, несущих конструкций, выводов ЭРИ, а также лаков (клеев), применяемых при установке ЭРИ на печатную плату (справочные, механические, тепловые, допустимые, температурные зависимости);

– оптические свойства материалов конструкций РЭС;

– параметры ЭРИ: классы и группы ЭРИ; типы ЭРИ и технические условия (ТУ); 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.

Дополнительные таблицы 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:

– параметры материалов конструкций;

– параметры моделей ЭРИ для тепловых и механических процессов;

– предельно-допустимые значения ускорений и температур ЭРИ, а также максимальные допустимые напряжения материалов, на основе которых может быть принято проектное решение;

– параметры выводов ЭРИ для разных вариантов установки ЭРИ на печатную плату для расчета усталостных характеристик;

– информацию об условном графическом изображении ЭРИ на плоскости и в пространстве, для придания реалистичности отображения ПУ;

– полные условные записи ЭРИ для быстрого поиска ЭРИ.

Кроме этого, СУБД должна обеспечивать:

– максимально быстрый ввод параметров ЭРИ и материалов, для чего основу БД должны составить модели вариантов установки ЭРИ, на основе которых, используя минимум параметров (размеры посадочного 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.

## 5.3. Структура базы данных ЭРИ

Основу БД (рис. 5.1) составляют базовые таблицы (см., например, табл. 5.2–5.7), 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.

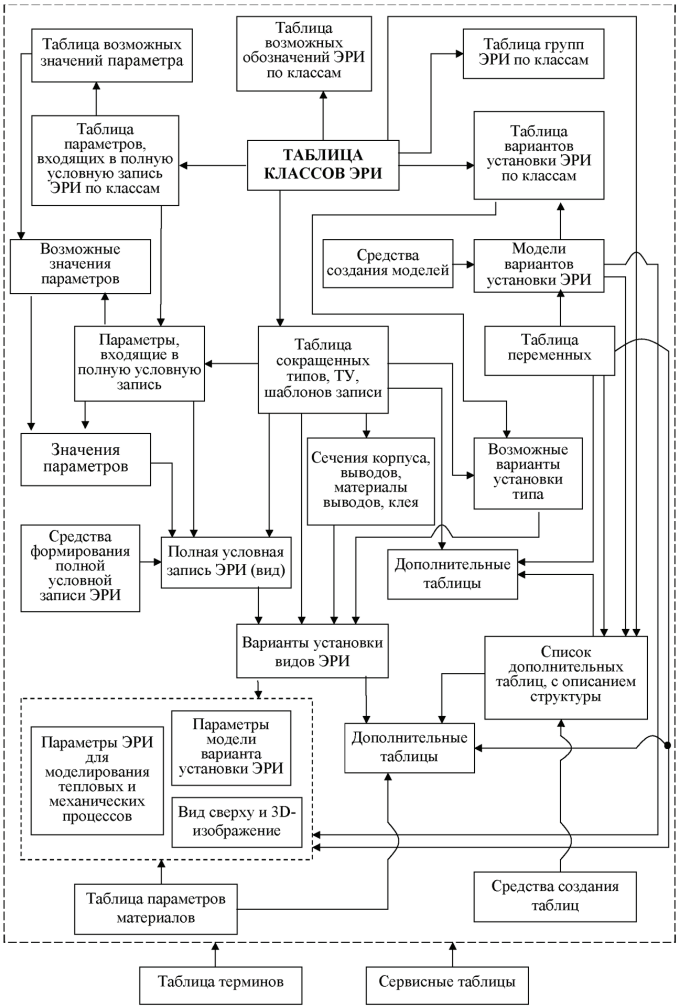



**Рис. 5.1.** Структура БД

Для описания типов полей использованы следующие обозначения:
– *Integer* – 32-х разрядный целочисленный тип;
– *Short* – 16-и 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 ERIKind (таблица классов ЭРИ)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIKind | Integer | Индекс класса ЭРИ |
| 2 | ERIKindName | Char(48) | Название класса ЭРИ |

**Таблица 5.3.** ***Содержание таблицы ERIGroup (таблица групп ЭРИ по классам)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIKind | Integer | Индекс класса ЭРИ |
| 2 | ERIGroup | Integer | Индекс группы ЭРИ |
| 3 | ERIGroupName | Char(255) | Название группы ЭРИ |

**Таблица 5.4.** ***Содержание таблицы ERIKindChar (таблица возможных обозначений ЭРИ по классам)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIKind | Integer | Индекс класса ЭРИ |
| 2 | ERIKindChar | Char(3) | Возможное обозначение ЭРИ |

**Таблица 5.5.** ***Содержание таблицы ERIParamCode (таблица параметров, входящих в полную условную запись ЭРИ по классам)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIKind | Integer | Индекс класса ЭРИ |
| 2 | ERIParamCode | Integer | Код параметра |
| 3 | ERIParamName | Char(64) | Название параметра |

**Таблица 5.6.** ***Содержание таблицы ERIParamValue (таблица возможных значений параметров, входящих в полную условную запись ЭРИ)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIKind | Integer | Индекс класса ЭРИ |
| 2 | ERIParamCode | Integer | Код параметра |
| 3 | ERIParamValue | Char(16) | Возможное значение параметра |

**Таблица 5.7.** ***Содержание таблицы ERIMounting (таблица вариантов установки ЭРИ по классам)***

| N | Наименование | Тип поля | Описание |
|---|---|---|---|
| 1 | ERIMModel | Integer | Номер варианта установки ЭРИ |
| 2 | ERIMNote | Char(64) | Описание варианта установки |
| 3 | ViewL | Graphic | Вид слева |
| 4 | ViewU | Graphic | Вид сверху |

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 формирование электронной модели изделия в процессе проектирования на базе подсистемы управления данными при моделировании (PDM-системы) и с использованием подсистем моделирования соответствует требованиями CALS-технологий.

Параметры ЭРИ и материалов для всех подсистем системы АСОНИКА считываются из базы данных.

Для редактирования параметров по нормативной документации (НД) ЭРИ используется приложение dbEditor32.exe (рис. 5.2), содержащее пункты:

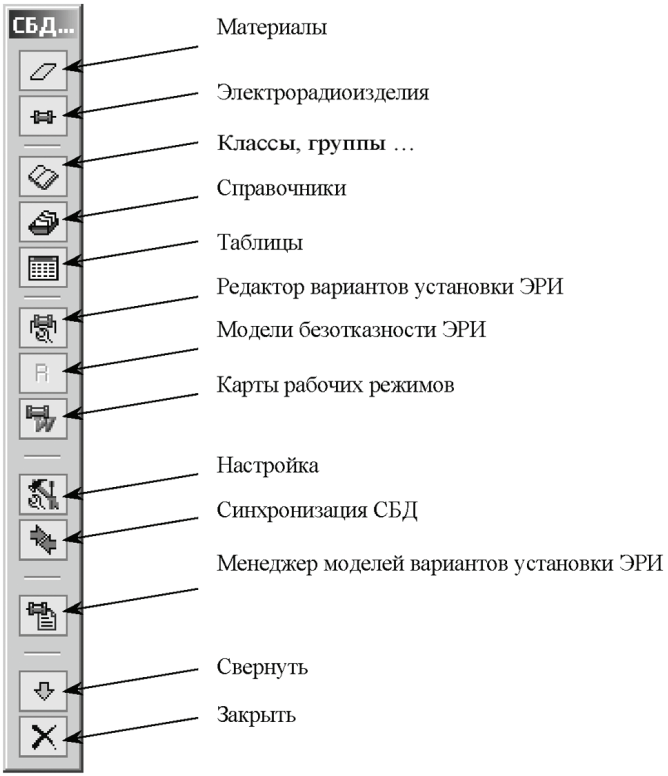



**Рис. 5.2.** Главное окно СБД

– «Справочники» – для создания и редактирование дополнительных справочников;

– «Таблицы» – для создания и настройки таблиц дополнительных параметров ЭРИ и материалов;

– «Редактор вариантов установки ЭРИ» для создания моделей вариантов установки ЭРИ на плате;

– «Карты рабочих режимов» как база данных подсистемы автоматизированного заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий АСОНИКА-Р;

– «Настройка» для настройки путей размещения таблиц и выбора принципа формирования полной условной записи (по шаблону или без шаблона);

– «Синхронизация СБД» для синхронизации двух баз данных ЭРИ для подсистем АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р; при этом выполняется синхронизация по полным условным записям ЭРИ, всем параметрам, формулам, графикам и таблицам, выдается отчет о синхронизации;

– «Менеджер моделей вариантов установки ЭРИ» для просмотра моделей вариантов установки ЭРИ, записанных в СБД, а также просмотр их параметров и описания;

– «Свернуть»;

– «Закрыть».

В пункте «Формирование полной условной записи» (рис. 5.3) выбирается «По шаблону», если полная условная запись содержит

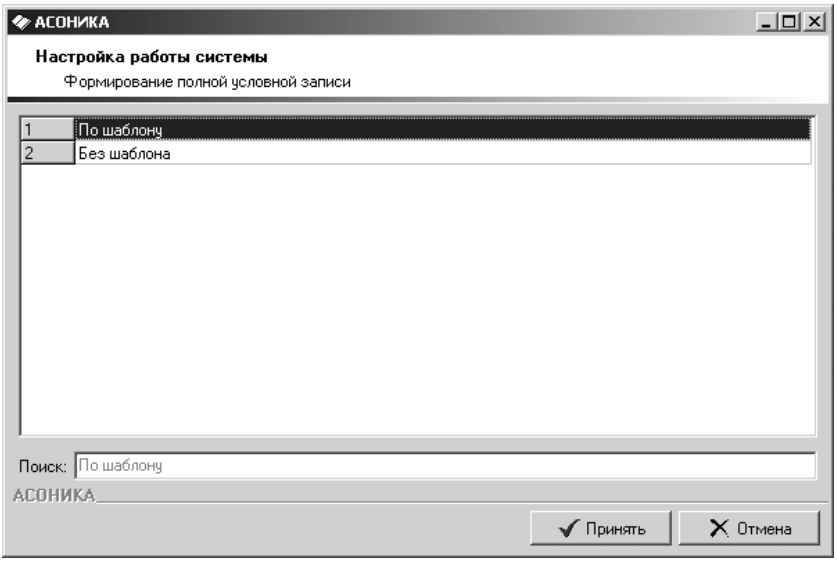



**Рис. 5.3.** Диалоговое окно для настройки формирования полной условной записи

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 в главном окне выбирается «Без шаблона».

## 5.4. База данных ЭРИ и материалов (фрагменты)

На рис. 5.4–5.13 приведены фрагменты базы данных материалов, входящих в подсистему АСОНИКА-БД.

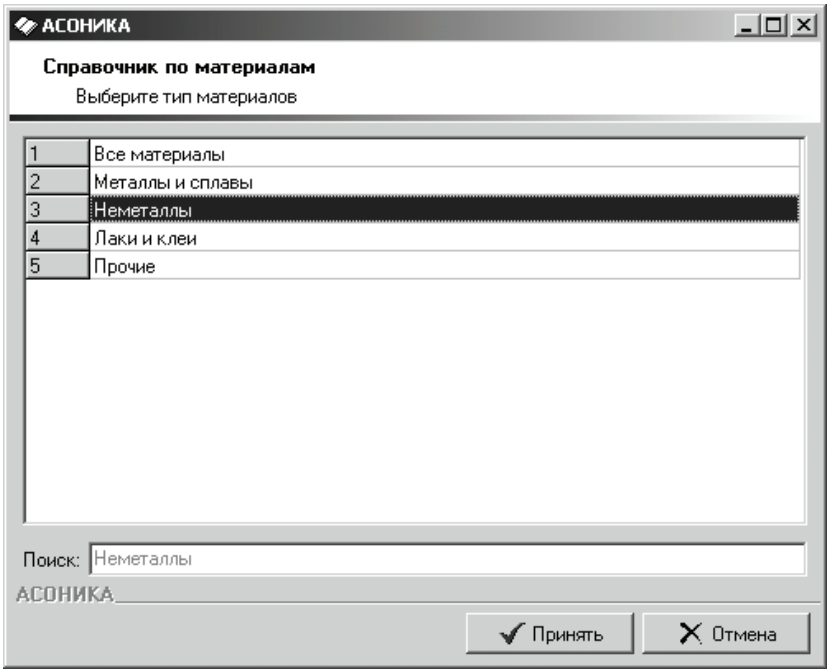



**Рис. 5.4.** Диалоговое окно для выбора типа отображаемых материалов

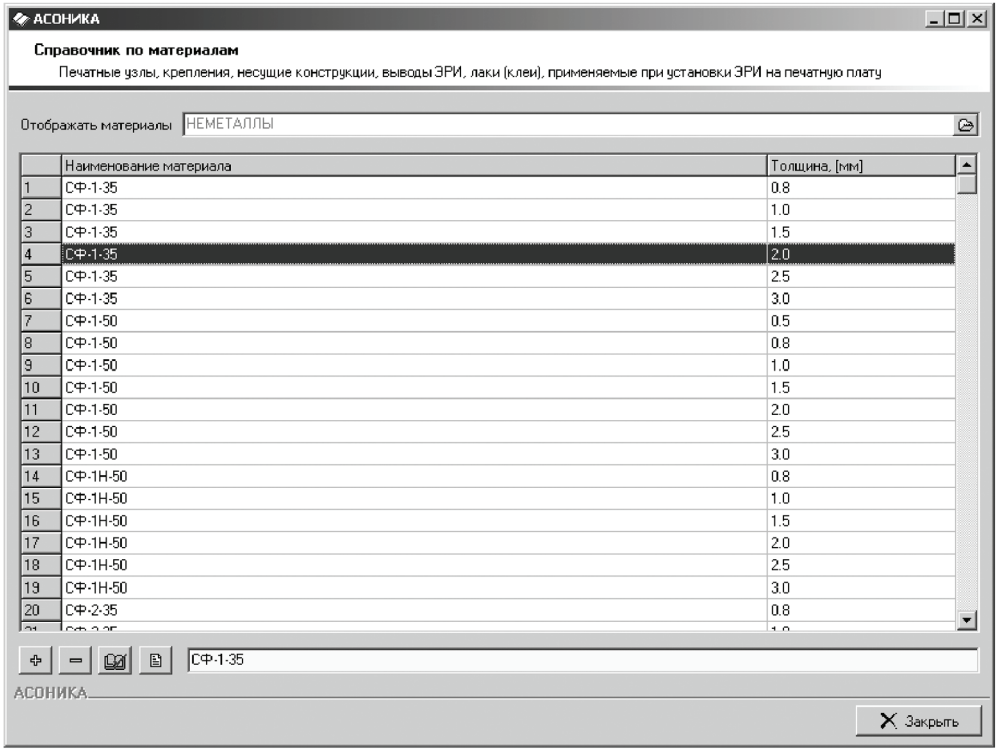



**Рис. 5.5.** Материалы

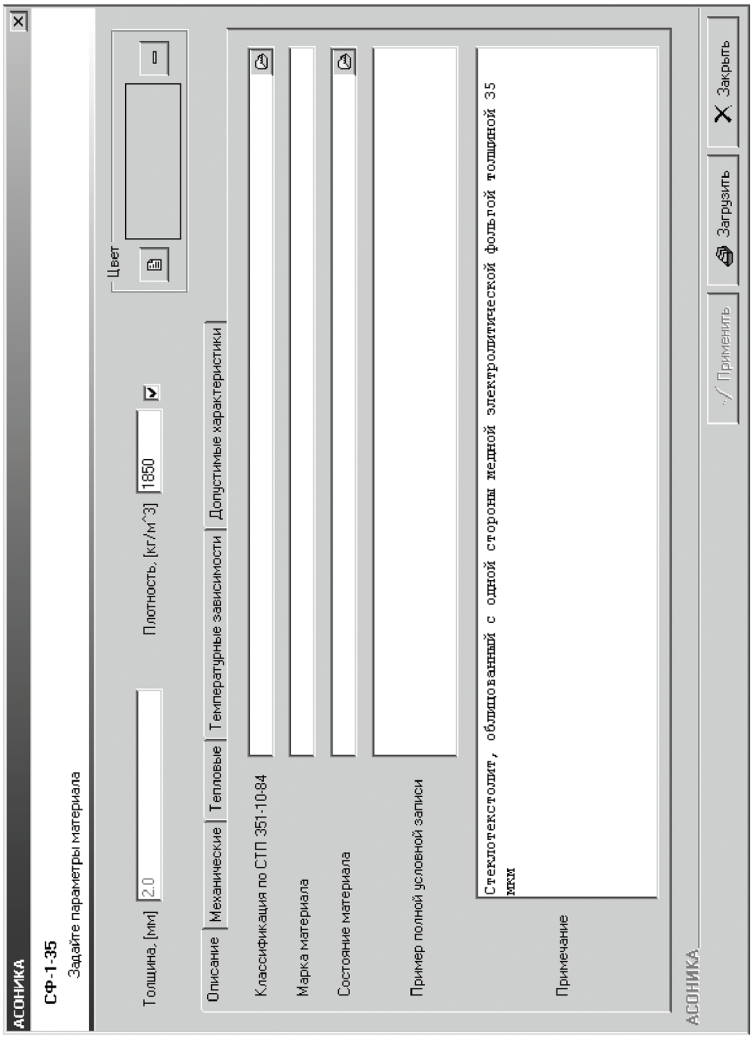



**Рис. 5.6.** Диалоговое окно для задания свойств материала

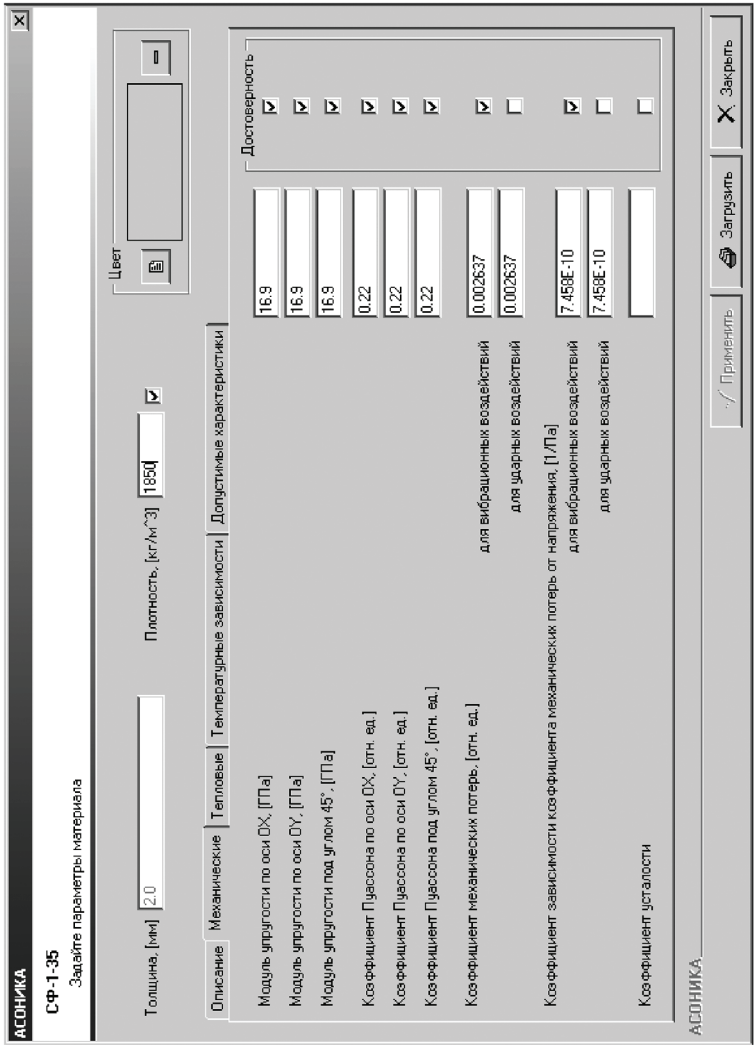



**Рис. 5.7.** Диалоговое окно для задания механических параметров материала

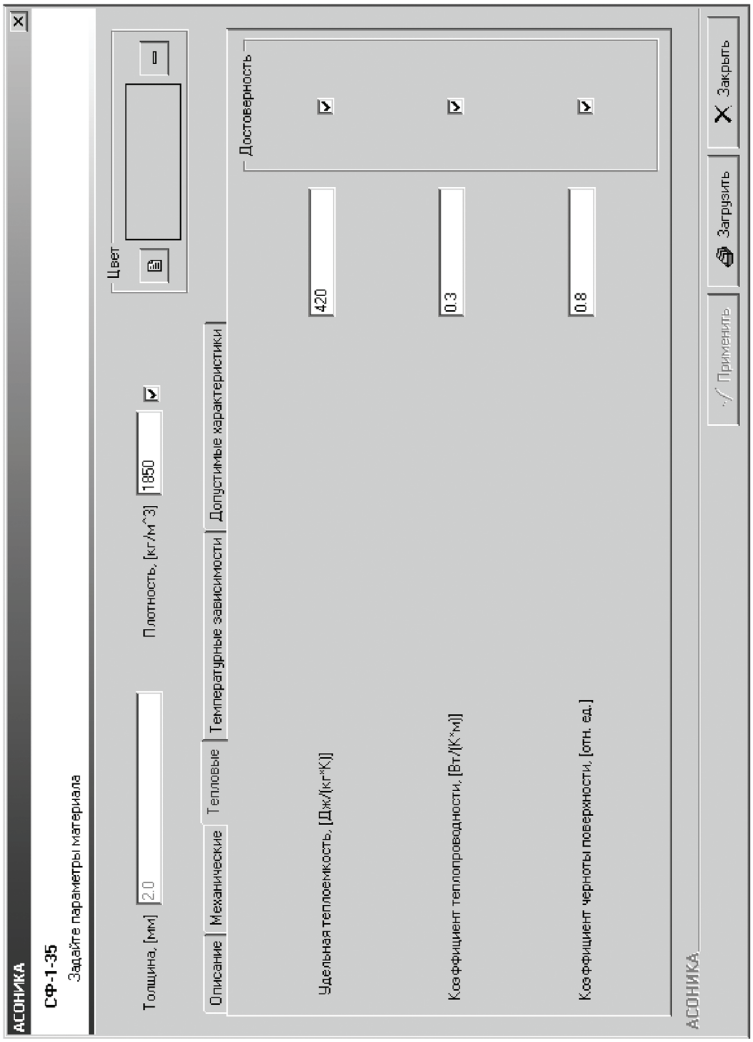



**Рис. 5.8.** Диалоговое окно для задания тепловых параметров материала

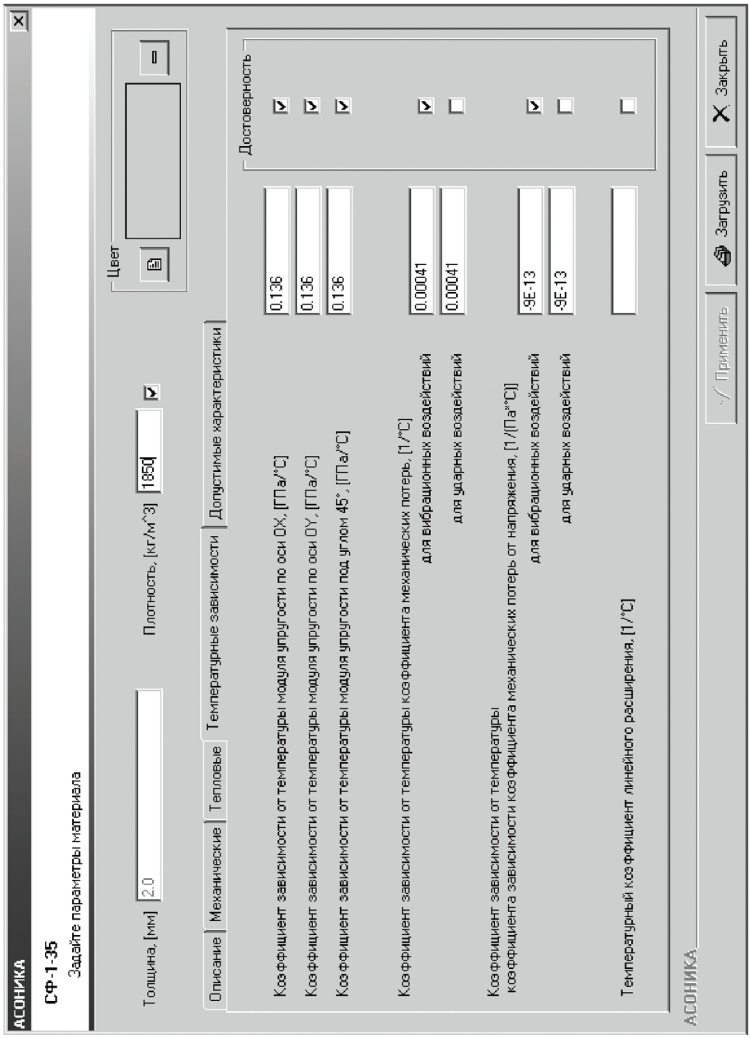



**Рис. 5.9.** Диалоговое окно для задания температурных параметров материала

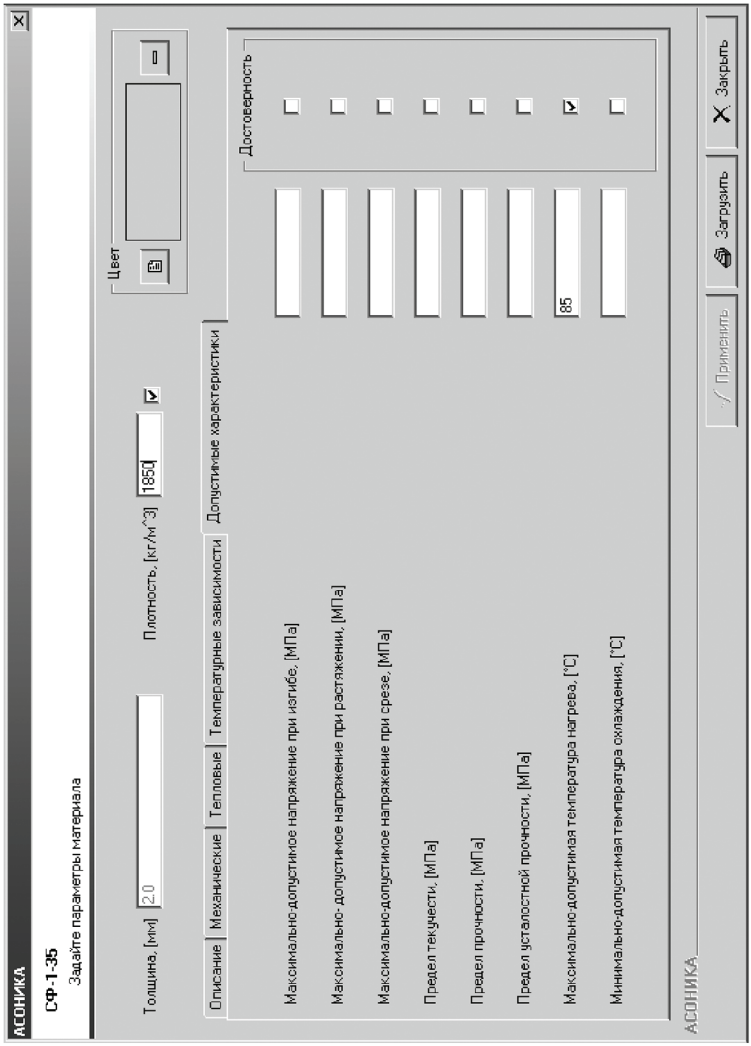



**Рис. 5.10.** Диалоговое окно для задания допустимых значений параметров материала

К оптическим свойствам материала (рис. 5.11) 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. 5.12). Кроме этого, задаются степень прозрачности (альфа-составляющая цвета) и коэффициент зеркального отражения (задается на закладке «зеркальный цвет»).

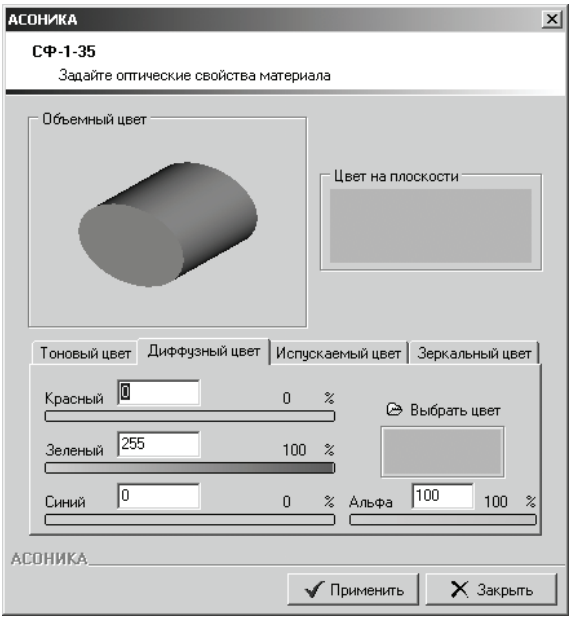



**Рис. 5.11.** Диалоговое окно
для задания оптических свойств материала

Геометрическая фигура отображает, как будет выглядеть деталь из данного материала в пространстве. Возможен выбор геометрических фигур путем нажатия на ней правой кнопки мыши (рис. 5.13). 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 «☑».

Фрагменты базы данных ЭРИ приведены на рис. 5.14–5.66.

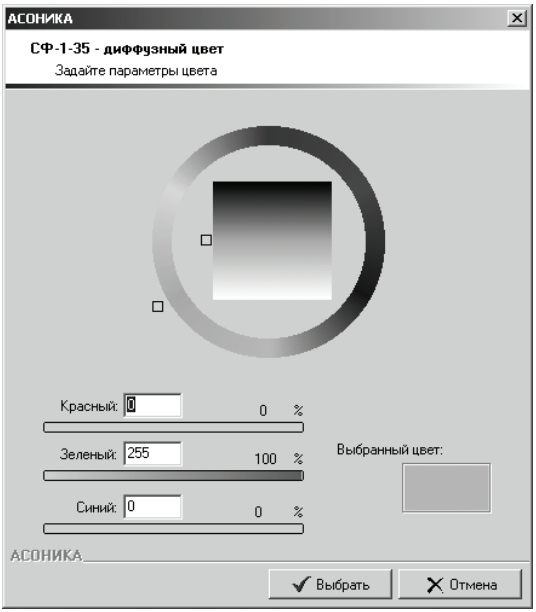



**Рис. 5.12.** Диалоговое окно для задания параметров цвета

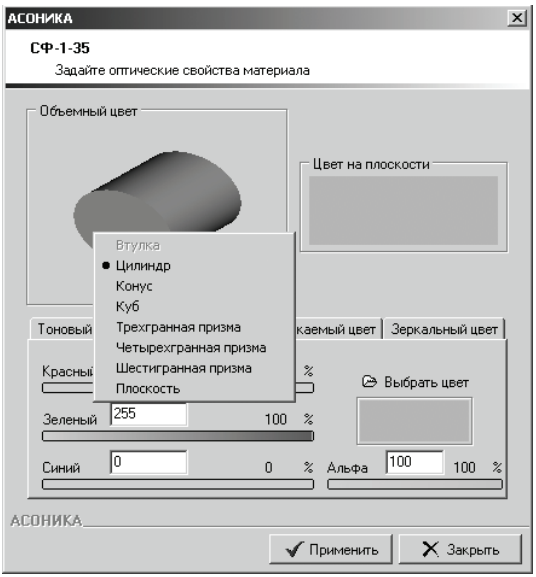



**Рис. 5.13.** Выбор геометрической фигуры

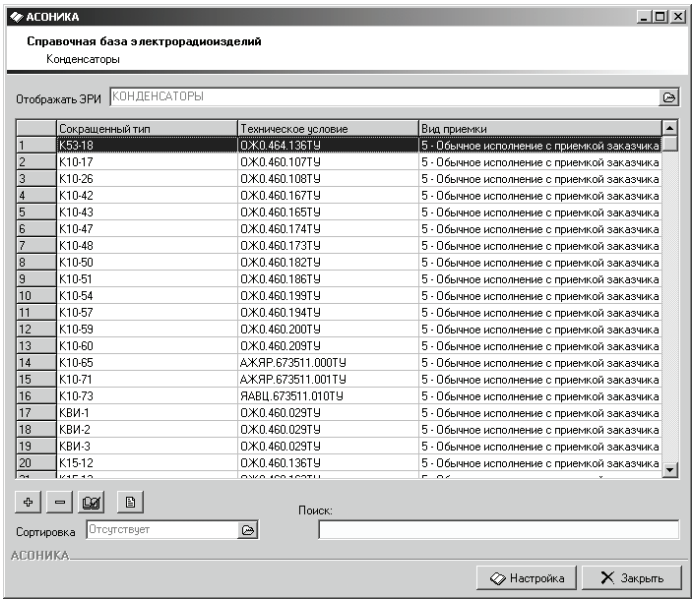



**Рис. 5.14.** Диалоговое окно для электрорадиоизделия

Для выбора типа отображаемого класса необходимо нажать на кнопку напротив поля «Отображать ЭРИ» (рис. 5.15).

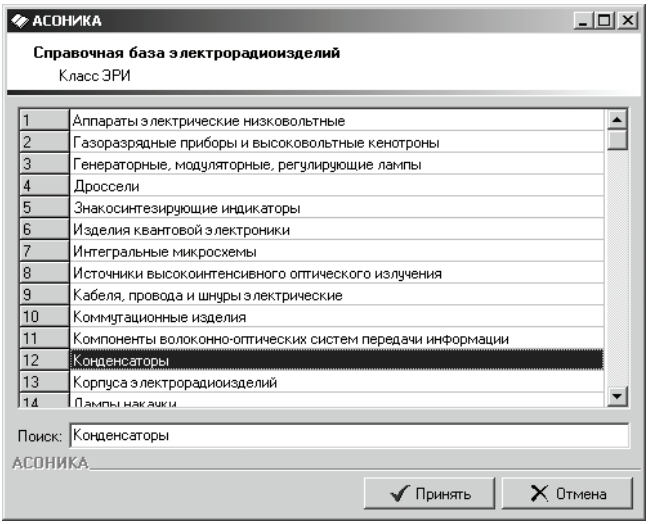



**Рис. 5.15.** Диалоговое окно для выбора типа отображаемых материалов

Для настройки цвета отображения ЭРИ необходимо нажать на кнопку Настройка (рис. 5.16).

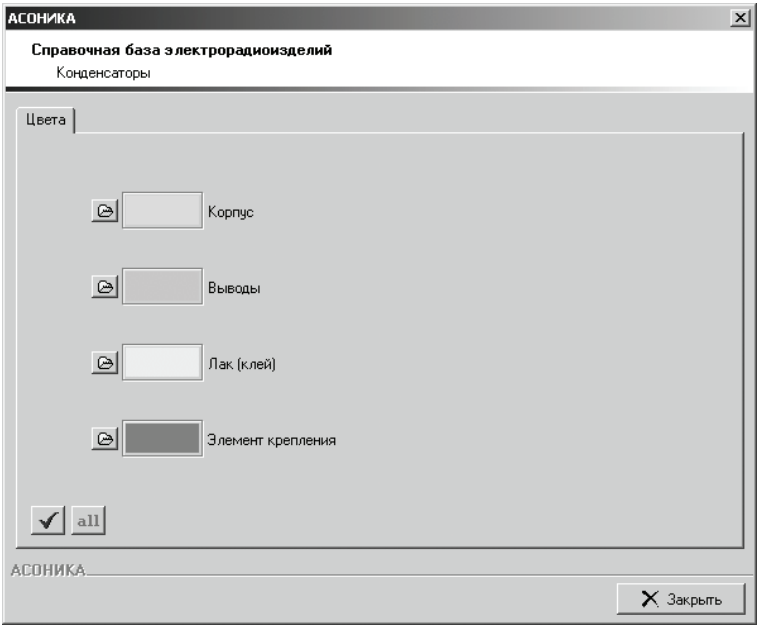



**Рис. 5.16.** Диалоговое окно
для настройки цветов отображения ЭРИ

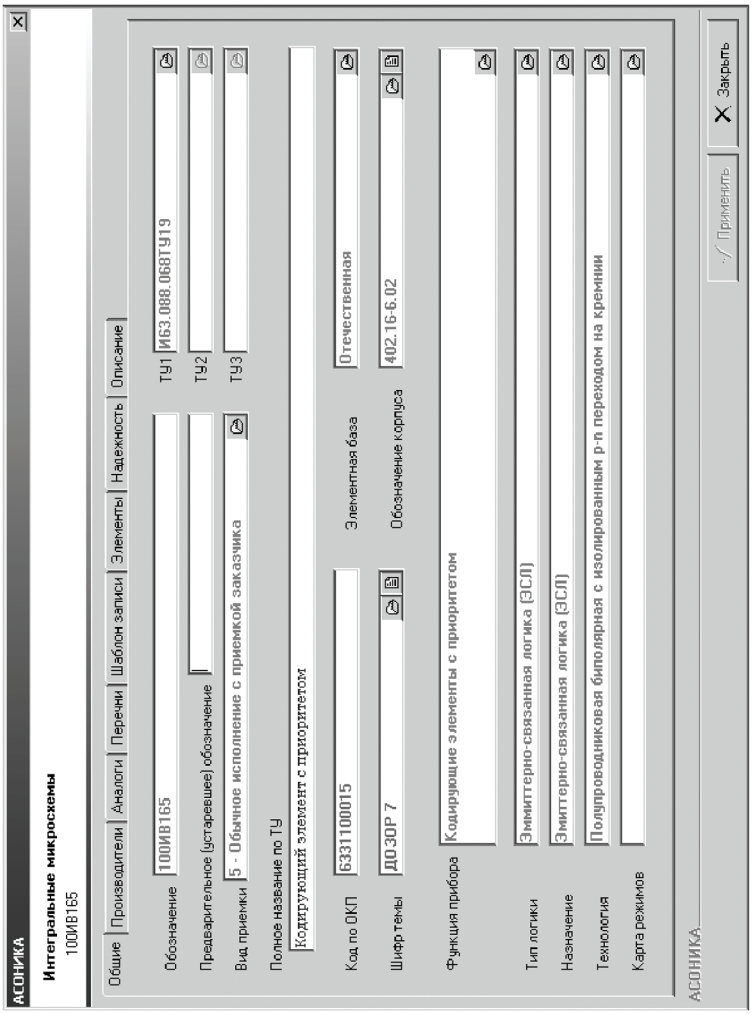



**Рис. 5.17.** Диалоговое окно для общих свойств ЭРИ

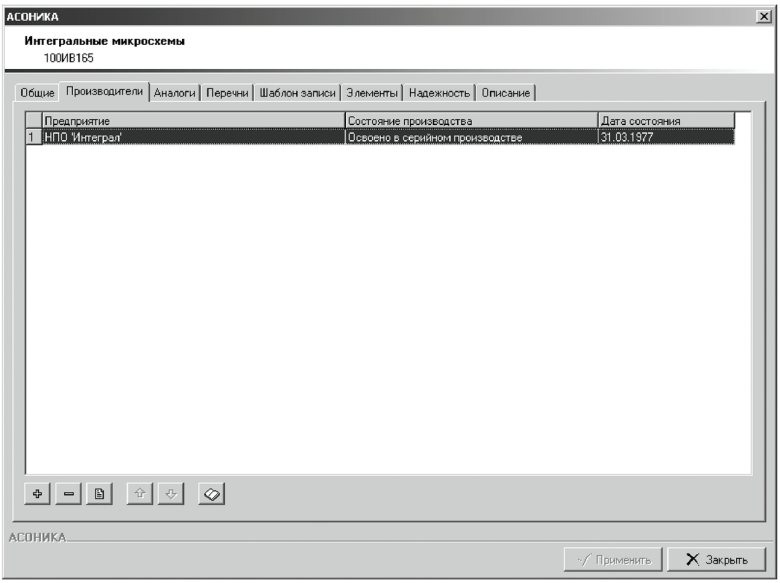



**Рис. 5.18.** Диалоговое окно для производителей ЭРИ

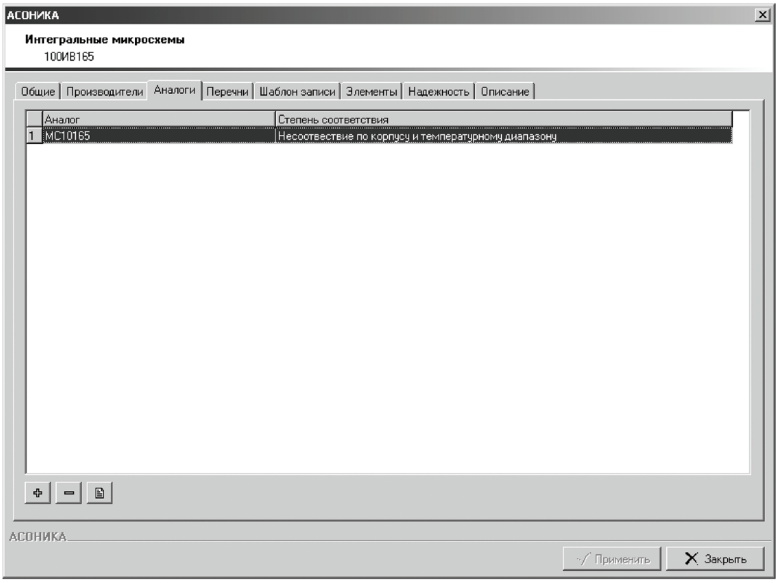



**Рис. 5.19.** Диалоговое окно для аналогов ЭРИ

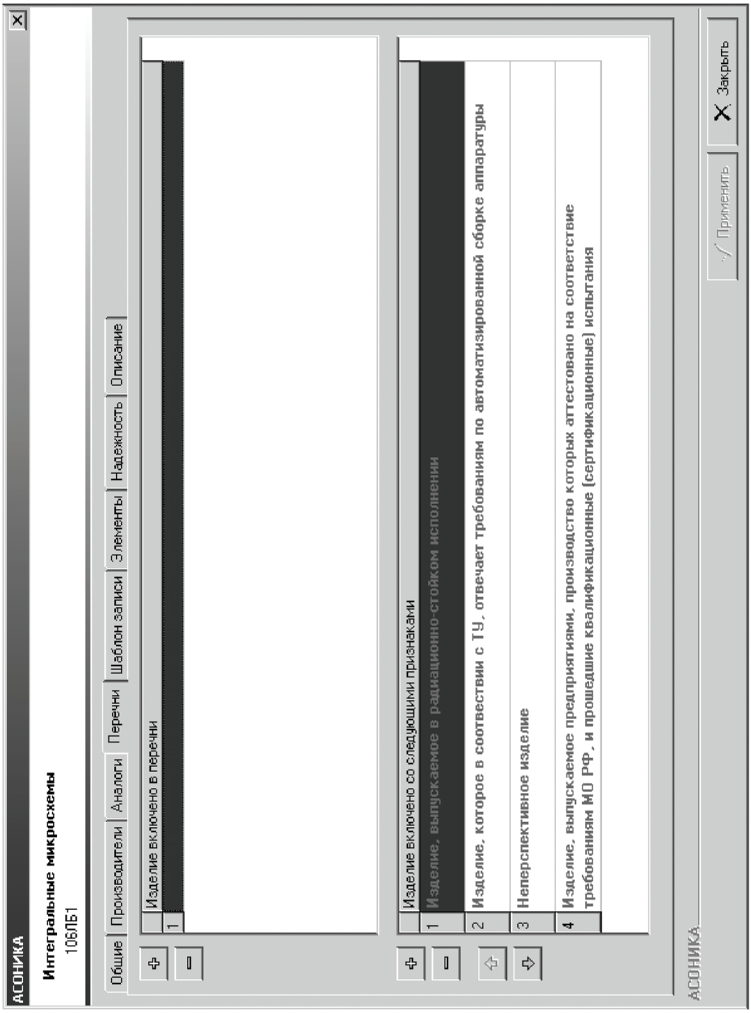



**Рис. 5.20.** Перечни ЭРИ

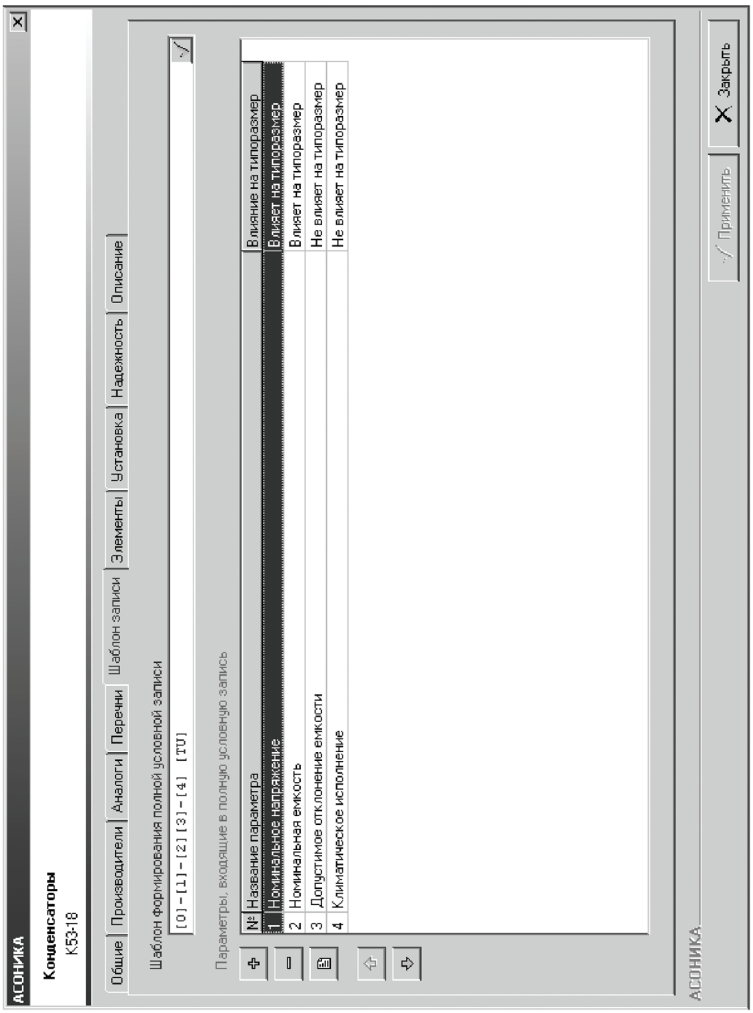



**Рис. 5.21.** Диалоговое окно для формирования шаблона записи ЭРИ

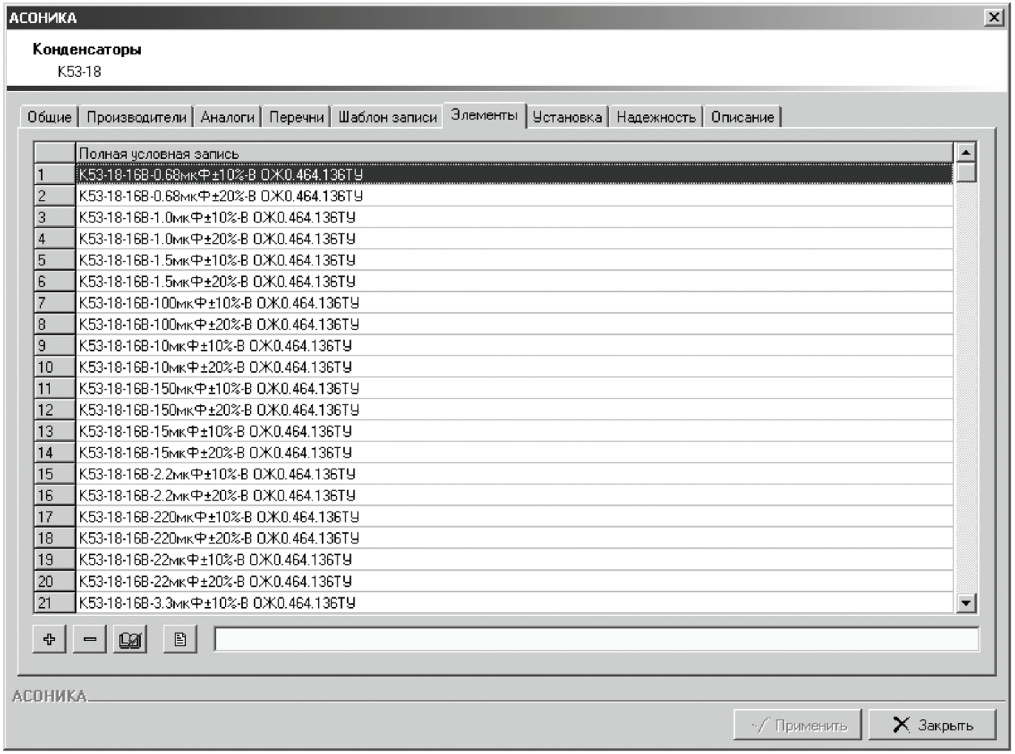



**Рис. 5.22.** Полные условные записи

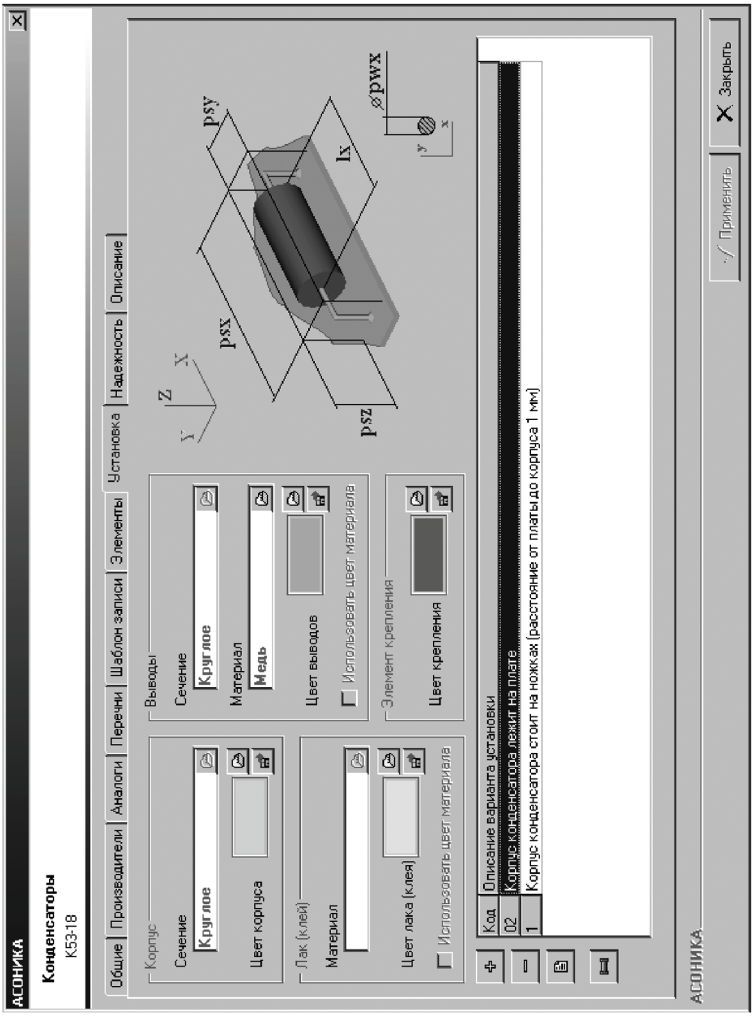



**Рис. 5.23.** Диалоговое окно для описания вариантов установки ЭРИ

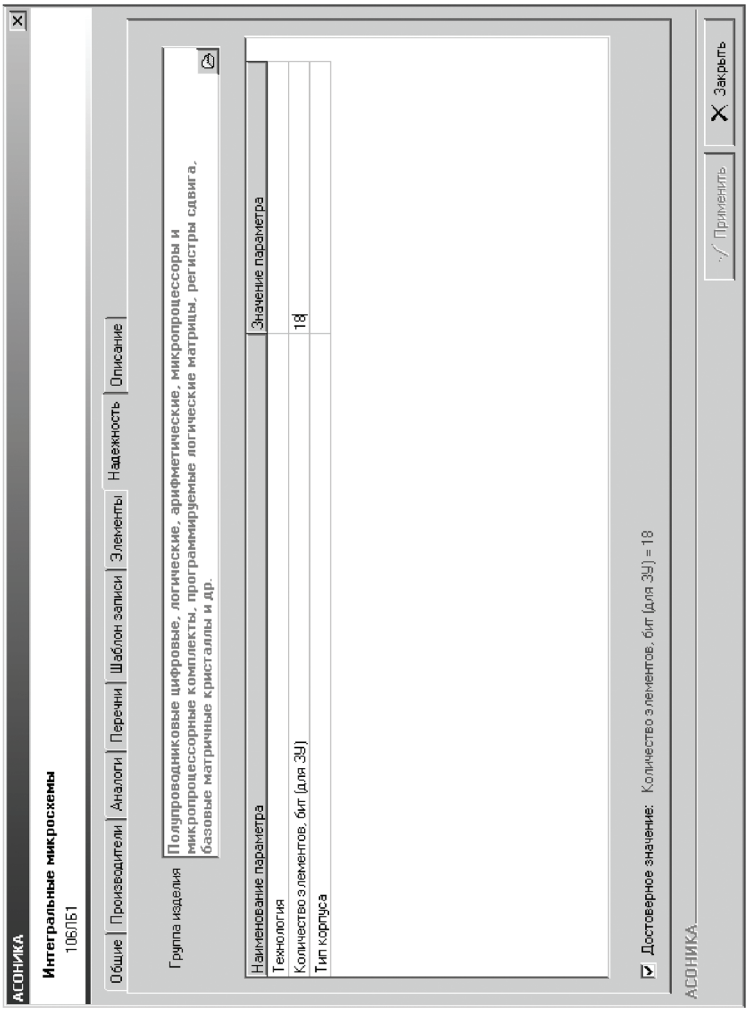



**Рис. 5.24.** Параметры, необходимые для расчета надежности ЭРИ

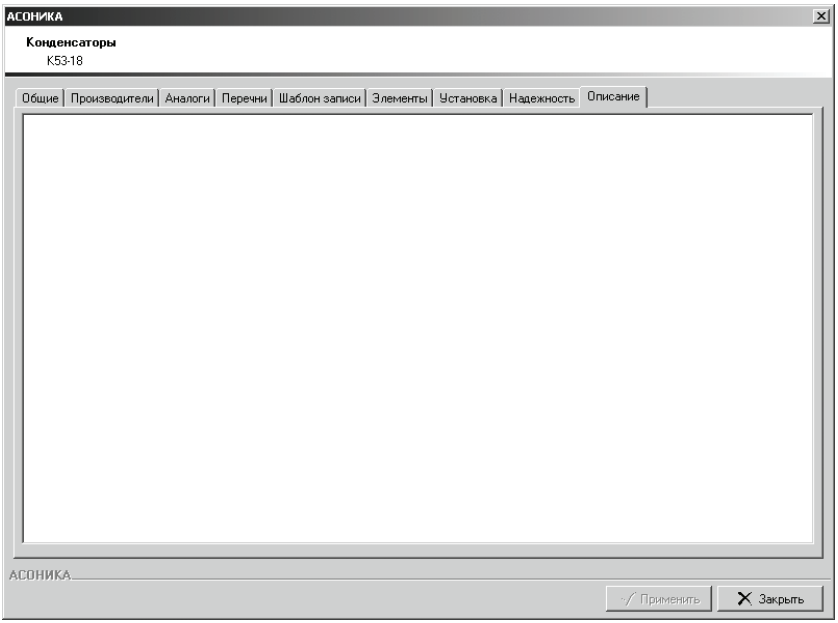



**Рис. 5.25.** Диалоговое окно для описания ЭРИ

Шаблон записи наименования ЭРИ (полная условная запись) выглядит, например, 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 на место номера параметра вставляется его значение, квадратные скобки пропускаются, а все остальные символы вставляются в том же порядке. Если параметр в зависимости от значения не входит 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 все сформированные полные

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 (см. рис. 5.26). При нажатии на кнопку < выбранное значение из списка «Доступные значения» добавляется в список «Выбранные значения», при нажатии на кнопку > выбранное значение параметра удаляется из списка «Выбранные значения». При нажатии на кнопку « все значений из списка «Доступные значения» заносятся в список «Выбранные значения», при нажатии на кнопку » удаляются из него. Если значение параметра отображается зеленым цветом, то его можно добавить в список «Выбранные значения»; если синим – выбранное значение параметра не включено не в одну полную условную запить 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*».

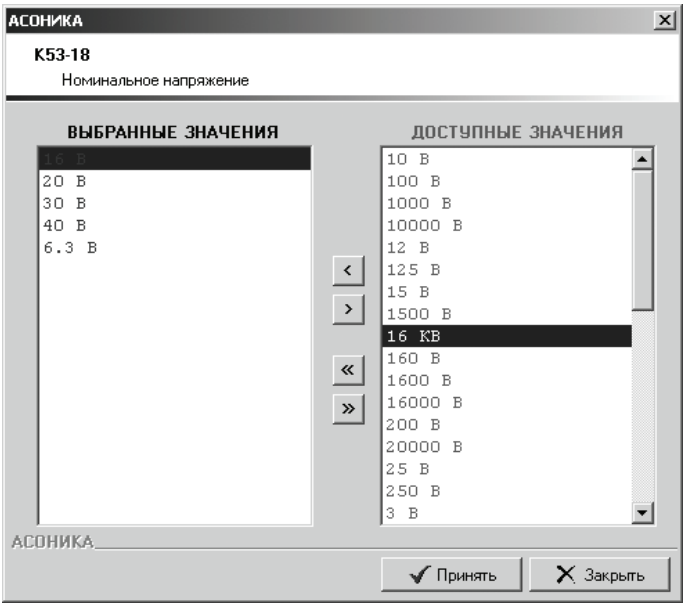



**Рис. 5.26.** Диалоговое окно для редактирования списка возможных значений параметра, входящего в полную условную запись

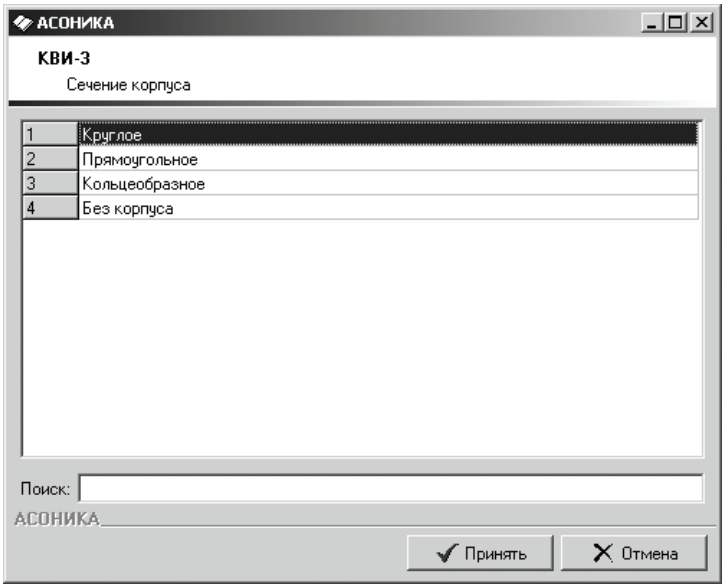



**Рис. 5.27.** Диалоговое окно для выбора формы сечения корпуса

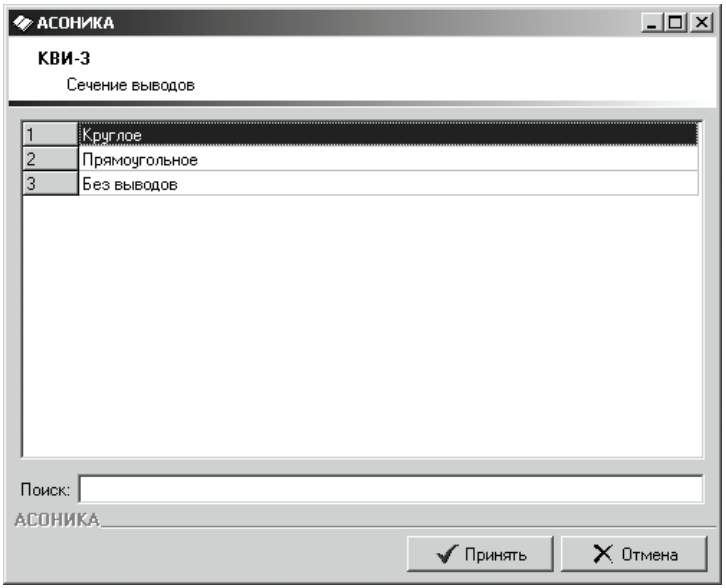



**Рис. 5.28.** Диалоговое окно для выбора формы сечения выводов

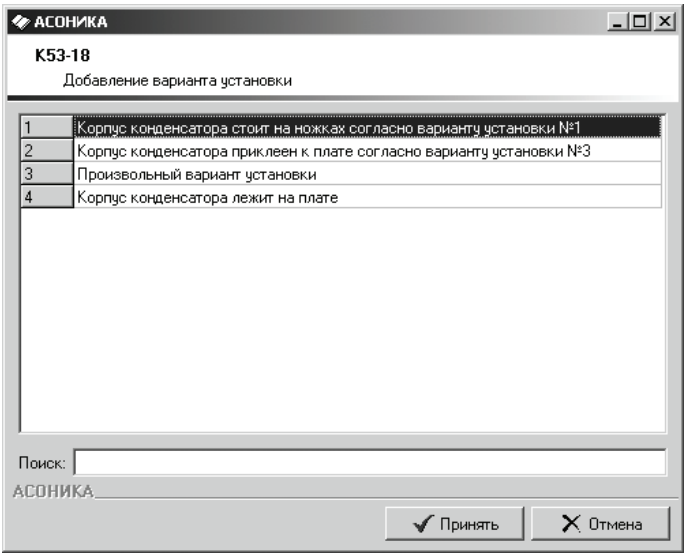



**Рис. 5.29.** Диалоговое окно для поиска добавления возможного варианта установки

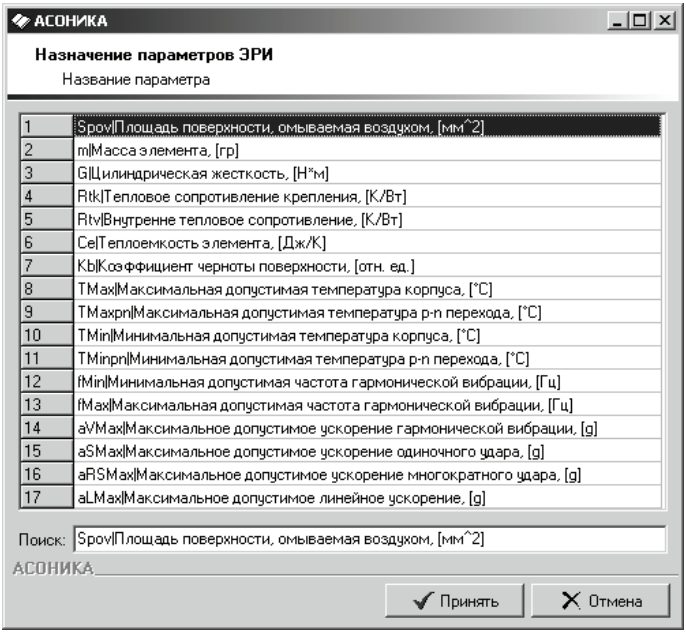



**Рис. 5.30.** Диалоговое окно для выбора задаваемого параметра

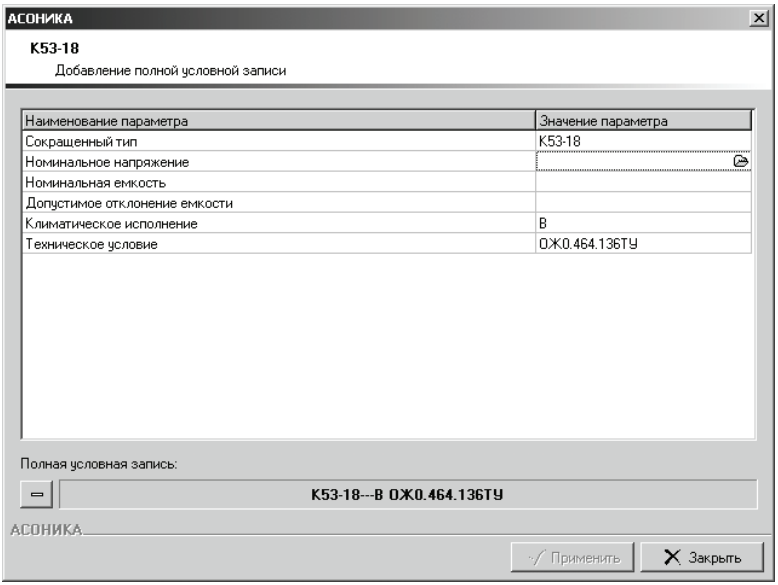



**Рис. 5.31.** Диалоговое окно для добавления возможного варианта установки

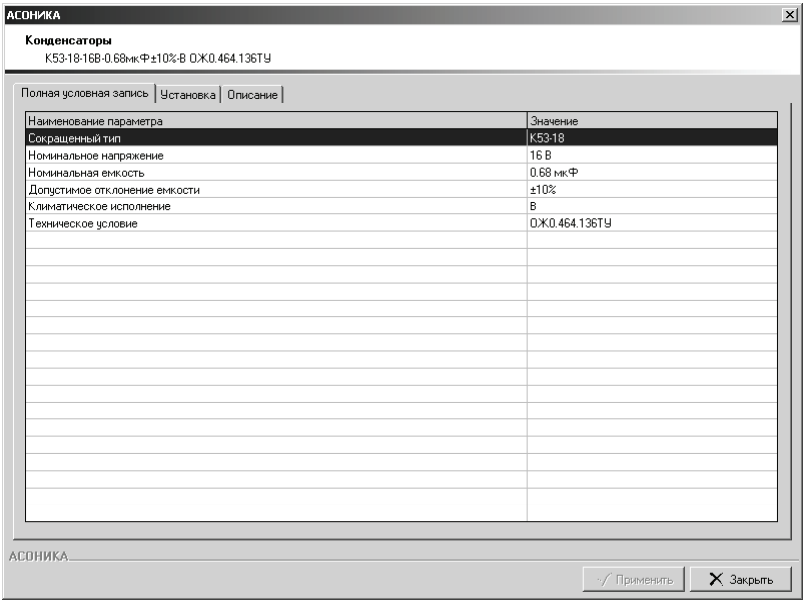



**Рис. 5.32.** Список параметров полной условной записи

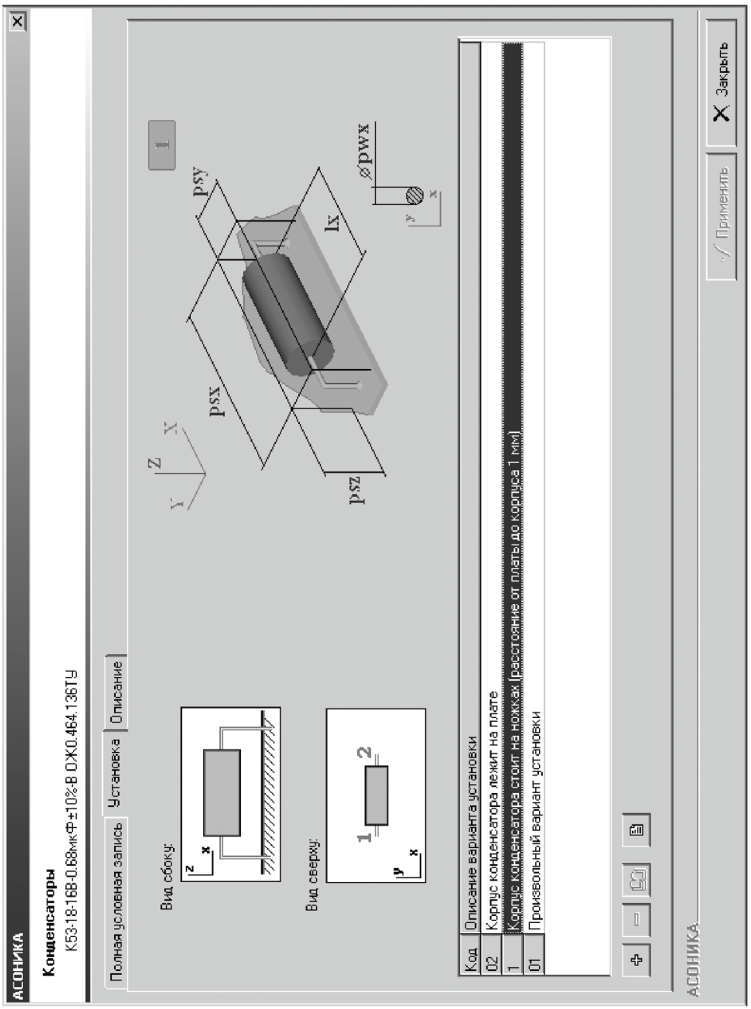



**Рис. 5.33.** Диалоговое окно для описания варианта установки полной условной записи

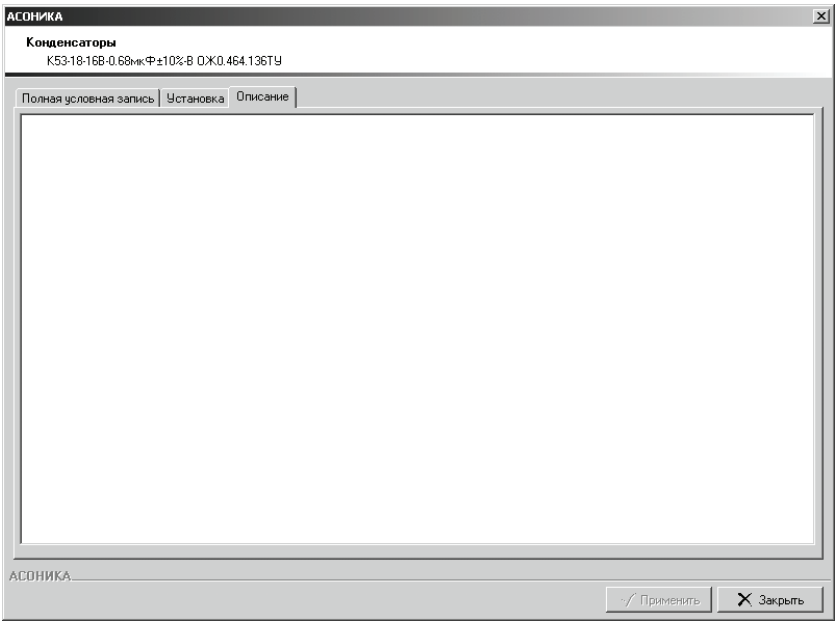



**Рис. 5.34.** Диалоговое окно для описания полной условной записи

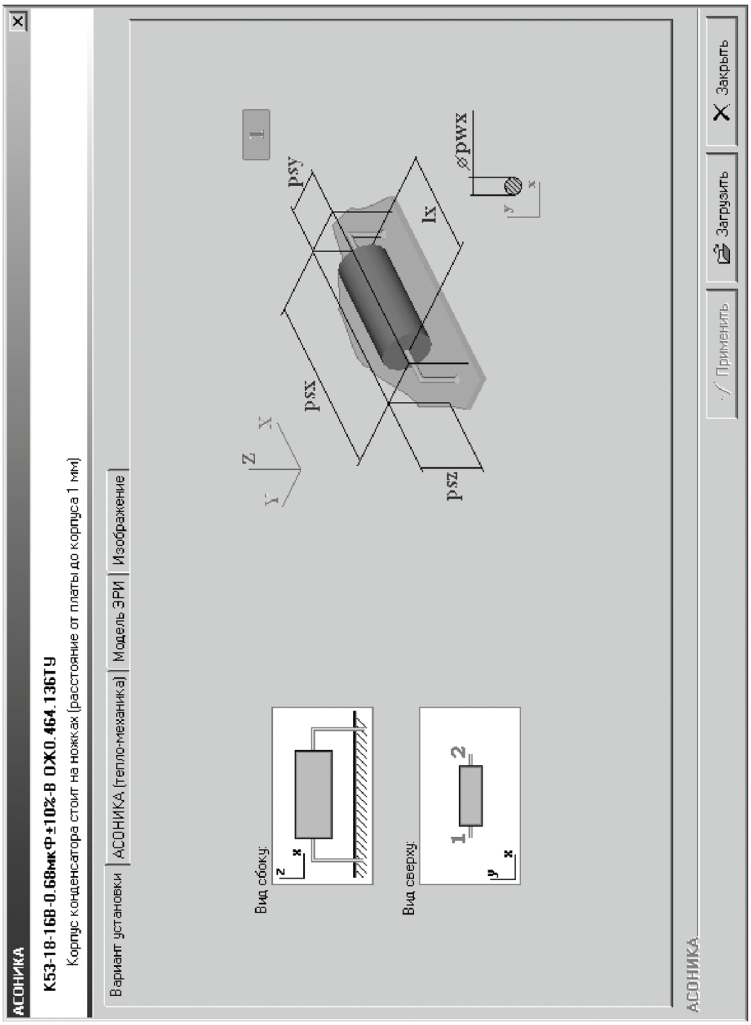



**Рис. 5.35.** Диалоговое окно для изображения варианта установки полной условной записи

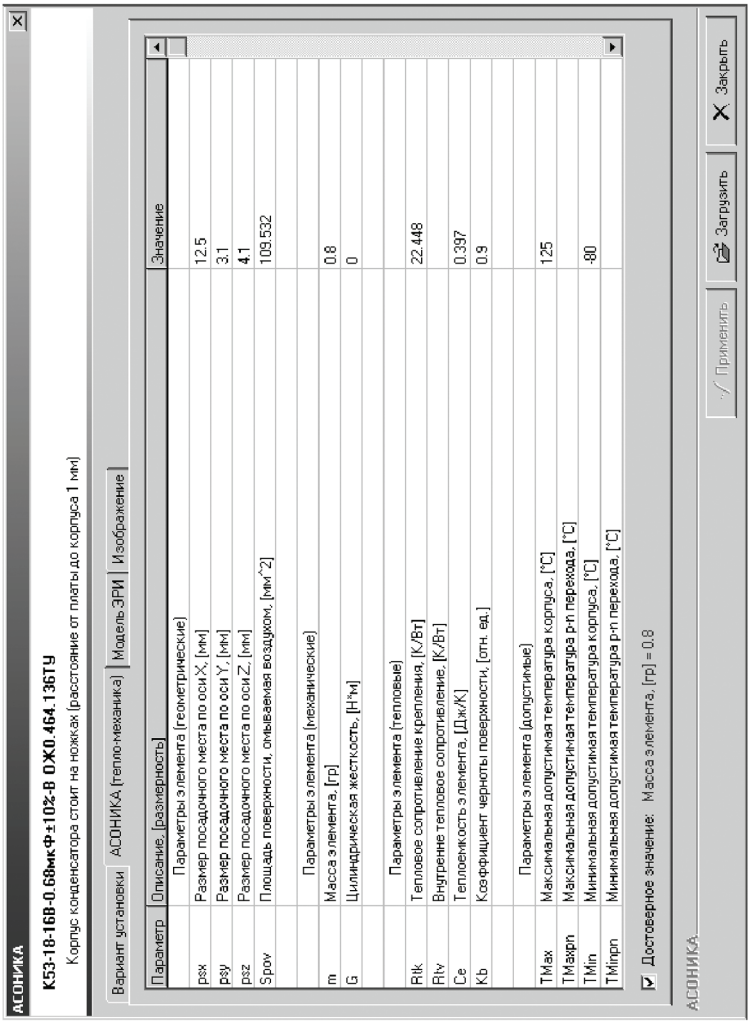



**Рис. 5.36.** Диалоговое окно для описания геометрических, тепломеханических и допустимых параметров ЭРИ

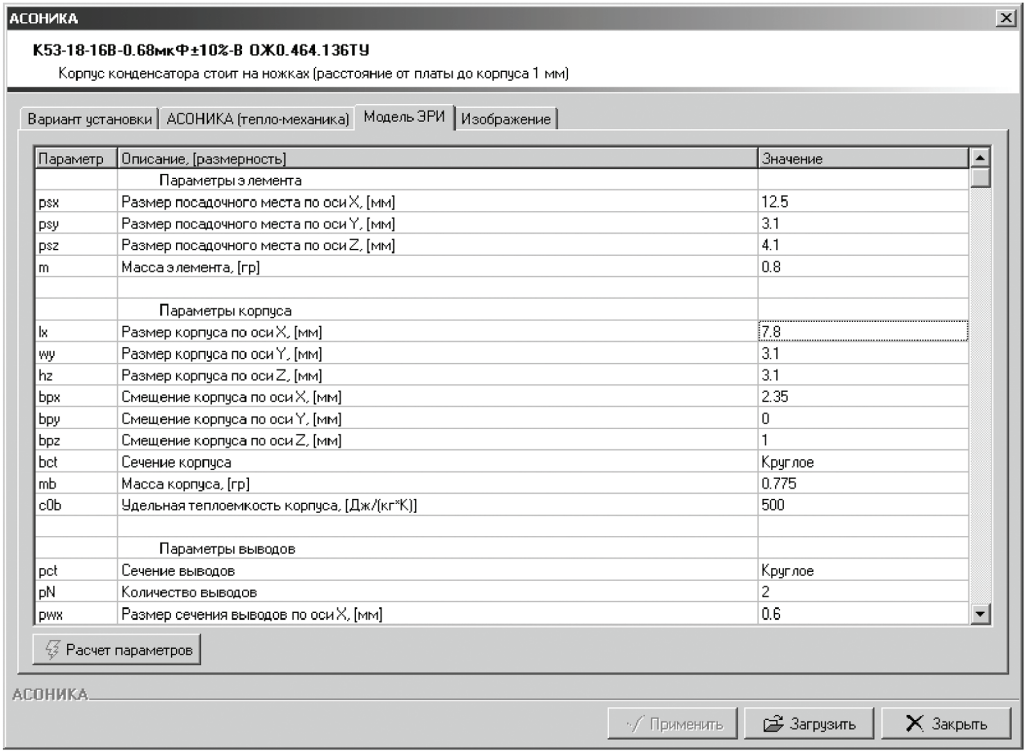



**Рис. 5.37.** Параметры модели варианта установки

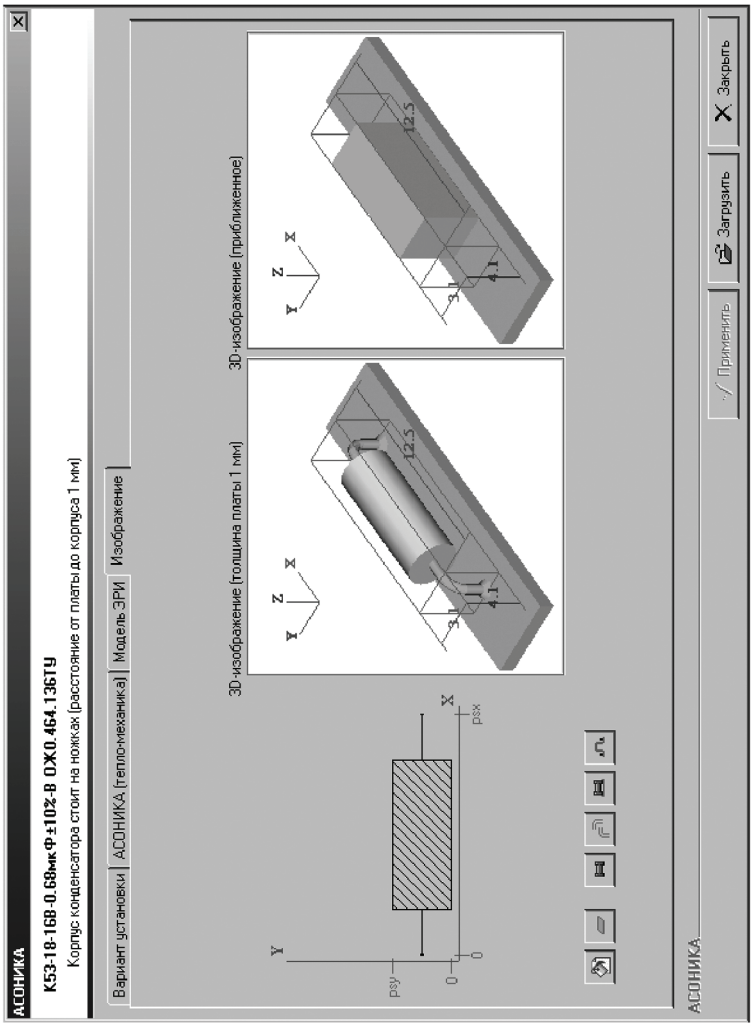



**Рис. 5.38.** Диалоговое окно для изображения ЭРИ на плоскости и в пространстве

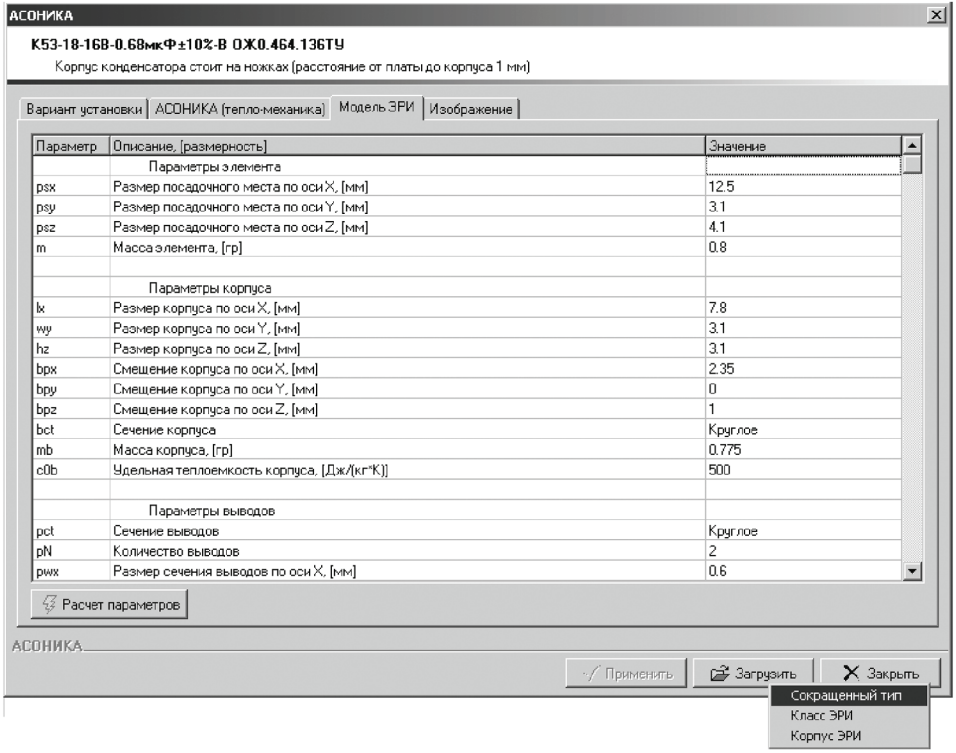



**Рис. 5.39.** Диалоговое окно для описания импортируемых значений параметров ЭРИ

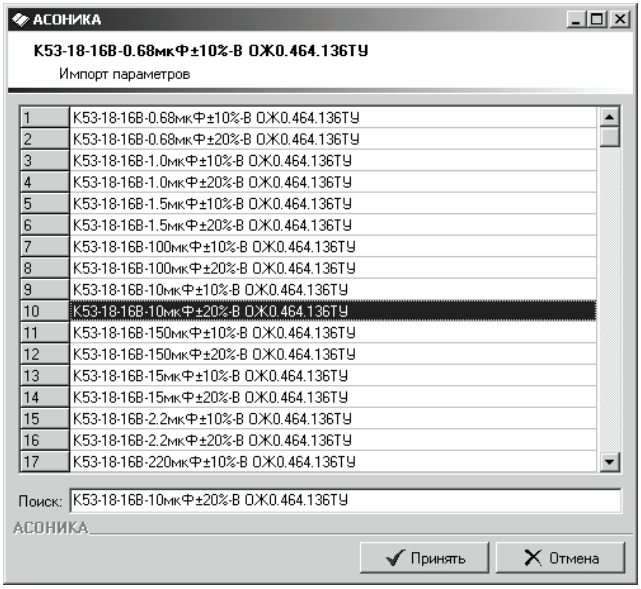



**Рис. 5.40.** Диалоговое окно для выбора полной условной записи импортируемых значений параметров ЭРИ

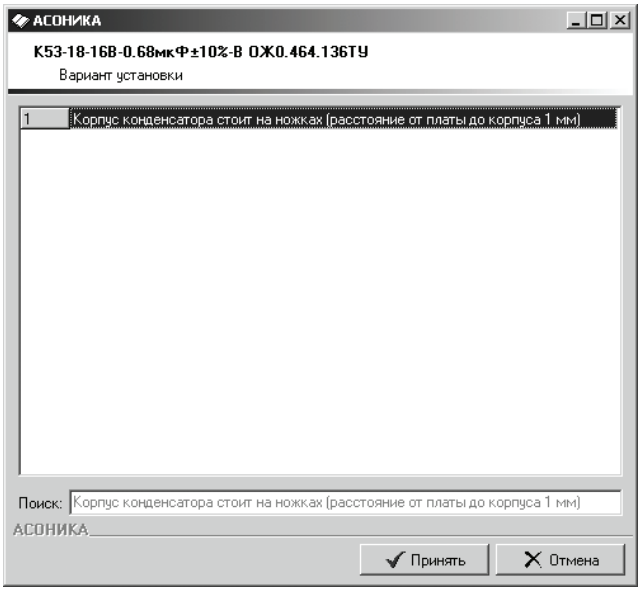



**Рис. 5.41.** Диалоговое окно для выбора варианта установки ЭРИ с импортируемыми значениями параметров

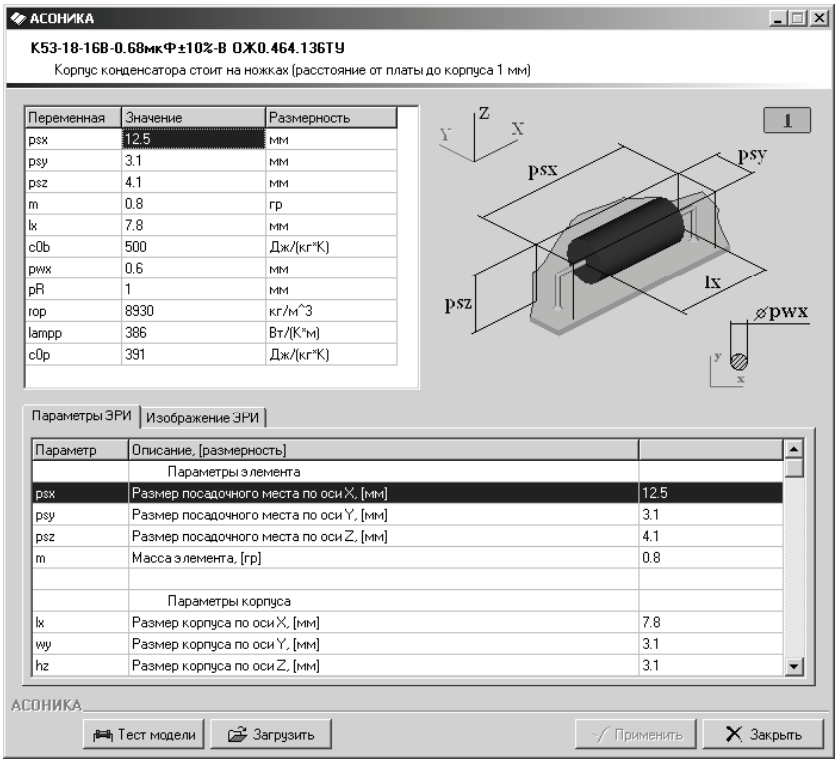



**Рис. 5.42.** Диалоговое окно для расчета параметров ЭРИ

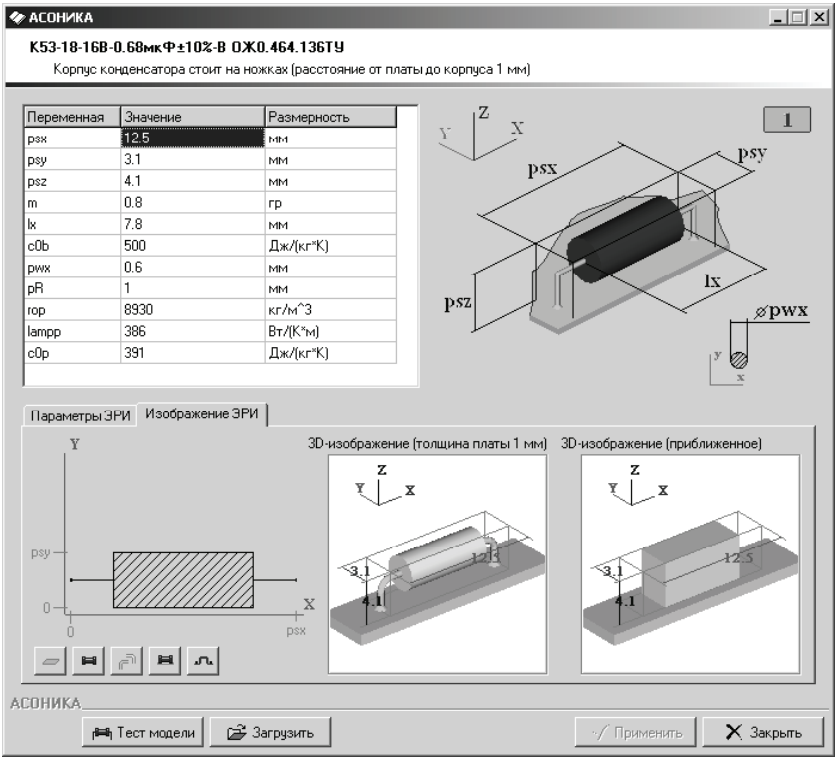



**Рис. 5.43.** Диалоговое окно для сформированного изображения ЭРИ

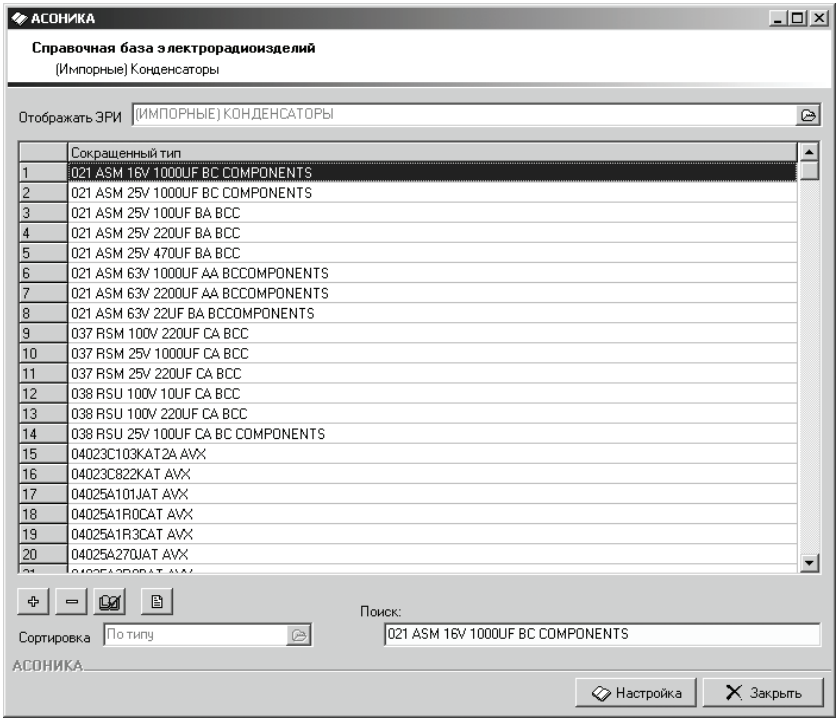



**Рис. 5.44.** Список импортных ЭРИ

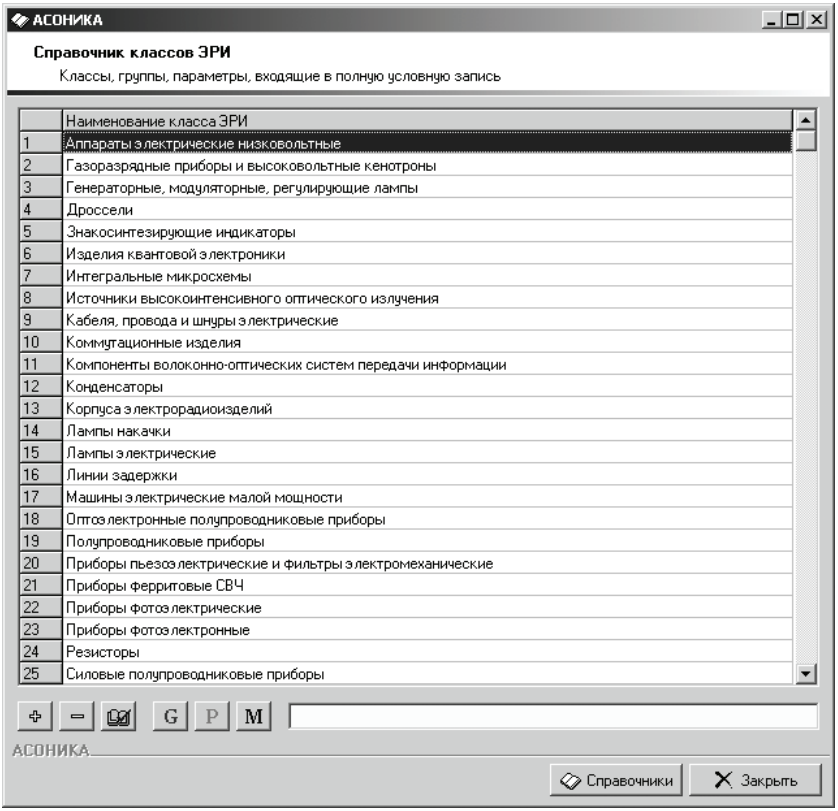



**Рис. 5.45.** Классы ЭРИ

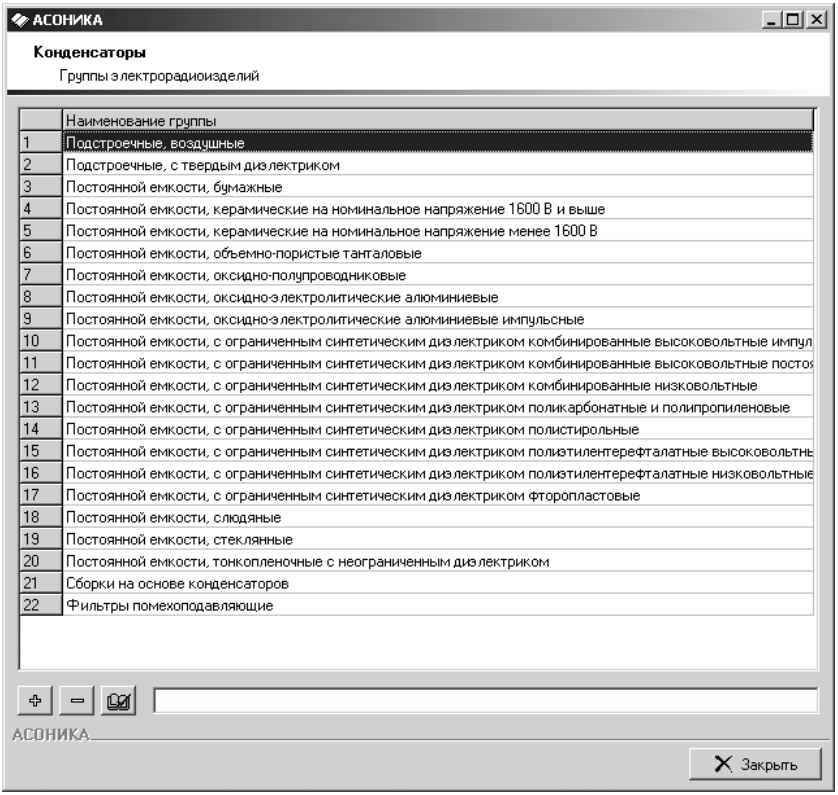



**Рис. 5.46.** Группы ЭРИ

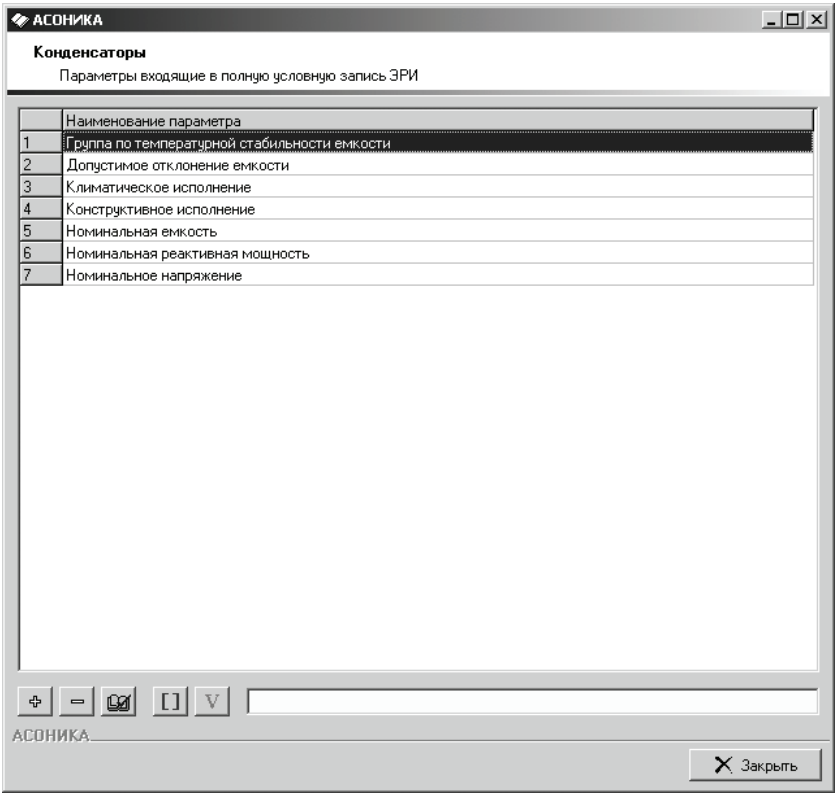



**Рис. 5.47.** Параметры, входящие в полную условную запись

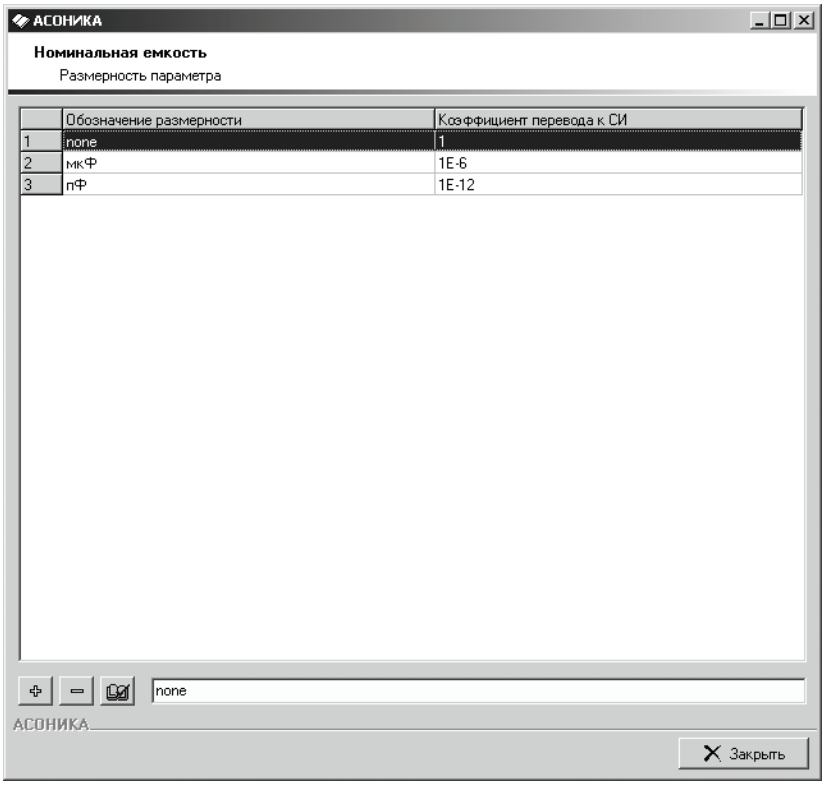



**Рис. 5.48.** Диалоговое окно для задания размерностей возможных значений параметра полной условной записи

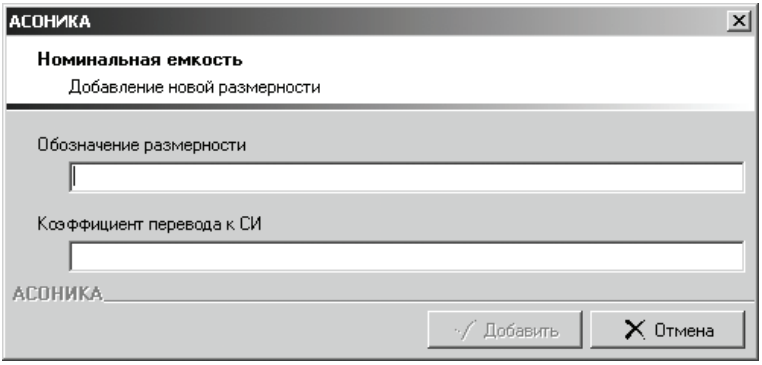



**Рис. 5.49.** Диалоговое окно для добавления размерности значения параметра

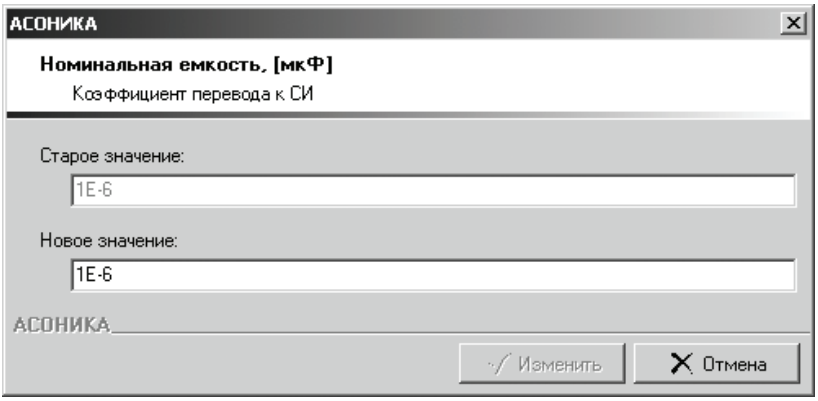
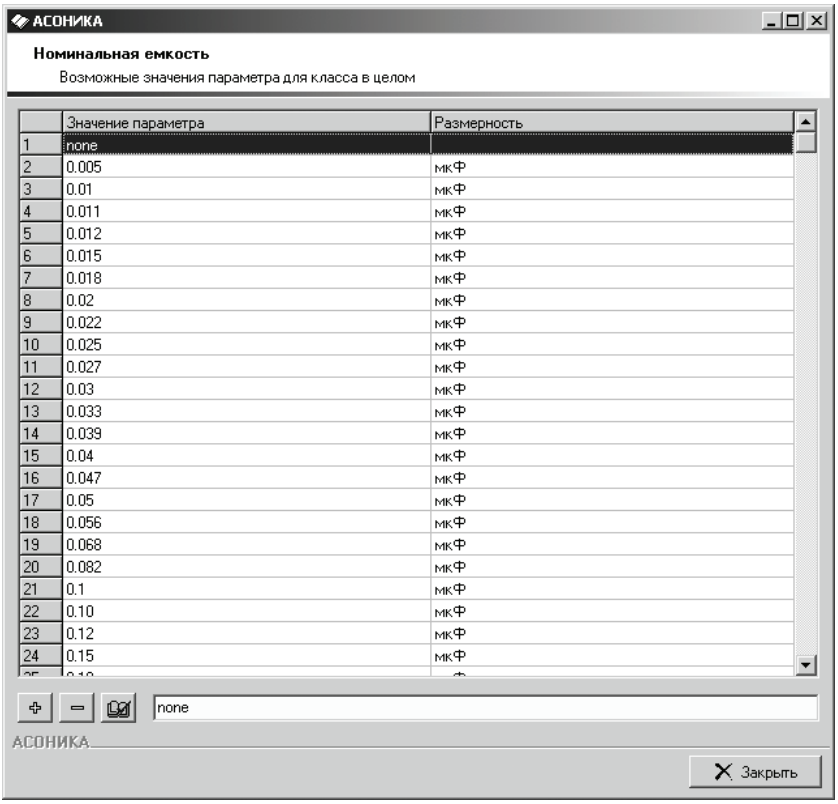



**Рис. 5.50.** Диалоговое окно для изменения наименования параметра




| | Значение параметра | Размерность |
|---|---|---|
| 1 | none | |
| 2 | 0.005 | мкФ |
| 3 | 0.01 | мкФ |
| 4 | 0.011 | мкФ |
| 5 | 0.012 | мкФ |
| 6 | 0.015 | мкФ |
| 7 | 0.018 | мкФ |
| 8 | 0.02 | мкФ |
| 9 | 0.022 | мкФ |
| 10 | 0.025 | мкФ |
| 11 | 0.027 | мкФ |
| 12 | 0.03 | мкФ |
| 13 | 0.033 | мкФ |
| 14 | 0.039 | мкФ |
| 15 | 0.04 | мкФ |
| 16 | 0.047 | мкФ |
| 17 | 0.05 | мкФ |
| 18 | 0.056 | мкФ |
| 19 | 0.068 | мкФ |
| 20 | 0.082 | мкФ |
| 21 | 0.1 | мкФ |
| 22 | 0.10 | мкФ |
| 23 | 0.12 | мкФ |
| 24 | 0.15 | мкФ |

**Рис. 5.51.** Возможные значения параметра полной условной записи

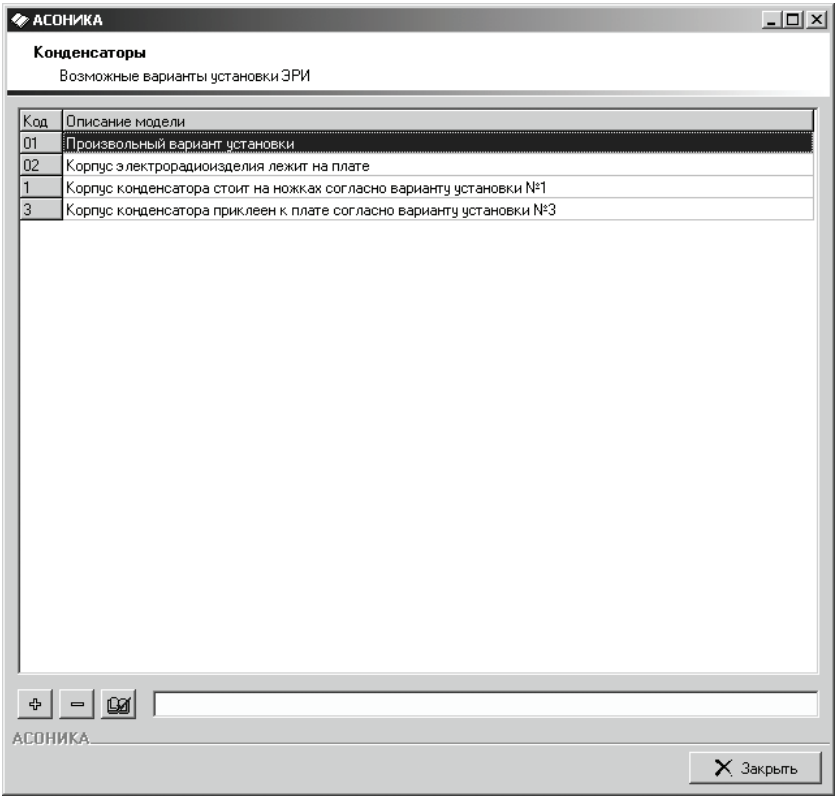



**Рис. 5.52.** Диалоговое окно для выбора варианта установки ЭРИ

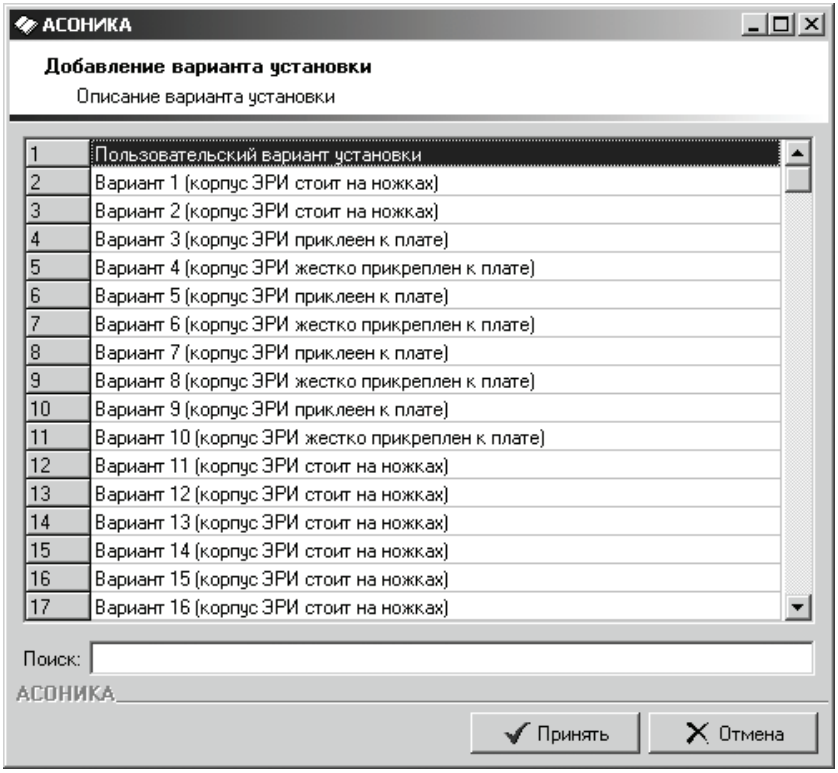



**Рис. 5.53.** Диалоговое окно для добавления нового варианта установки

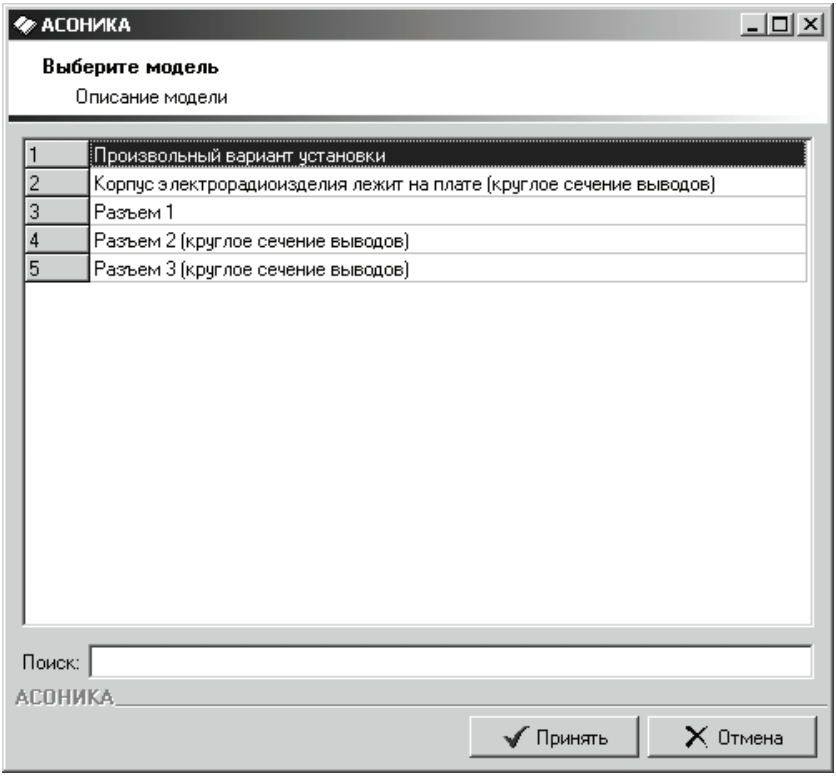



**Рис. 5.54.** Диалоговое окно для выбора модели пользовательского варианта установки

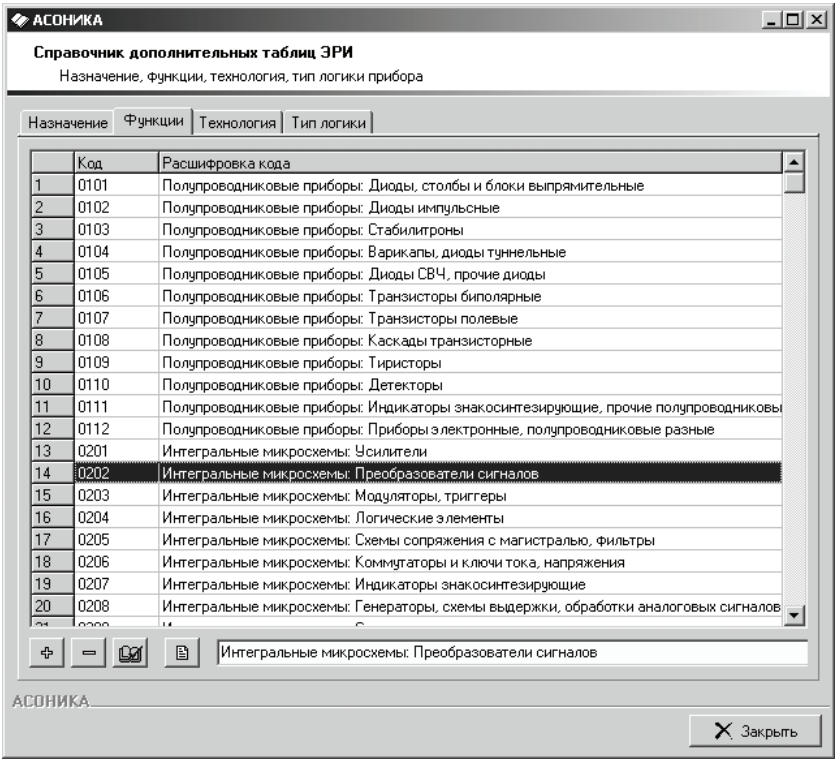
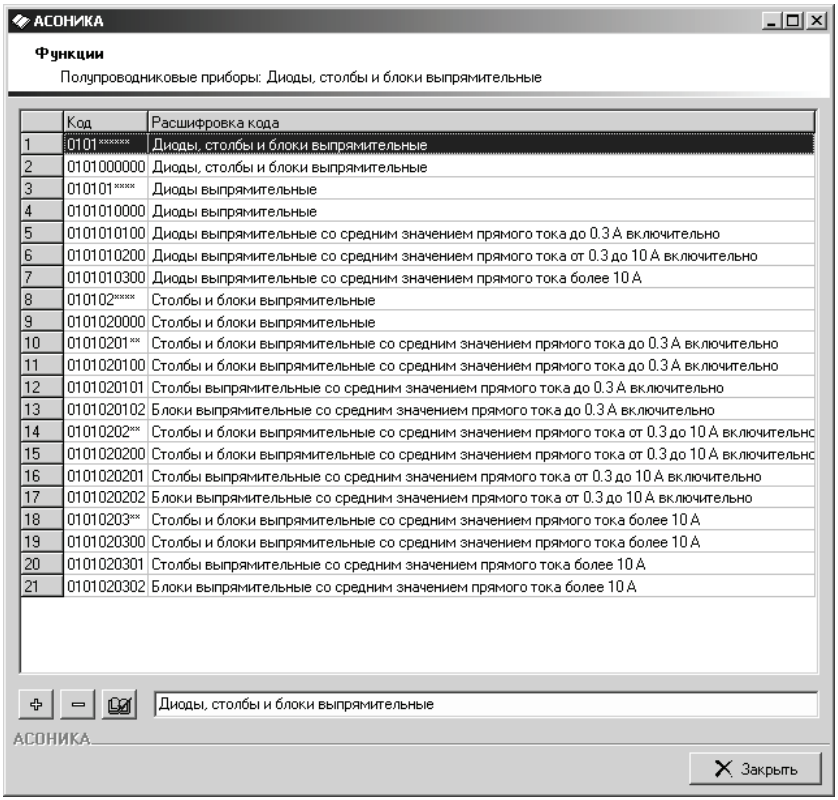



**Рис. 5.55.** Справочники назначения, функций, технологии и типов логики ЭРИ




| | Код | Расшифровка кода |
|---|---|---|
| 1 | 0101****** | Диоды, столбы и блоки выпрямительные |
| 2 | 0101000000 | Диоды, столбы и блоки выпрямительные |
| 3 | 010101**** | Диоды выпрямительные |
| 4 | 0101010000 | Диоды выпрямительные |
| 5 | 0101010100 | Диоды выпрямительные со средним значением прямого тока до 0.3 А включительно |
| 6 | 0101010200 | Диоды выпрямительные со средним значением прямого тока от 0.3 до 10 А включительно |
| 7 | 0101010300 | Диоды выпрямительные со средним значением прямого тока более 10 А |
| 8 | 010102**** | Столбы и блоки выпрямительные |
| 9 | 0101020000 | Столбы и блоки выпрямительные |
| 10 | 01010201** | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока до 0.3 А включительно |
| 11 | 0101020100 | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока до 0.3 А включительно |
| 12 | 0101020101 | Столбы выпрямительные со средним значением прямого тока до 0.3 А включительно |
| 13 | 0101020102 | Блоки выпрямительные со средним значением прямого тока до 0.3 А включительно |
| 14 | 01010202** | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока от 0.3 до 10 А включительно |
| 15 | 0101020200 | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока от 0.3 до 10 А включительно |
| 16 | 0101020201 | Столбы выпрямительные со средним значением прямого тока от 0.3 до 10 А включительно |
| 17 | 0101020202 | Блоки выпрямительные со средним значением прямого тока от 0.3 до 10 А включительно |
| 18 | 01010203** | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока более 10 А |
| 19 | 0101020300 | Столбы и блоки выпрямительные со средним значением прямого тока более 10 А |
| 20 | 0101020301 | Столбы выпрямительные со средним значением прямого тока более 10 А |
| 21 | 0101020302 | Блоки выпрямительные со средним значением прямого тока более 10 А |

**Рис. 5.56.** Справочник

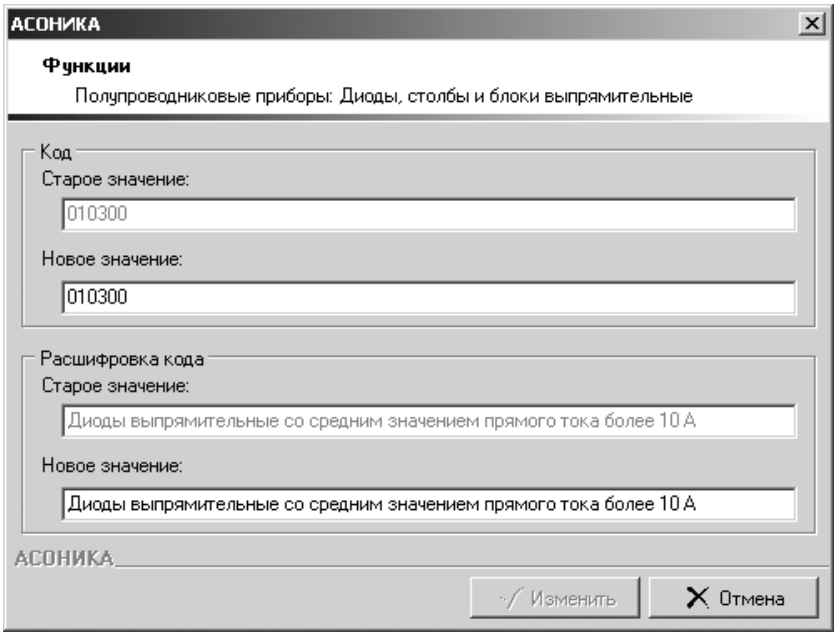



**Рис. 5.57.** Диалоговое окно для изменения кода и его расшифровки

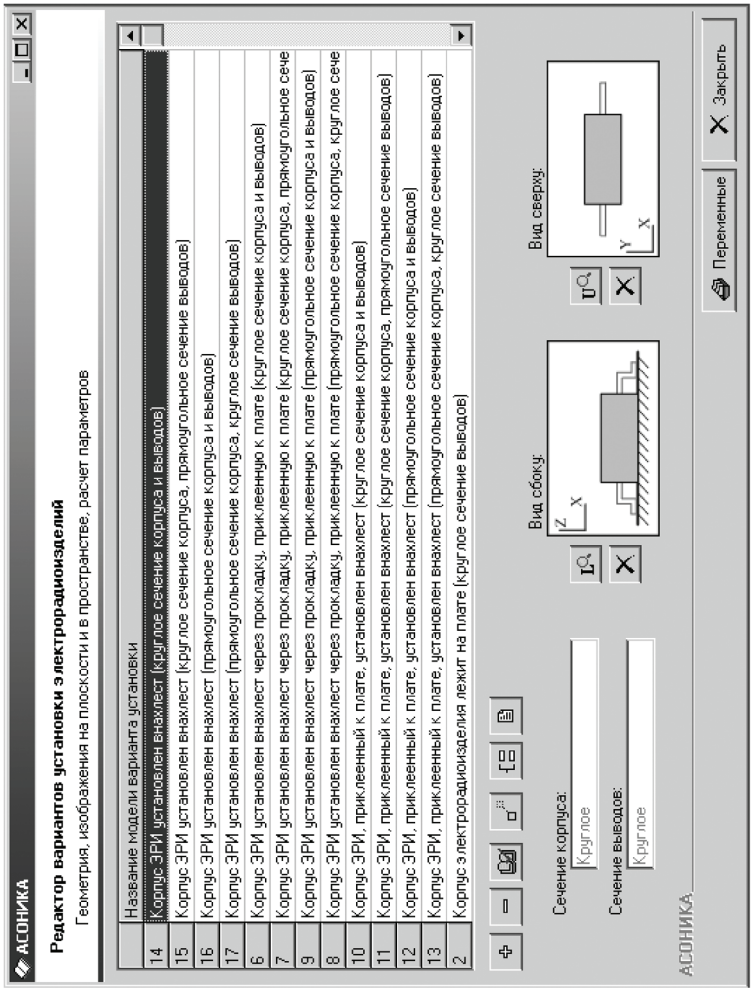



**Рис. 5.58.** Диалоговое окно для редактора вариантов установки ЭРИ

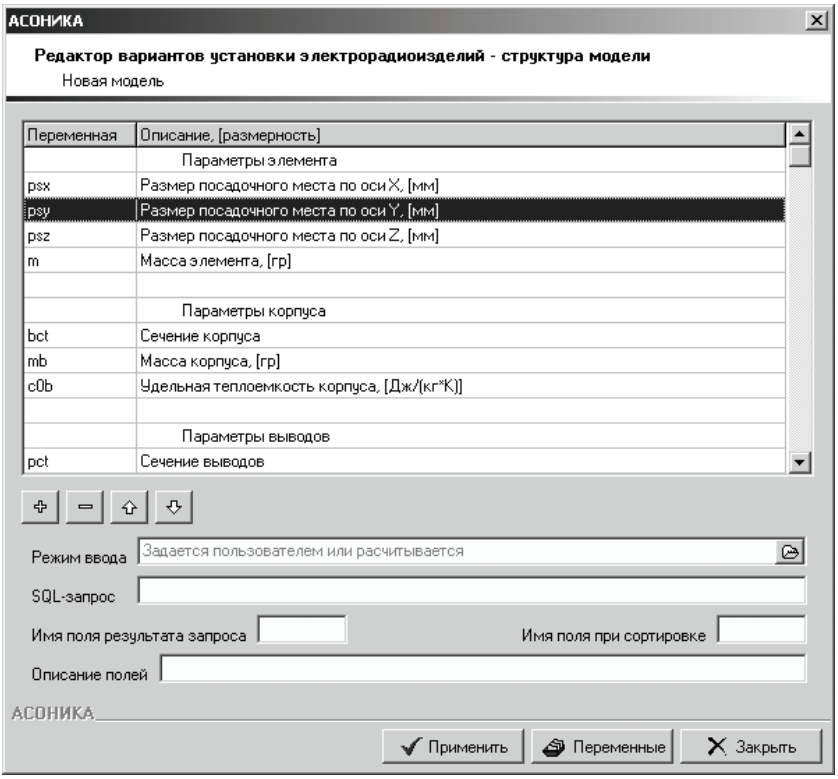



**Рис. 5.59.** Диалоговое окно для задания структуры модели варианта установки

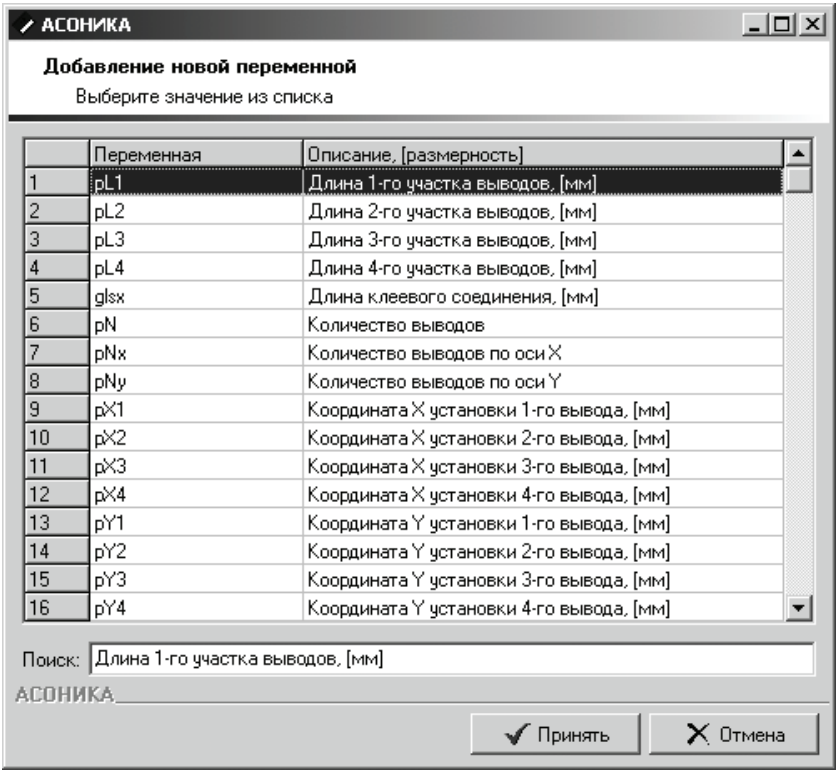



**Рис. 5.60.** Диалоговое окно для выбора переменной

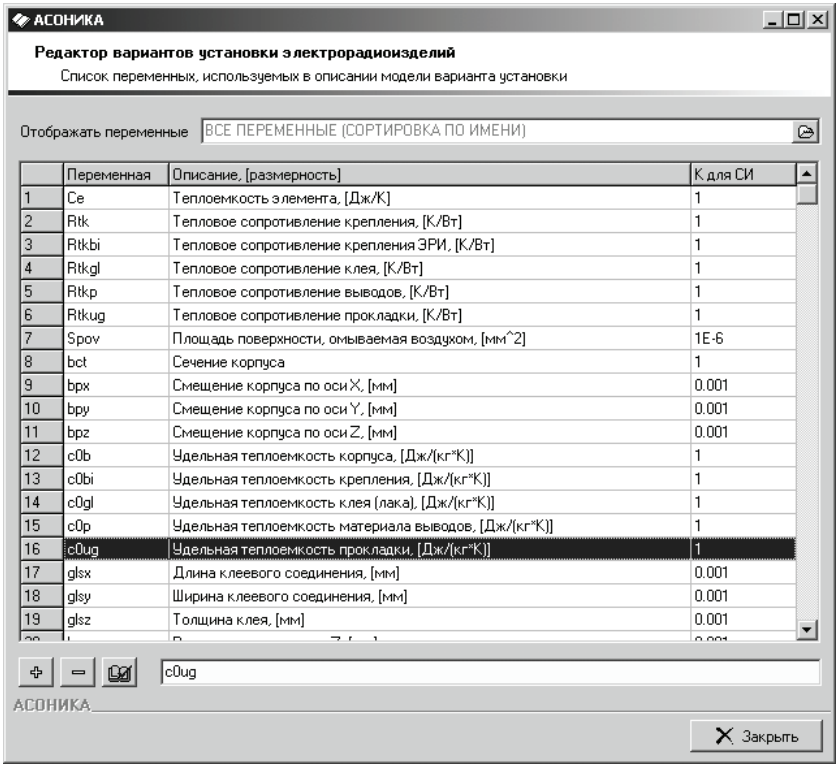



**Рис. 5.61.** Список переменных

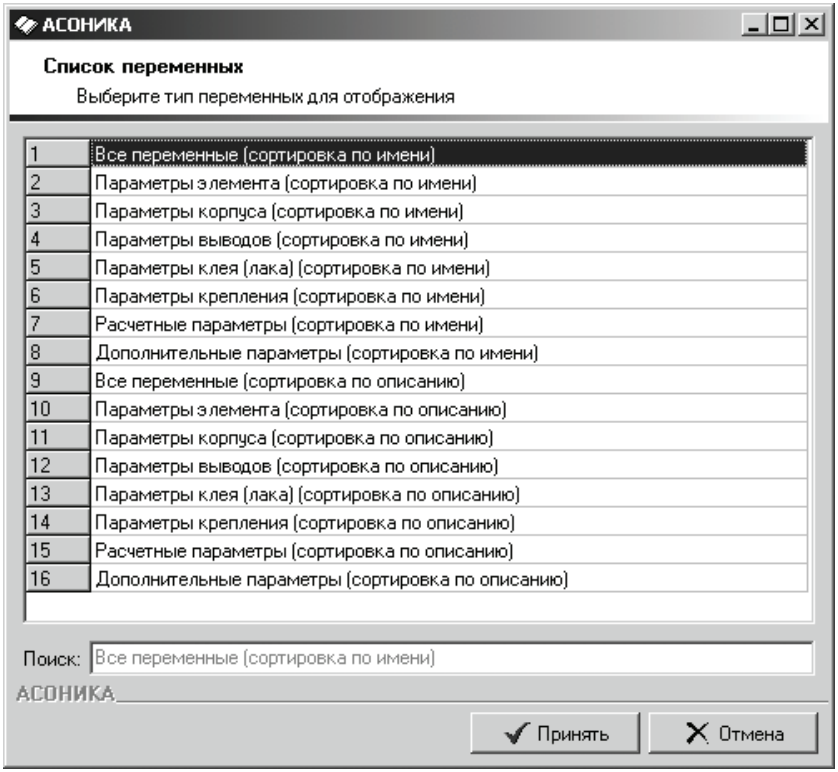



**Рис. 5.62.** Диалоговое окно для выбора типа отображаемых переменных и варианта сортировки

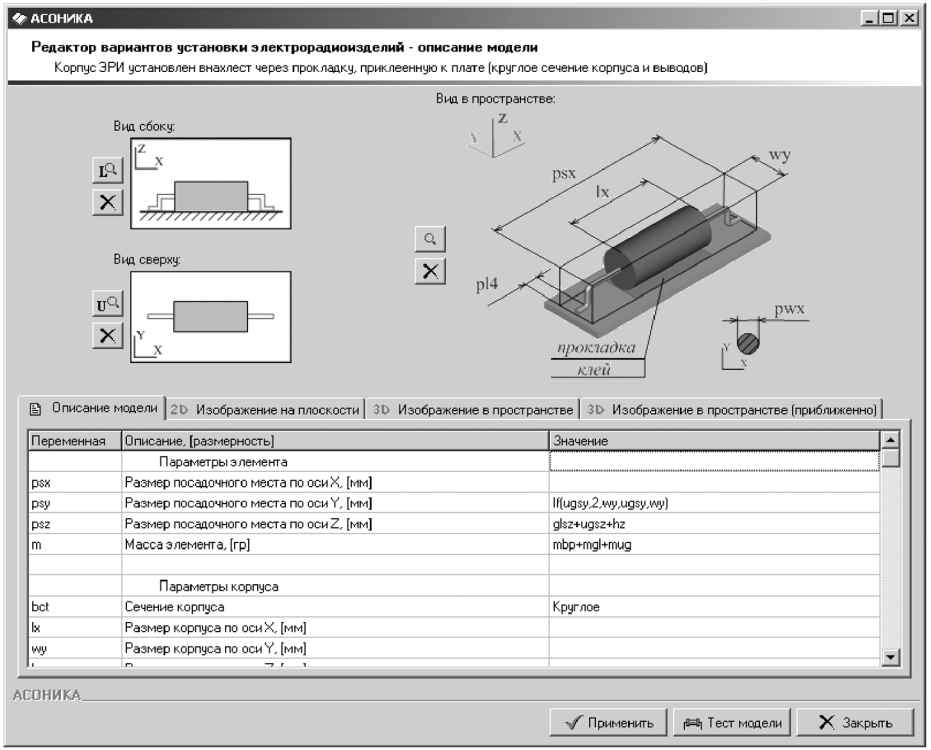



**Рис. 5.63.** Диалоговое окно для описания модели

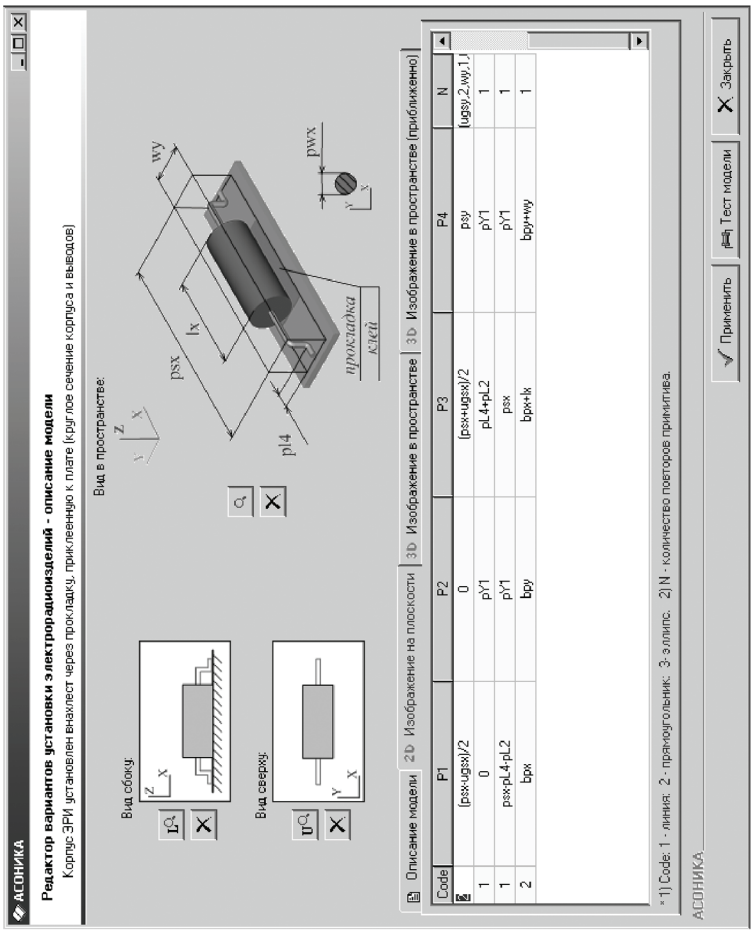



**Рис. 5.64.** Диалоговое окно для описания варианта установки модели на плоскости

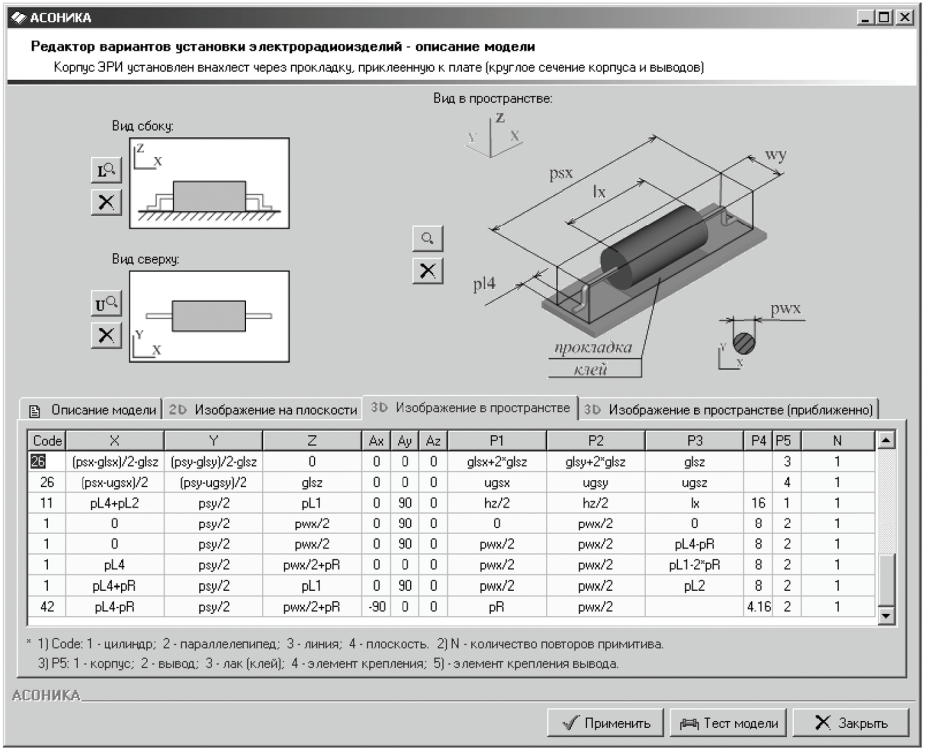



**Рис. 5.65.** Диалоговое окно для описания варианта установки модели в пространстве

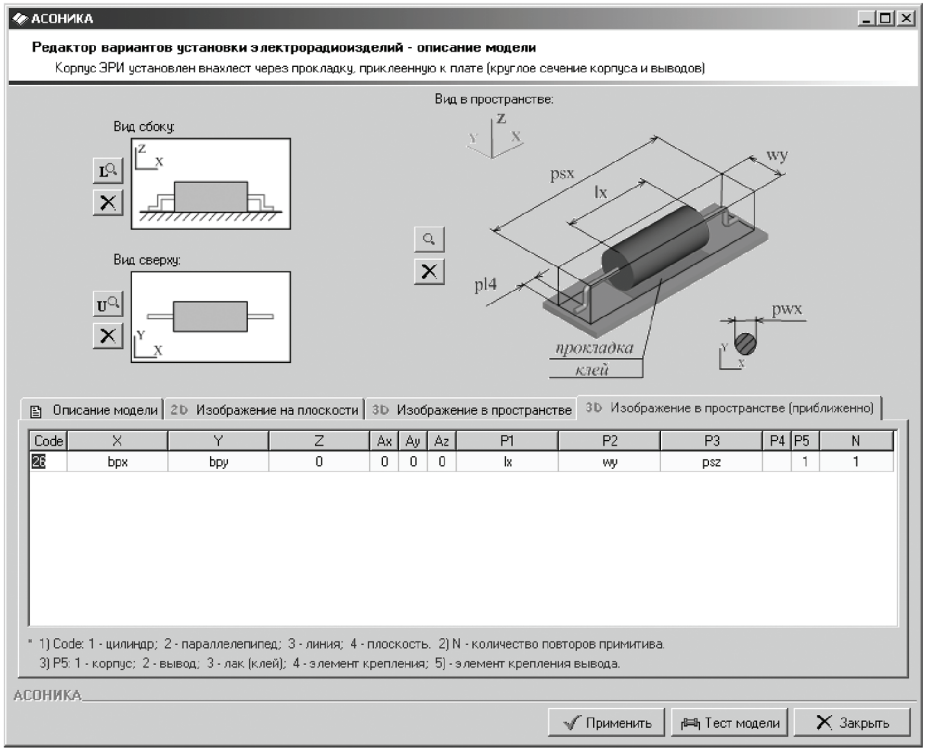


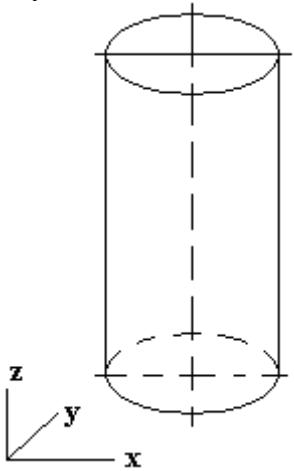

**Рис. 5.66.** Диалоговое окно для описания приближенного варианта установки модели в пространстве

Таблицы 5.8–5.13 иллюстрируют различные способы описания графических параметров.

**Таблица 5.8.** ***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 5.9.** ***Описание графических примитивов для формирования изображения на плоскости***

| Code | Название примитива | Локальная система координат |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
| 1 | Цилиндр | Нижняя грань расположена в плоскости XoY, ось вращения совпадает с осью Z |
| 11 | Диск |  |

*Окончание табл. 5.9*

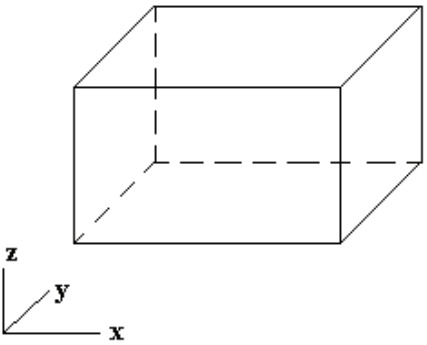
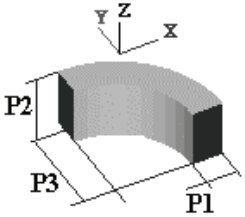
| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|
| 2 | Параллелепипед |  |
| 21 | Параллелепипед (отсутствует грань 1) | |
| 22 | Параллелепипед (отсутствует грань 2) | |
| 23 | Параллелепипед (отсутствует грань 3) | |
| 24 | Параллелепипед (отсутствует грань 4) | |
| 25 | Параллелепипед (отсутствует грань 5) | |
| 26 | Параллелепипед (отсутствует грань 6) | |
| 27 | Параллелепипед (отсутствуют грани 1, 2) | |
| 28 | Параллелепипед (отсутствуют грани 3, 4) | |
| 29 | Параллелепипед (отсутствуют грани 5, 6) | |
| 3 | Линия | Начало локальной системы координат |
| 31 | Дуга | Расположена в плоскости XoY и с центров в начале координат, угол отсчитывается от оси X |
| 4 | Плоскость | Расположена в плоскости XoY, левый нижний угол – в начале координат ЛСК |
| 41 | Часть тора с прямоугольным сечением | Нижняя грань расположена в плоскости XoY между положительными направлениями осей X и Y, ось вращения совпадает с осью Z.  |
| 42 | Часть тора | Расположена между положительными направлениями осей X и Y, ось вращения совпадает с осью Z, центр сечения лежит в плоскости XoY |
| 43 | Часть цилиндрической поверхности | Расположена между положительными направлениями осей X и Y, ось вращения совпадает с осью Z |

**Таблица 5.10.** ***Нумерация граней параллелепипеда***

| Номер грани | Расположение грани в плоскости |
|---|---|
| 1 | YoZ для x=0 |
| 2 | YoZ для x<>0 |
| 3 | XoZ для y=0 |
| 4 | XoZ для y<>0 |
| 5 | XoY для z=0 |
| 6 | XoY для z<>0 |

**Таблица 5.11.** ***Параметры смещения и поворота локальной системы координат в пространстве***

| Параметр | Описание |
|---|---|
| X | Смещение локальной системы координат (ЛСК) 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 5.12.** ***Параметры графических примитивов для формирования изображения в пространстве***

| PCode | P1 | P2 | P3 | P4 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 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 в градусах | 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 | Количество разбиений вокруг оси |

*Окончание таблицы 5.12*

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| | | | сечения вокруг оси Z | вращения |
| 42 | Радиус окружности оси вращения | Радиус окружности сечения тора | Отсутствует | Количество разбиений вокруг оси вращения. Количество разбиений окружности сечения |

**Таблица 5.13.** ***Описание параметра P5 графических примитивов для формирования изображения в пространстве***

| P5 | Относится к изображению |
|---|---|
| 1 | Корпуса |
| 2 | Выводов |
| 3 | Лака (клея) |
| 4 | Элементов закрепления |
| 5 | Закрепления выводов (пайка) |

# ГЛАВА 6

# Управление моделированием РЭС при проектировании (АСОНИКА-УМ)

6.1. Назначение и структура подсистемы АСОНИКА-УМ

6.2. Функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по настройке информационного пространства

6.3. Функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по созданию электронных моделей изделий

6.4. Функциональные возможности интеграции подсистемы АСОНИКА-УМ с другими подсистемами системы АСОНИКА

6.5. Функциональные возможности подсистемы управления моделированием РЭС

## 6.1. Назначение и структура подсистемы АСОНИКА-УМ

Подсистема АСОНИКА-УМ, обеспечивая создание обширных электронных моделей РЭС, предназначена для сбора в интегрированной базе данных (БД) инженерных данных, появляющихся в процессах проектирования, производства и эксплуатации РЭС.

Интегрированная с моделирующими подсистемами системы АСОНИКА, а также с CAD-системами КОМПАС и SolidWorks, АСОНИКА-УМ позволяет формировать комплексный критерий оценки соответствия полученного технического решения требованиям технического задания на проектирование, а на основе этого критерия и ряда прототипов изделий – организовать управление получением нового технического решения, сформулированного как управление моделированием.

Интеграция АСОНИКА-УМ с внешними приложениями обеспечивает хранение их проектов в БД АСОНИКА-УМ и контекстный запуск соответствующего приложения, а также целостность проектной информации.

Подсистема АСОНИКА-УМ включает 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 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, выполняет следующие функции:

– 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 (WorkFlow Management);

– 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 SQL Server 2000, обеспечивающей хорошую масштабируемость и высокую устойчивость к различным сбоям.

Подсистема АСОНИКА-УМ может использоваться индивидуально либо в сети, что обеспечивается типом сервера базы данных СУБД Microsoft SQL Server 2000.

Для обеспечения эффективного распределения вычислительной нагрузки при одновременной работе большого числа пользователей и низких требований к программно-аппаратному оснащению пользовательских мест (подсистемы АСОНИКА-УМ) используется двухуровневая сетевая архитектура, состоящая из сетевого и клиентского приложений. Сетевое приложение обеспечивает интерфейс администратора подсистемы со справочными таблицами (словарями) БД, а клиентское приложение – интерфейс пользователей с функционалом подсистемы АСОНИКА-УМ.

## 6.2. Функциональные возможности подсистемы АСОНИКА-УМ по настройке информационного пространства

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.

Главное окно модуля настройки информационного пространства («Настройка словарей БД АСОНИКА-УМ») показано на рис. 6.1.

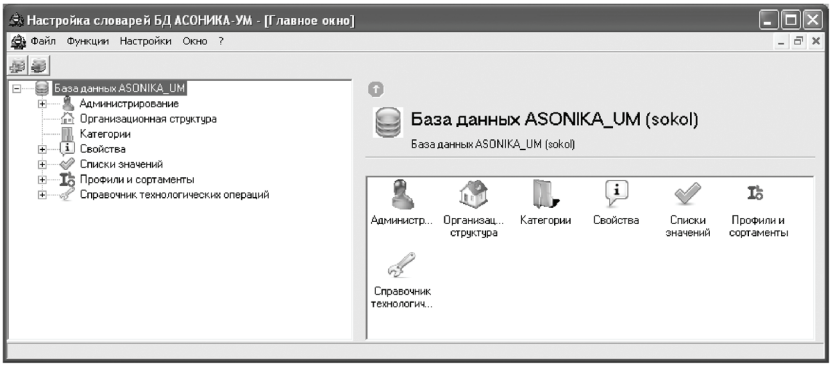



**Рис. 6.1.** Главное окно модуля настройки информационного пространства («Настройка словарей БД АСОНИКА-УМ»)

Кратко опишем возможности и интерфейс функций по настройке информационного пространства подсистемы АСОНИКА-УМ.

## Организация структуры рабочих групп

Создание организационной структуры рабочих групп становится доступным при нажатии на пиктограмму «Организационная структура» (рис. 6.2).

Структура рабочих групп может быть иерархической. По этому показателю доступно создание описаний рабочих групп (рис. 6.3) или сотрудников (рис. 6.4), а также удаление их из БД (при этом удаляемое описание перемещается в рабочую группу, стоящую выше по иерархии).

Выполняемые сотрудником роли должны быть выбраны из списка возможных ролей, формирование которого доступно в справочнике ролей (Главное окно > Списки значений > Роли).

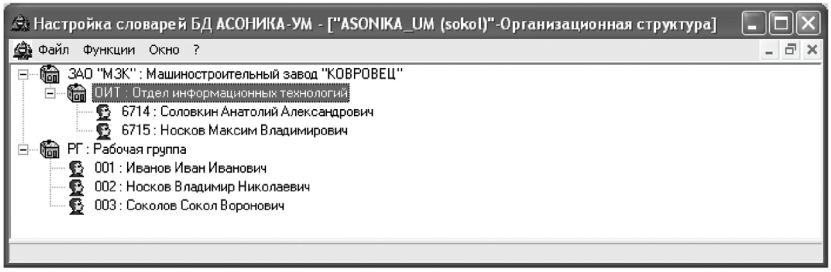



**Рис. 6.2.** Диалоговое окно для создания организационной структуры рабочих групп

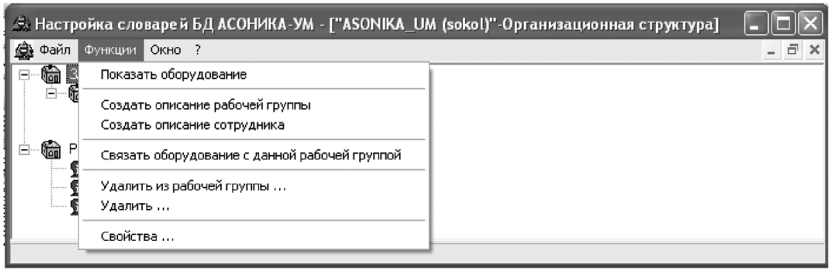



**Рис. 6.3.** Диалоговое окно для создания описаний рабочих групп и сотрудников

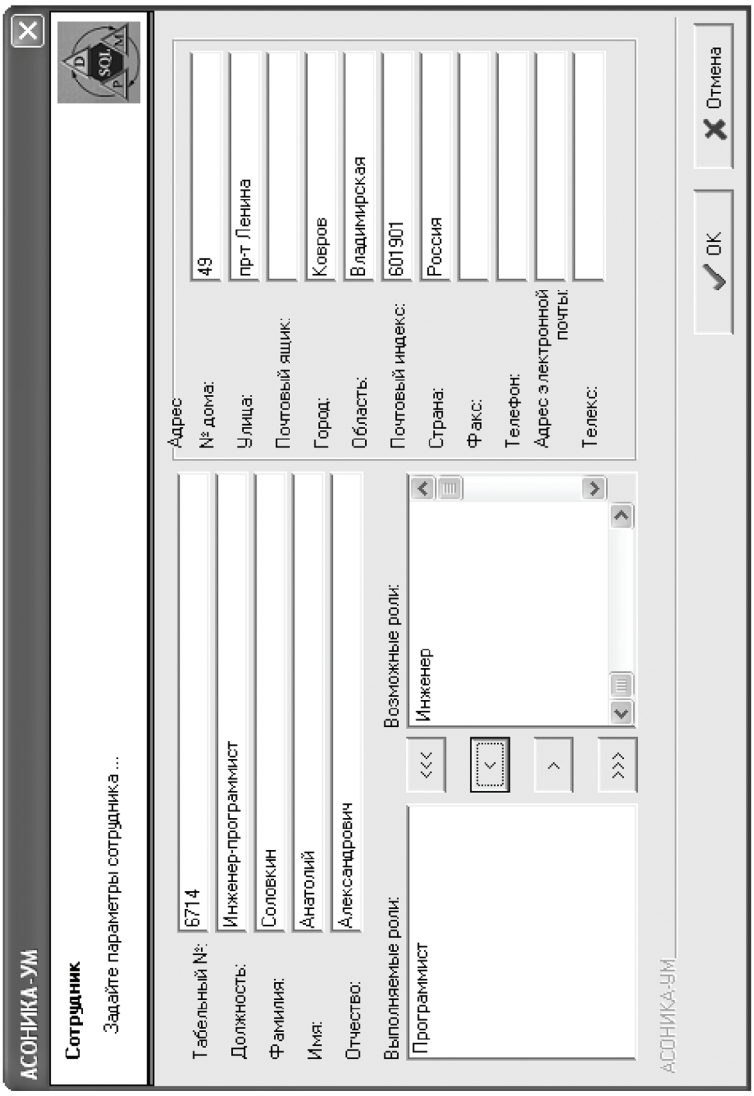



**Рис. 6.4.** Диалоговое окно для задания параметров сотрудника

## Организация структуры категорий информационных объектов

Подсистема АСОНИКА-УМ позволяет сформировать неограниченное число систем классификаций информационных объектов БД, для чего следует обратиться к системе категорий. Например, категория может представлять организацию, информация об изделиях которой представлена в БД АСОНИКА-УМ (рис. 6.5). В категориях можно отразить классификацию, например, стандартных изделий, покупных комплектующих, материалов и т.д.

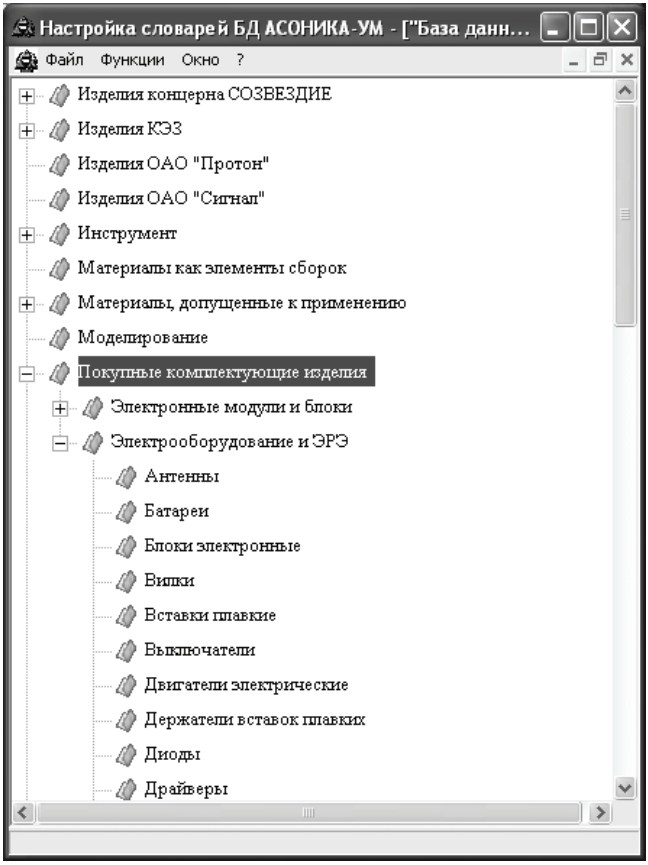



**Рис. 6.5.** Диалоговое окно для организации структуры категорий информационных объектов

## Характеристики и единицы измерения

С информационными объектами БД АСОНИКА-УМ, такими как «Изделие», «Материал», «Документ» и т.п., может ассоциироваться набор характеристик (рис. 6.6).

Характеристики в БД АСОНИКА-УМ представлены объектами «Характеристика» и «Группа характеристик». Перечень возможных характеристик может легко дополняться.

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 изделия может быть присоединена характеристика «Ресурс» с типом «Требуемая», при выполнении проверочного расчета – с типом «Расчетная», а после испытаний опытного образца – с типом «Измеренная».

Конфиденциальные характеристики могут быть доступны только конкретным сотрудникам (для этого используется функция разграничения доступа). Для легитимности характеристик им могут назначаться статусы.

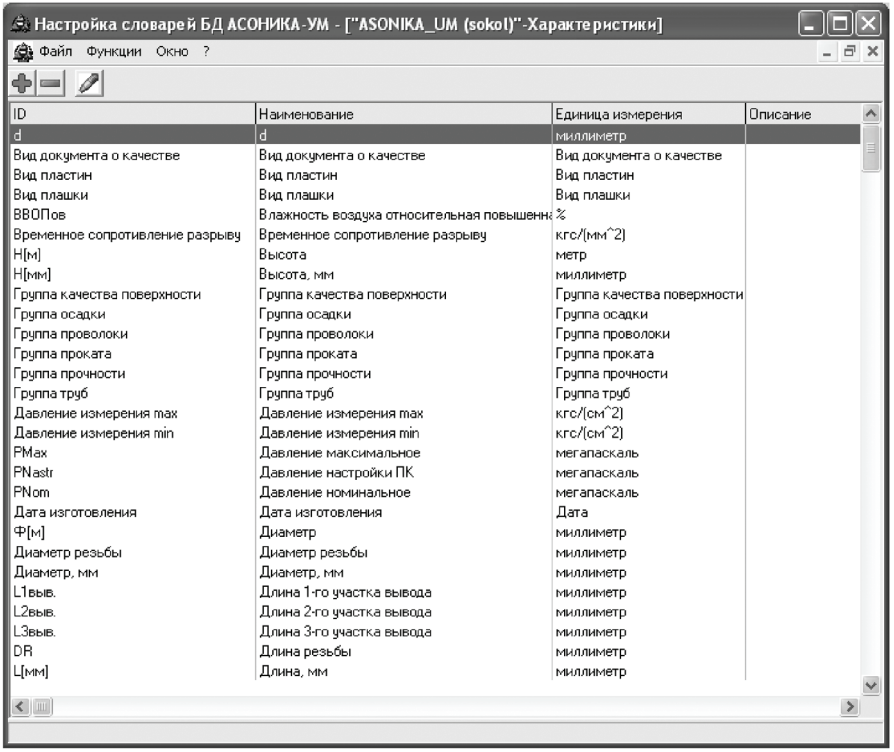
Для удобства работы с набором часто совместно применяемых характеристик можно использовать информационный объект «Группа характеристик» (рис. 6.7). Например, при организации группы характеристик «Внешние факторы» диалоговое окно будет выглядеть так, как показано на рис. 6.8.

Единицы измерения – понятие, описывающее характеристику или определяющее возможные значения характеристики (рис. 6.9). АСОНИКА-УМ позволяет создавать следующие единицы измерения:

*«Единица измерения СИ»* – стандартная единица измерения с префиксом (например, километр, микрограмм и т.д.);

*«Контекстно-зависимая единица измерения»* (рис. 6.10) – нестандартная единица измерения, размерность которой раскладывается по базису (метр, грамм, секунда, ампер, кельвин, моль, люмен);

*«Производная единица измерения»* – единица измерения, полученная умножением другой единицы измерения на число (например, 1 ч = 3600 с);




| ID | Наименование | Единица измерения | Описание |
|---|---|---|---|
| d | d | миллиметр | |
| Вид документа о качестве | Вид документа о качестве | Вид документа о качестве | |
| Вид пластин | Вид пластин | Вид пластин | |
| Вид плашки | Вид плашки | Вид плашки | |
| ВВОПов | Влажность воздуха относительная повышенна | % | |
| Временное сопротивление разрыву | Временное сопротивление разрыву | кгс/(мм^2) | |
| H[м] | Высота | метр | |
| H[мм] | Высота, мм | миллиметр | |
| Группа качества поверхности | Группа качества поверхности | Группа качества поверхности | |
| Группа осадки | Группа осадки | Группа осадки | |
| Группа проволоки | Группа проволоки | Группа проволоки | |
| Группа проката | Группа проката | Группа проката | |
| Группа прочности | Группа прочности | Группа прочности | |
| Группа труб | Группа труб | Группа труб | |
| Давление измерения max | Давление измерения max | кгс/(см^2) | |
| Давление измерения min | Давление измерения min | кгс/(см^2) | |
| PMax | Давление максимальное | мегапаскаль | |
| PNastr | Давление настройки ПК | мегапаскаль | |
| PNom | Давление номинальное | мегапаскаль | |
| Дата изготовления | Дата изготовления | Дата | |
| Ф[м] | Диаметр | миллиметр | |
| Диаметр резьбы | Диаметр резьбы | миллиметр | |
| Диаметр, мм | Диаметр, мм | миллиметр | |
| L1выв. | Длина 1-го участка вывода | миллиметр | |
| L2выв. | Длина 2-го участка вывода | миллиметр | |
| L3выв. | Длина 3-го участка вывода | миллиметр | |
| DR | Длина резьбы | миллиметр | |
| L[мм] | Длина, мм | миллиметр | |

**Рис. 6.6.** Диалоговое окно для настройки словарей БД АСОНИКА-УМ в режиме редактирования характеристик




| ID | Описание |
|---|---|
| Внешние факторы | Внешние факторы |
| Внутренние параметры инвертора | Внутренние параметры инвертора |
| Входные воздействия инвертора | Входные воздействия инвертора |
| Выводы | |
| Выходные характеристики инвертора | Выходные характеристики инвертора |
| Габаритные характеристики | |
| ГОСТ 1050-88. Условные обозначения | Прокат сортовой, калиброванный, со специальной отделкой поверхности из угле |
| ГОСТ 1051-73. Условные обозначения | Прокат калиброванный |
| ГОСТ 10702-78. Условные обозначения | Прокат из качественной конструкционной углеродистой и легированной стали дл |
| ГОСТ 10705-80. Условные обозначения | Стальные трубы электросварные |
| ГОСТ 13345-85. Условные обозначения | Жесть ГОСТ 13345-85 |
| ГОСТ 13663-86. Условные обозначения | Трубы стальные профильные. Технические требования |
| ГОСТ 14637-89. Условные обозначения | Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества |
| ГОСТ 14963-78. Условные обозначения | Проволока стальная легированная пружинная |
| ГОСТ 1577-93. Условные обозначения | Прокат толстолистовой и широкополосный из конструкционной качественной ст |
| ГОСТ 1604-71 | Метчики гаечные. Конструкция и размеры |
| ГОСТ 16523-97. Условные обозначения | Прокат тонколистовой из углеродистой стали качественной и обыкновенного ка |
| ГОСТ 19281-89. Условные обозначения | Прокат из стали повышенной прочности |
| ГОСТ 19903-74. Условные обозначения | Прокат листовой горячекатаный |
| ГОСТ 19904-74. Условные обозначения | Прокат листовой холоднокатаный |
| ГОСТ 2590-88. Условные обозначения | Прокат стальной горячекатаный круглый |

**Рис. 6.7.** Информационный объект «Группа характеристик»

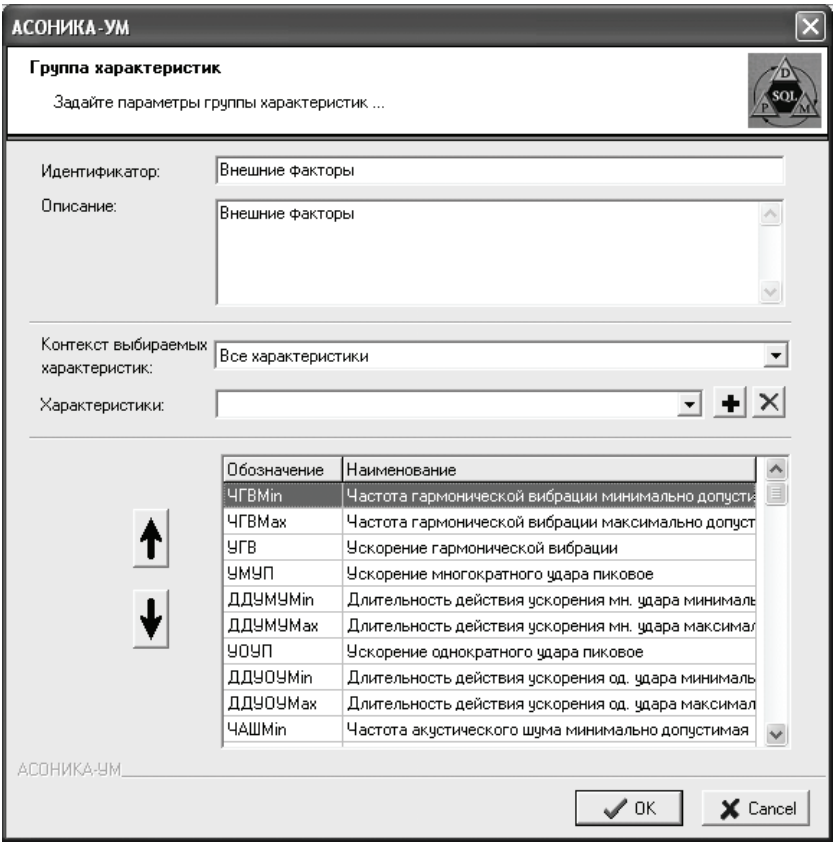



**Рис. 6.8.** Диалоговое окно для создания новой характеристики

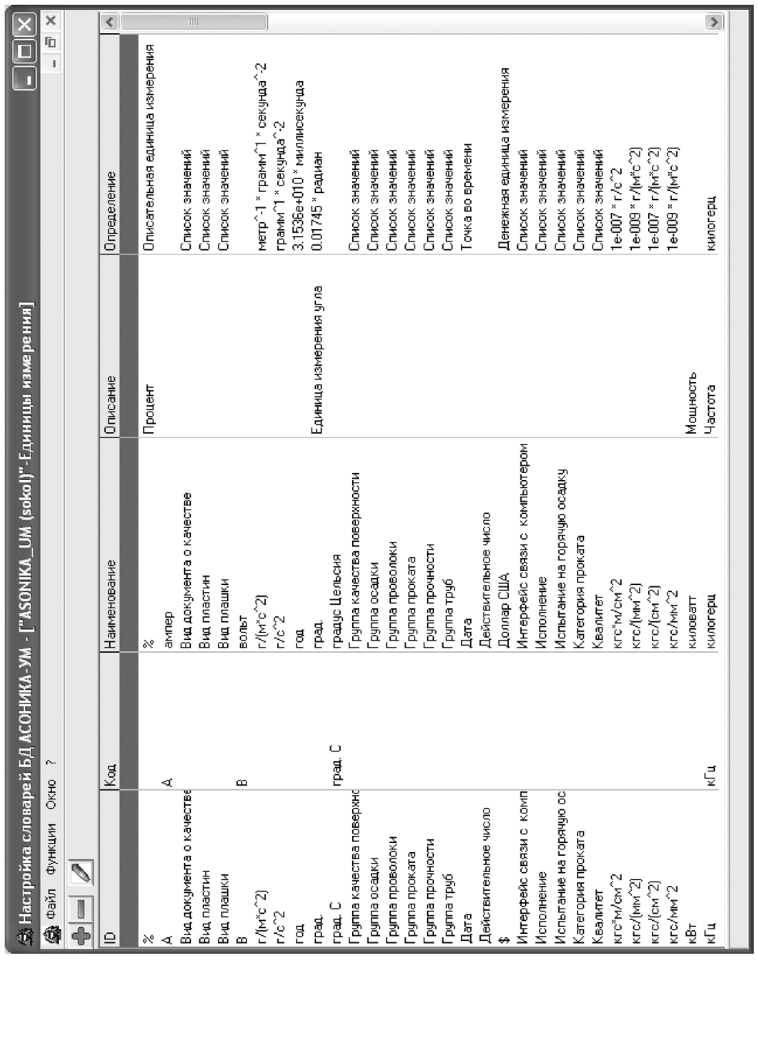



**Рис. 6.9.** Диалоговое окно для создания / редактирования единиц измерения

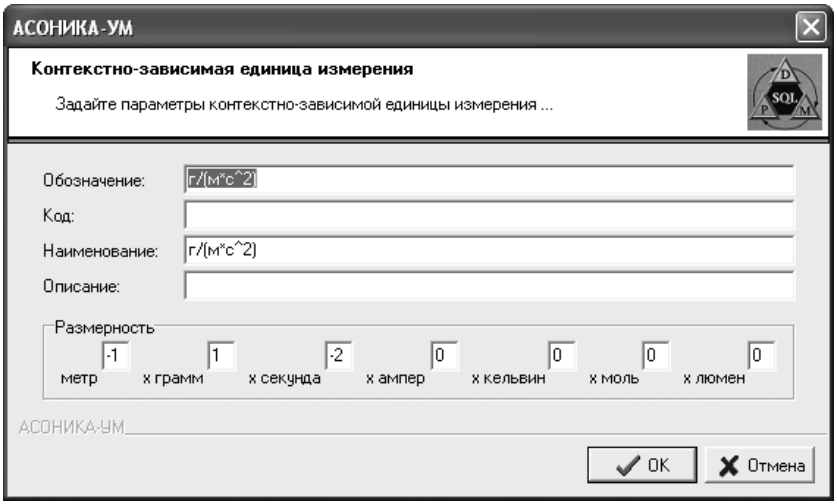



**Рис. 6.10.** Диалоговое окно для создания контекстно-зависимой единицы измерения

*«Вычисляемая единица измерения»* – единица измерения, полученная произведением других единиц измерения в задаваемых степенях (например, километр в час = километр^1 * ч^–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»).

## Определение типов документов

АСОНИКА-УМ позволяет хранить различные типы электронных документов: конструкторские (спецификация, чертеж, сборочный чертеж и т.д.), технологические (маршрутная карта, операционная карта, ведомость расцеховки и т.д.), отчеты по НИОКР, отчеты о расчетах 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. 6.11).

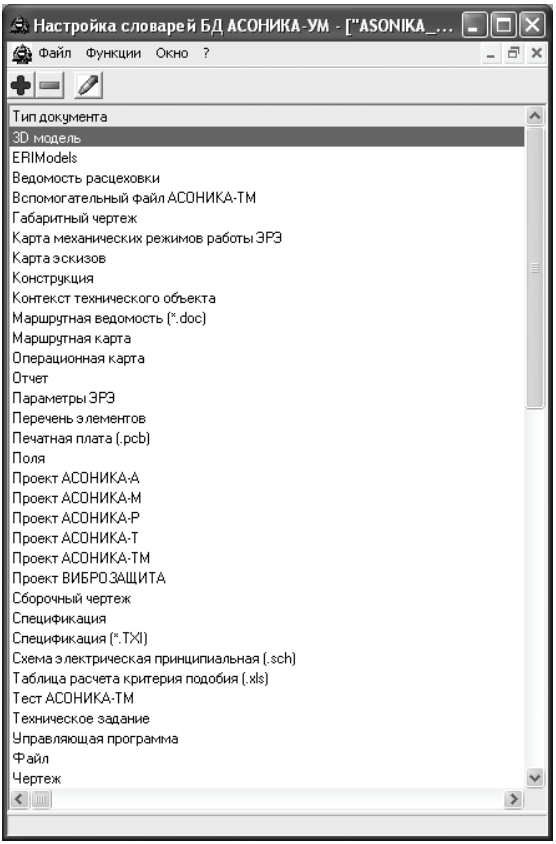



**Рис. 6.11.** Диалоговое окно для определения типов документов

## Создание сортаментов и профилей применяемых конструкционных материалов

При задании нормы расхода материала для изготовления изделия (формирование технологических данных об изделии) в АСОНИКА-УМ используются объекты «Сортамент», «Профиль», «Единица измерения профиля». При назначении материала для изготовления изделия технолог указывает 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. 6.12) либо сортаментов (рис. 6.13).

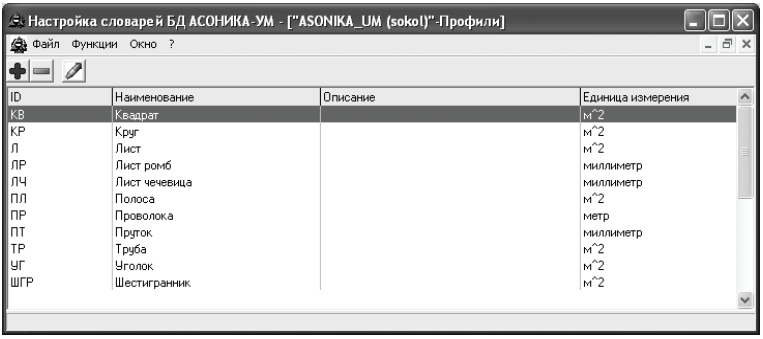
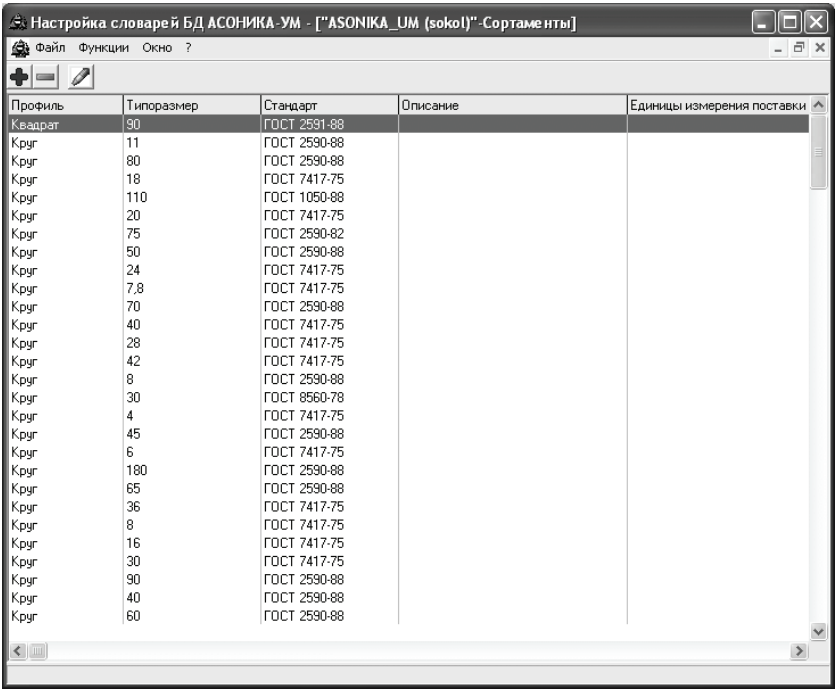



**Рис. 6.12.** Диалоговое окно для создания / редактирования профилей

## Перечень технологических операций, переходов и предметов труда

Для облегчения проектирования технологического процесса в АСОНИКА-УМ существует «Технологический справочник», в котором собрана информация обо всех операциях, переходах, предметах производства для многих известных видов обработки. Вся информация в «Технологическом справочнике» о каждом виде обработки структурирована согласно соответствующему ГОСТ.

С каждой технологической операцией справочника пользователь может ассоциировать оборудование (из организационной структуры предприятия), на котором можно выполнить данную операцию (рис. 6.14).




| 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. 6.13.** Диалоговое окно для создания сортамента

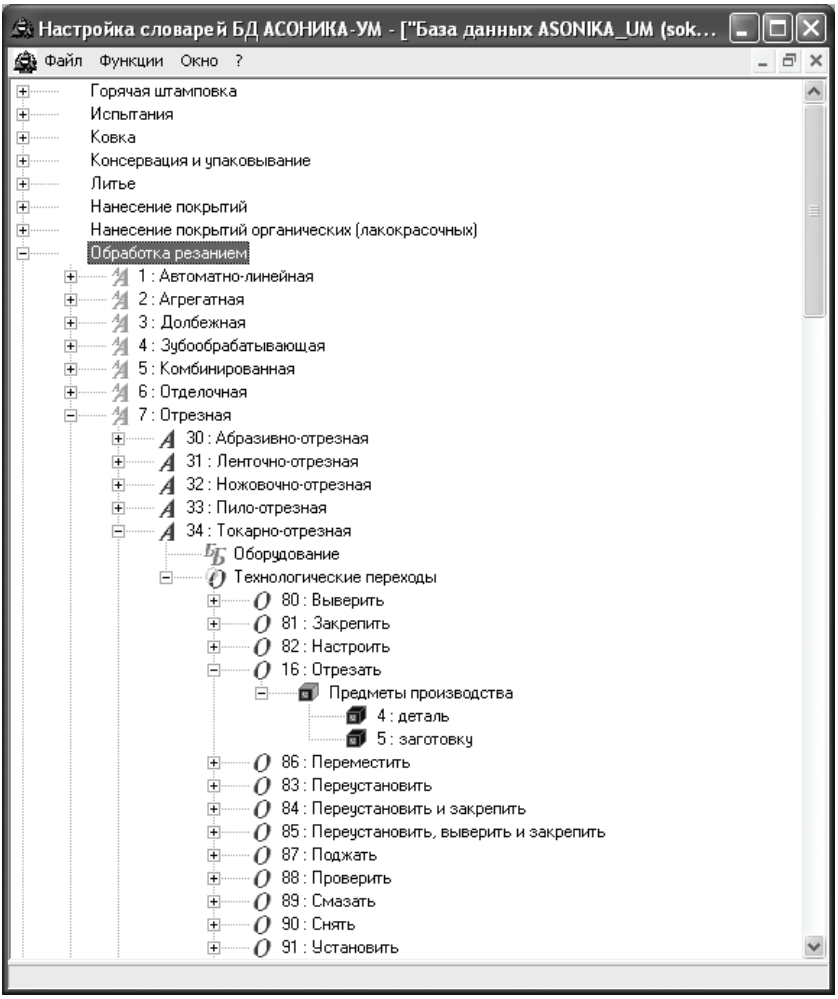



**Рис. 6.14.** Перечень технологических операций, переходов и предметов труда

## 6.3. 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.

Главное окно модуля создания электронных моделей изделий («АСОНИКА-УМ клиент») показано на рис. 6.15.

Главное окно модуля создания электронных моделей изделий условно можно разбить на следующие области:

– главное меню;
– панель инструментов;
– многооконная область дерева объектов;
– панель навигатора отображающая большую часть информации о выделенном объекте.

Модуль предоставляет два способа просмотра ассоциированной с объектом информации: непосредственно в дереве объектов (в многооконной области) и с помощью специального окна «Панель навигатора». Для вызова панели навигатора необходимо в главном меню установить флажок «Вид > Панель навигатора».

Панель навигатора состоит из вкладок, показывающих информацию различного рода (рис. 6.16). 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.

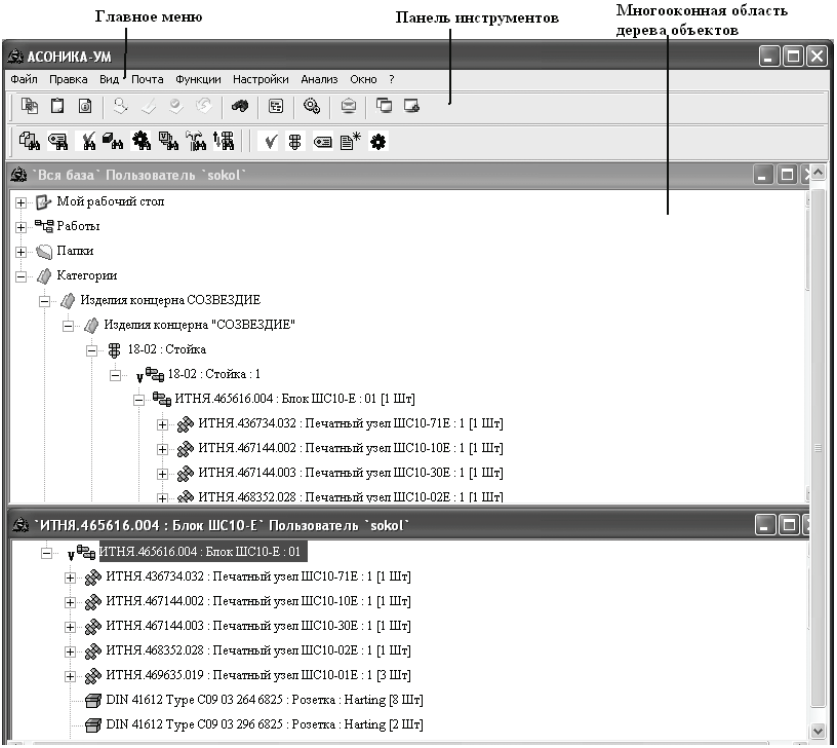



**Рис. 6.15.** Главное окно модуля создания электронных моделей изделий

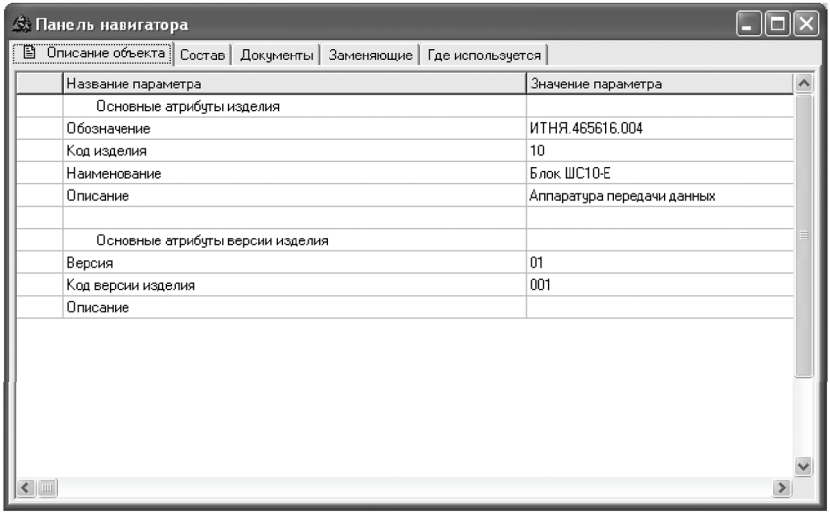



**Рис. 6.16.** Диалоговое окно панели навигатора

## Создание структуры состава изделий собственного производства

Состав изделий собственного производства в модуле создания электронных моделей изделий отображается в виде дерева (рис. 6.17).

Изделие, как элемент категории, отображаемое иконкой , имеет версии, отображаемые иконкой  и принимающие следующие значения:

– деталь ;

– ЭРЭ ;

– сборочная единица ;

– печатный узел ;

– комплект ;

– комплекс ;

– материал .

Например, фрагмент состава изделия, «АЮИЖ.435331.015 Блок инвертора БИ» выглядит так, как показано на рис. 6.18. Здесь же приведены функционал и интерфейс контекстных меню для работы с версиями изделий.

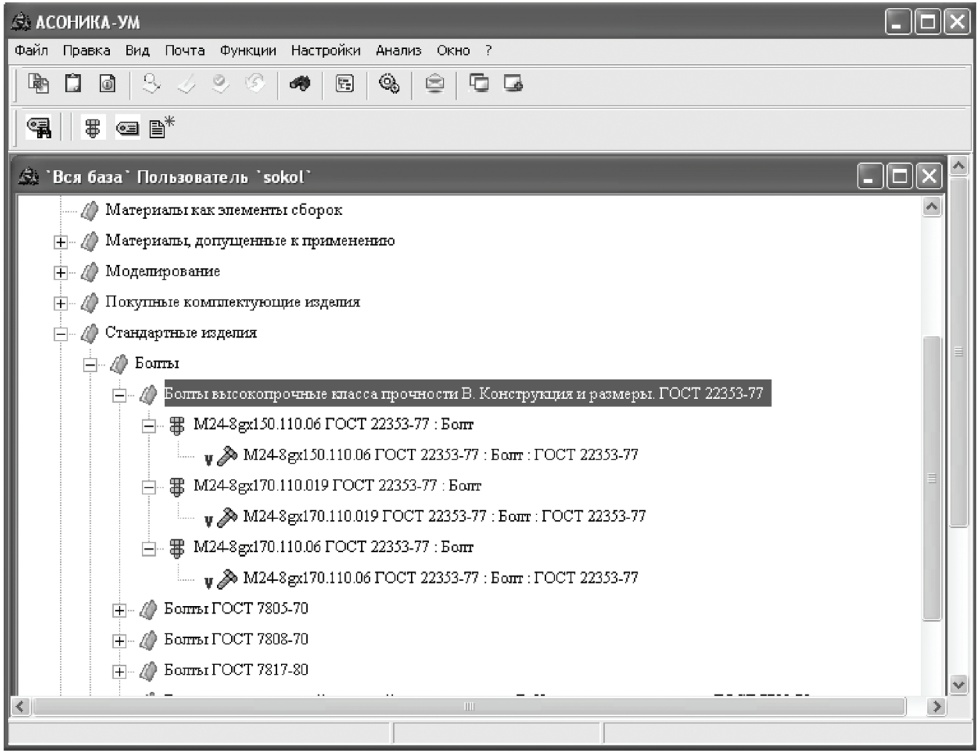



**Рис. 6.17.** Состав изделий собственного производства

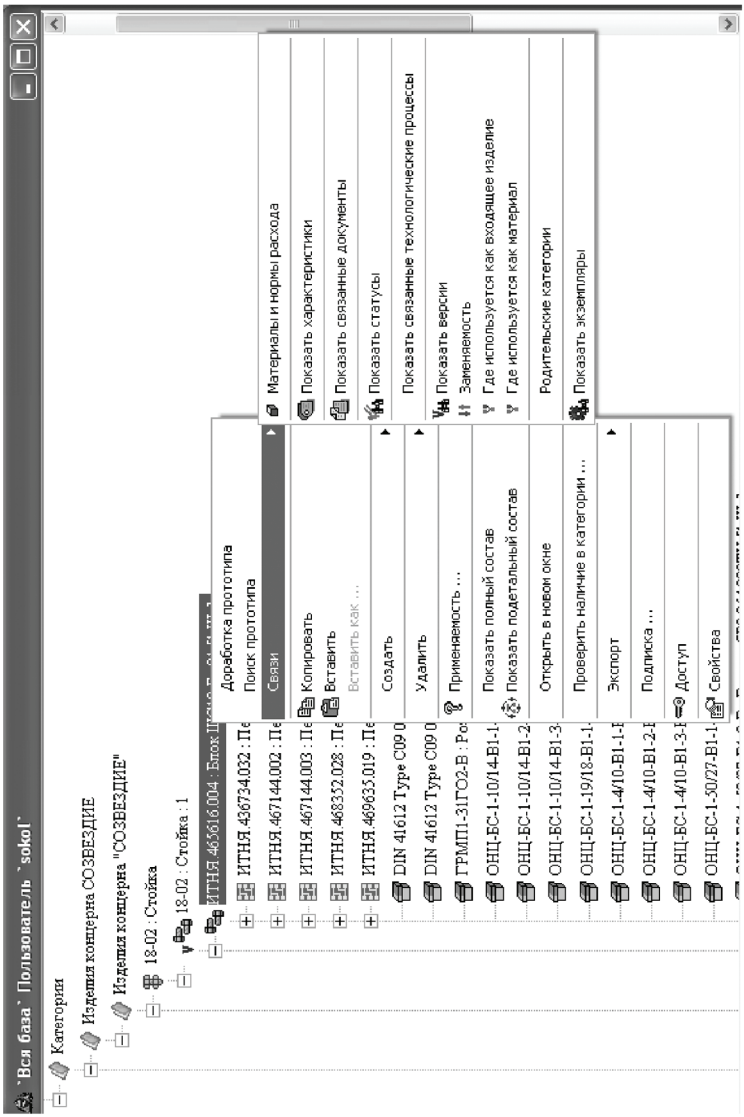



**Рис. 6.18.** Фрагмент состава изделия

## Создание структуры стандартных изделий

В состав изделий собственного производства часто включаются стандартные изделия. Стандартные изделия, предварительно занесенные в категорию «Стандартные изделия» базы данных АСОНИКА-УМ, попадают в категорию изделий собственного производства операциями копирования и вставки. Заполняться категория «Стандартные изделия» должна персоналом, имеющим права на ведение этого раздела БД, обычно – это сотрудники предприятия, ответственные за стандартизацию.

Большая часть стандартных изделий – крепеж: болты, винты, гайки, шайбы и т.д., изготовляемые по различным ГОСТам. Поэтому в категории «Стандартные изделия» целесообразно создать внутреннюю классификацию по типам стандартных изделий, например: «Болты», «Винты», «Втулки», «Гайки», «Заклепки» и т.д. Внутри этих категорий придется сформировать еще один уровень категорий, соответствующий различным ГОСТам.

## Создание структуры покупных комплектующих изделий

В состав изделия собственного производства часто включаются покупные комплектующие, не относящиеся к разряду стандартных, для радиоэлектронной аппаратуры это в основном электрорадиоэлементы (ЭРЭ) и электронные модули и блоки.

В БД АСОНИКА-УМ для ЭРЭ, электронных модулей и блоков целесообразно сформировать соответствующие структуры категорий (рис. 6.19). Вести эти категории должны уполномоченные сотрудники предприятий, например так, как показано для резисторов на рис. 6.20.

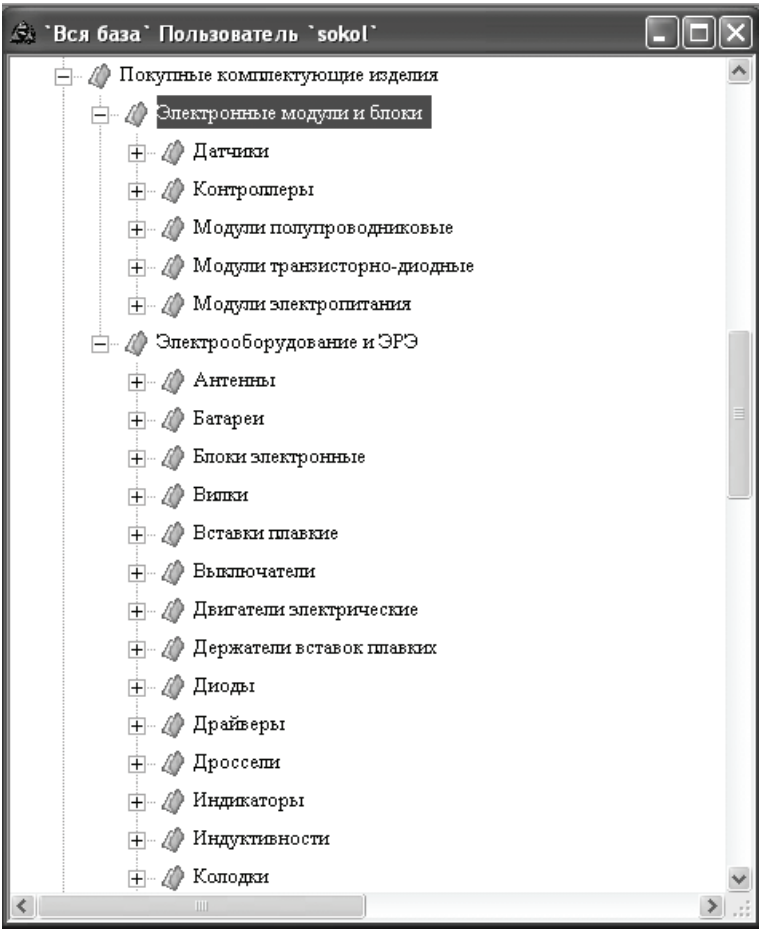



**Рис. 6.19.** Диалоговое окно для создания соответствующих структур категорий

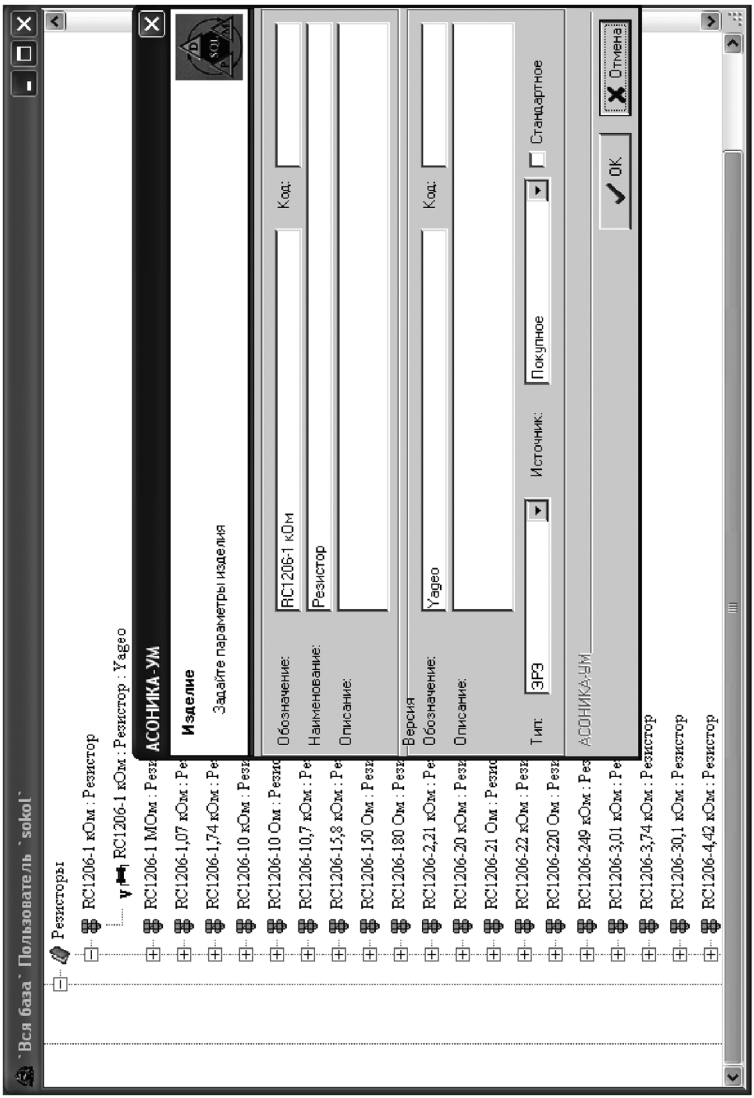



**Рис. 6.20.** Диалоговое окно для задания параметров изделия

## Организация работы с конструкционными материалами в АСОНИКА-УМ

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. 6.21);

– создание групп характеристик на сортамент и марки материалов на основании соответствующих ГОСТов (рис. 6.22);

– создание информационных объектов, соответствующих конкретным конструкционным материалам (рис. 6.23).

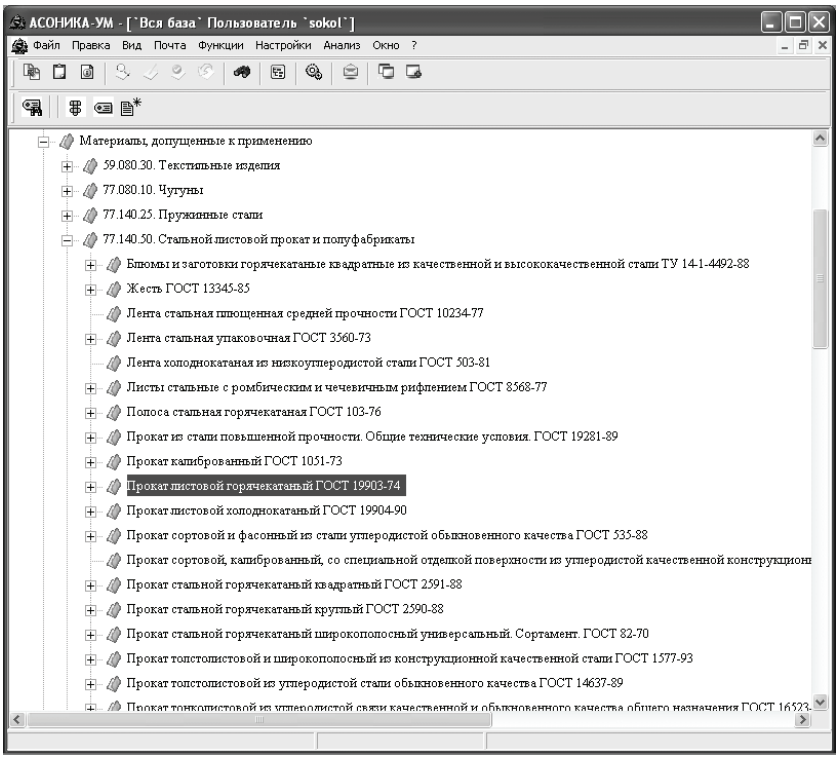



**Рис. 6.21.** Диалоговое окно для создания структуры категорий, соответствующих различным типам конструкционных материалов

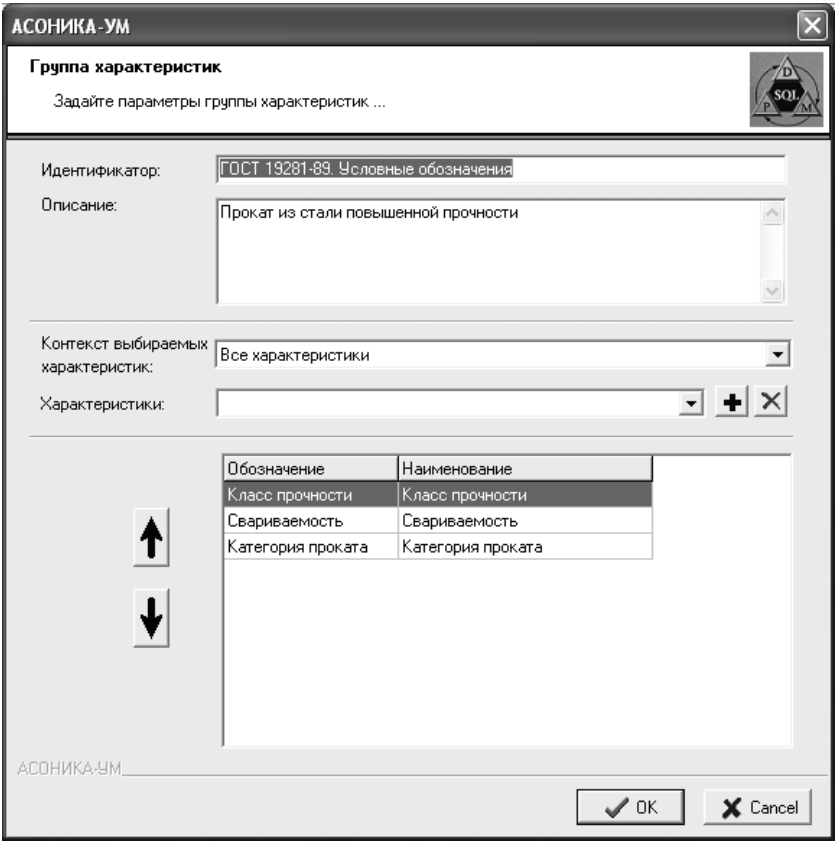



**Рис. 6.22.** Диалоговое окно для создания групп характеристик по сортаменту и маркам материалов

Кроме характеристик, входящих в условную запись материалов, можно организовать хранение в БД АСОНИКА-УМ элементного состава и механических свойств материалов (рис. 6.24).

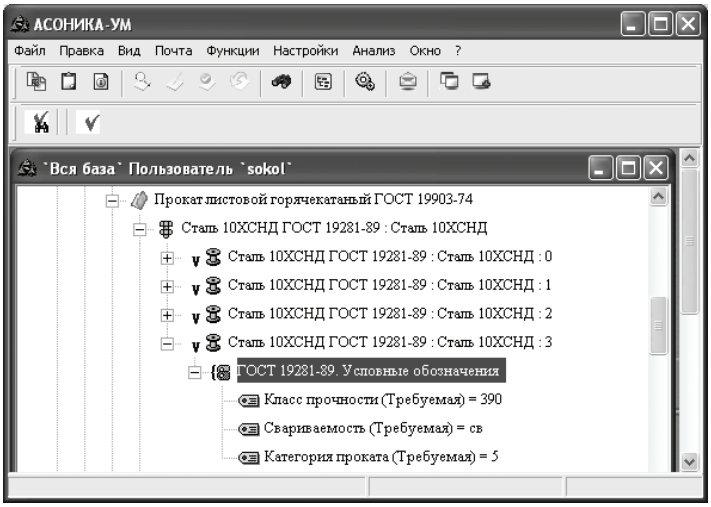



**Рис. 6.23.** Диалоговое окно для создания информационных объектов, соответствующих конкретным конструкционным материалам

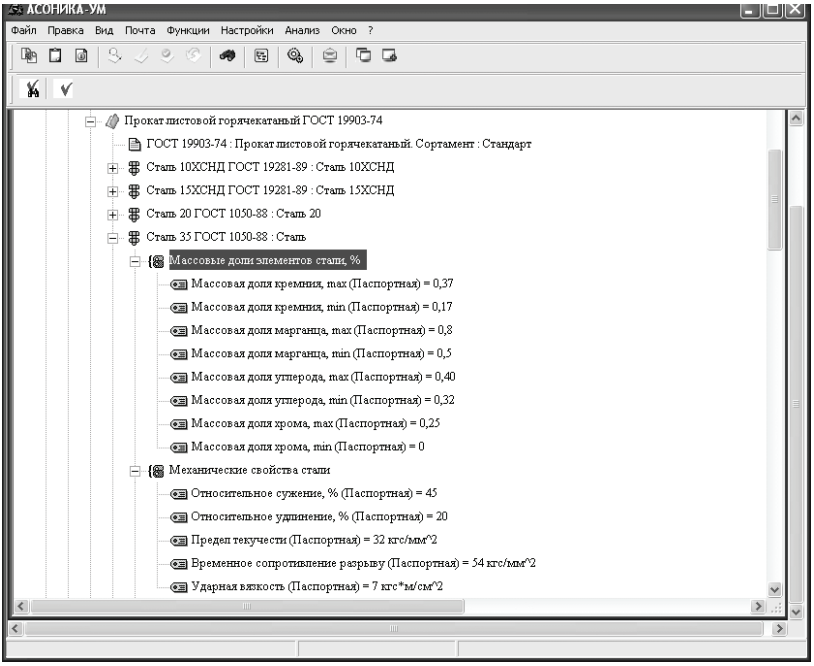



**Рис. 6.24.** Диалоговое окно для хранения в БД АСОНИКА-УМ элементного состава и механических свойств материалов

## Создание объектного представления технологических процессов

В БД АСОНИКА-УМ с изделием могут ассоциироваться несколько вариантов технологических процессов, что позволяет хранить альтернативные технологии изготовления.

Для описания технологических процессов в АСОНИКА-УМ введены объекты «версия технологического процесса», «технологическая операция», «технологический переход».

Для каждого технологического процесса может задаваться заготовка. 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 многих известных видов обработки. Вся информация о каждом виде обработки, собранная в «технологическом справочнике», структурирована согласно стандарту на соответствующий вид обработки.

С каждой технологической операцией, внесенной в справочник, пользователь может ассоциировать оборудование (из организационной структуры предприятия), на котором можно выполнить данную операцию (рис. 6.25).

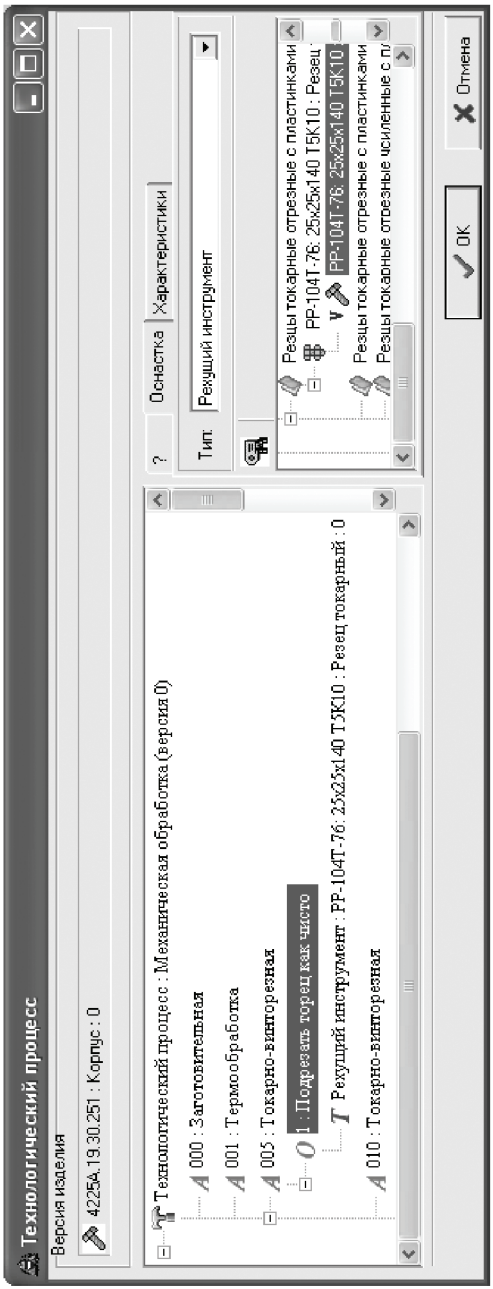



**Рис. 6.25.** Диалоговое окно для создания объектного представления технологических процессов

## 6.4. Функциональные возможности интеграции подсистемы АСОНИКА-УМ с другими подсистемами 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 Solid Works.

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. 6.26).

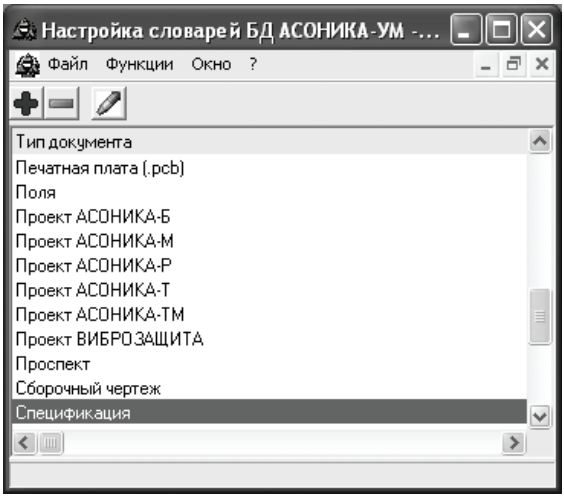



**Рис. 6.26.** Диалоговое окно для сохранения проектов моделирующих подсистем в АСОНИКА-УМ в виде предопределенных типов документов

### Настройка интеграционного функционала подсистемы АСОНИКА-УМ

Интеграция АСОНИКА-УМ с моделирующими подсистемами возможна, если в настройки дополнений АСОНИКА-УМ (рис. 6.27) добавить библиотеку «ASONIKA.dll» (рис. 6.28).

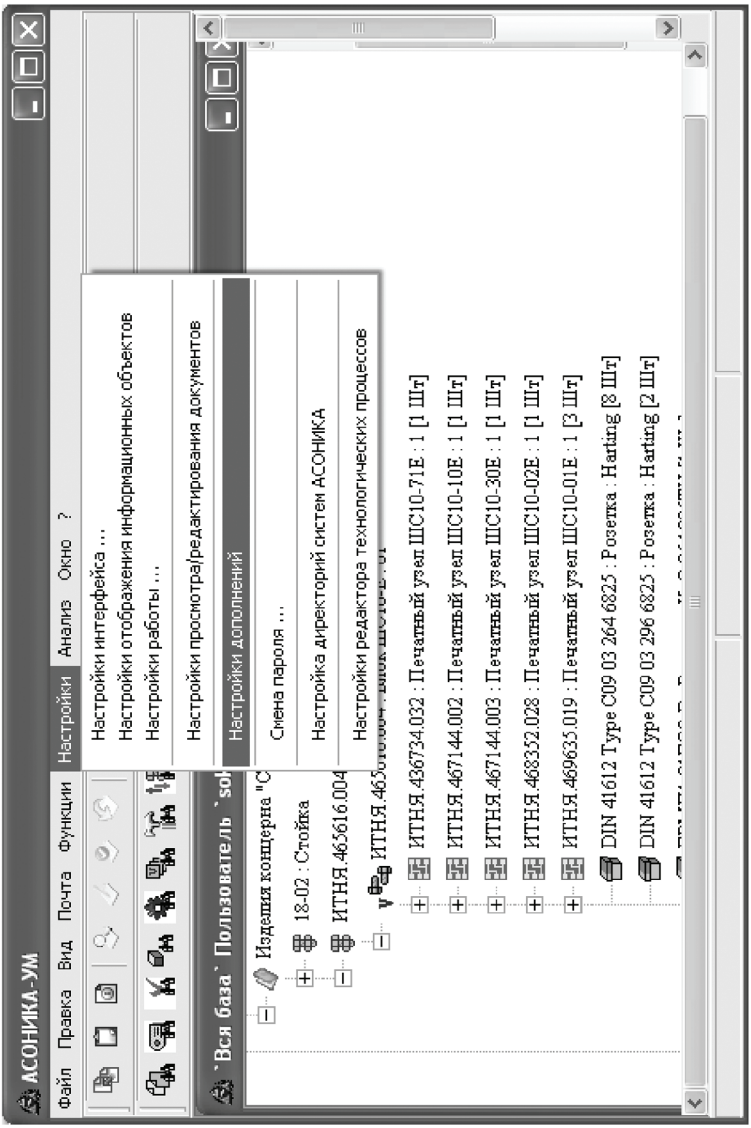



**Рис. 6.27.** Диалоговое окно для настройки дополнений АСОНИКА-УМ

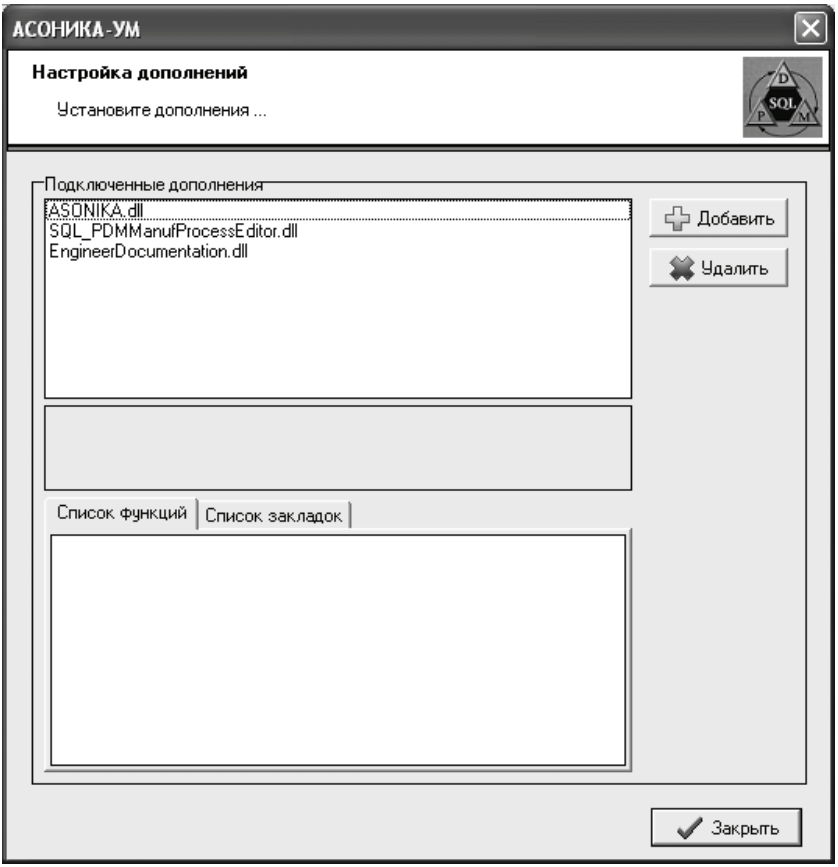



**Рис. 6.28.** Диалоговое окно для добавления библиотеки «ASONIKA.dll»

Указание директорий размещения моделирующих подсистем производится из пункта меню «Настройки > Настройка директорий систем АСОНИКА»» (рис. 6.29).

В данном случае (см. рис. 6.29) директорией размещения для подсистемы АСОНИКА-М является «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».

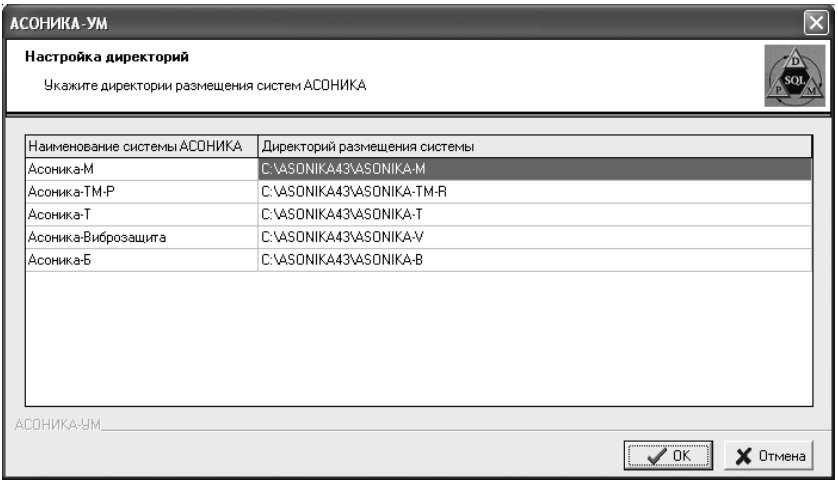



**Рис. 6.29.** Диалоговое окно для указания директорий размещения моделирующих подсистем

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-М

Проект подсистемы АСОНИКА-М состоит из главного файла проекта с расширением «.rea», например «shs10e.rea» и одноименной директории с дополнительными файлами (рис. 6.30).

Командой «Создать связанный документ» (рис. 6.31) проект подсистемы АСОНИКА-М сохраняется в БД АСОНИКА-УМ.

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. 6.32).

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-М» АСОНИКА-УМ архивирует все файлы проекта и прикрепляет его к указанному изделию, причем будет иметь версии и итерации.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования (рис. 6.33) АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-М» с соответствующим проектом (рис. 6.34).

Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

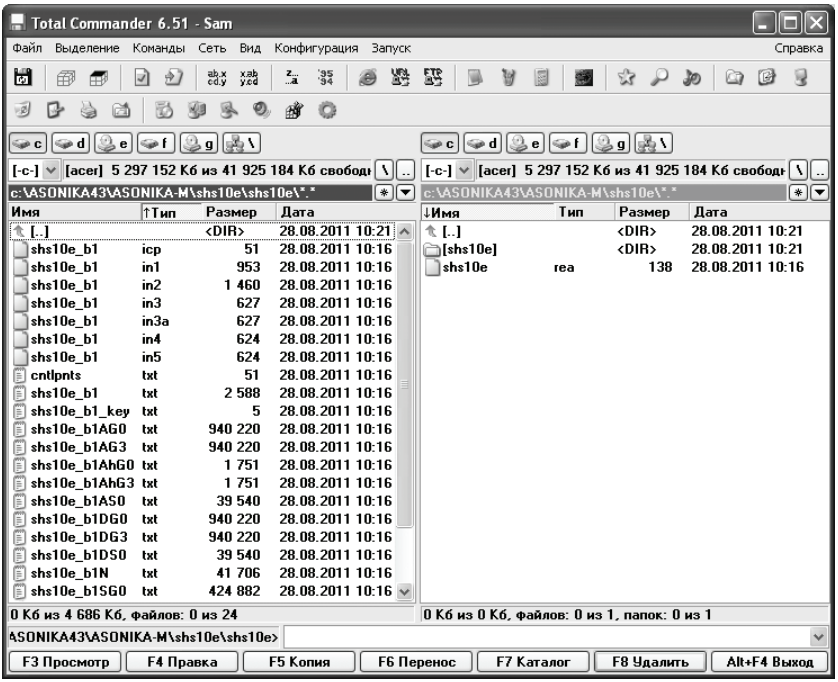



**Рис. 6.30.** Диалоговое окно с проектом подсистемы АСОНИКА-М

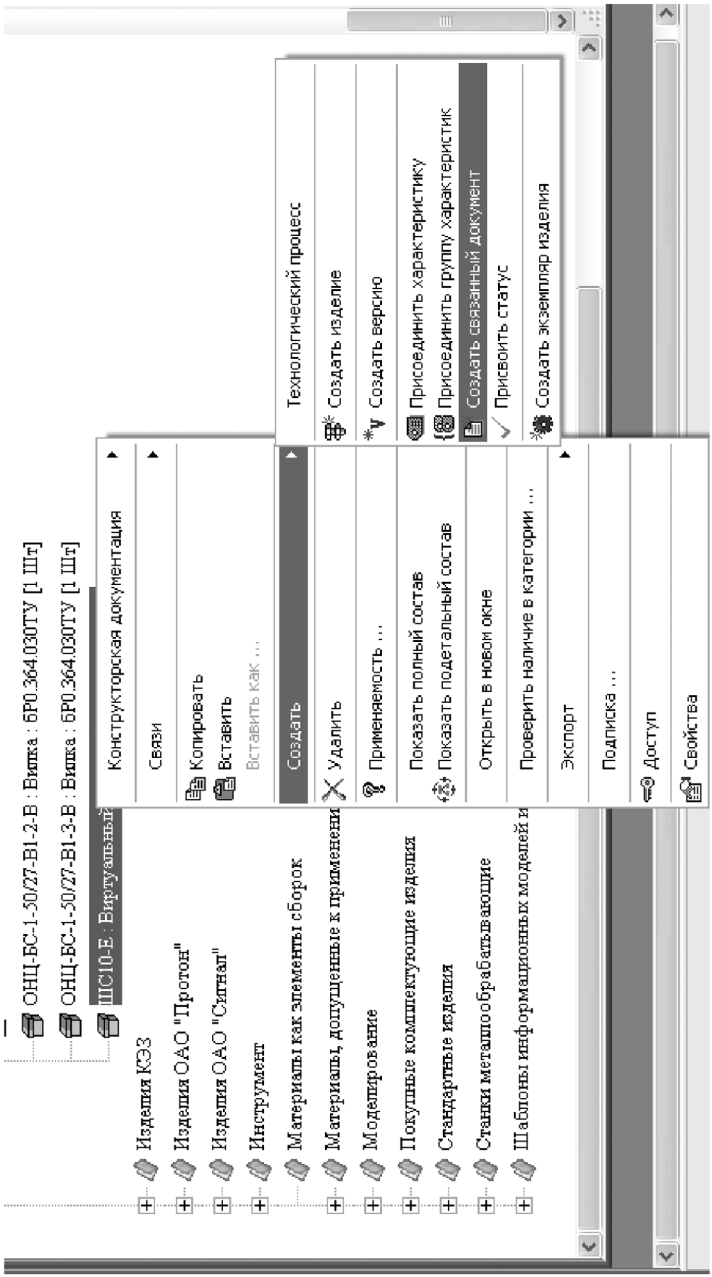



**Рис. 6.31.** Диалоговое окно для сохранения проекта подсистемы АСОНИКА-М в БД АСОНИКА-УМ

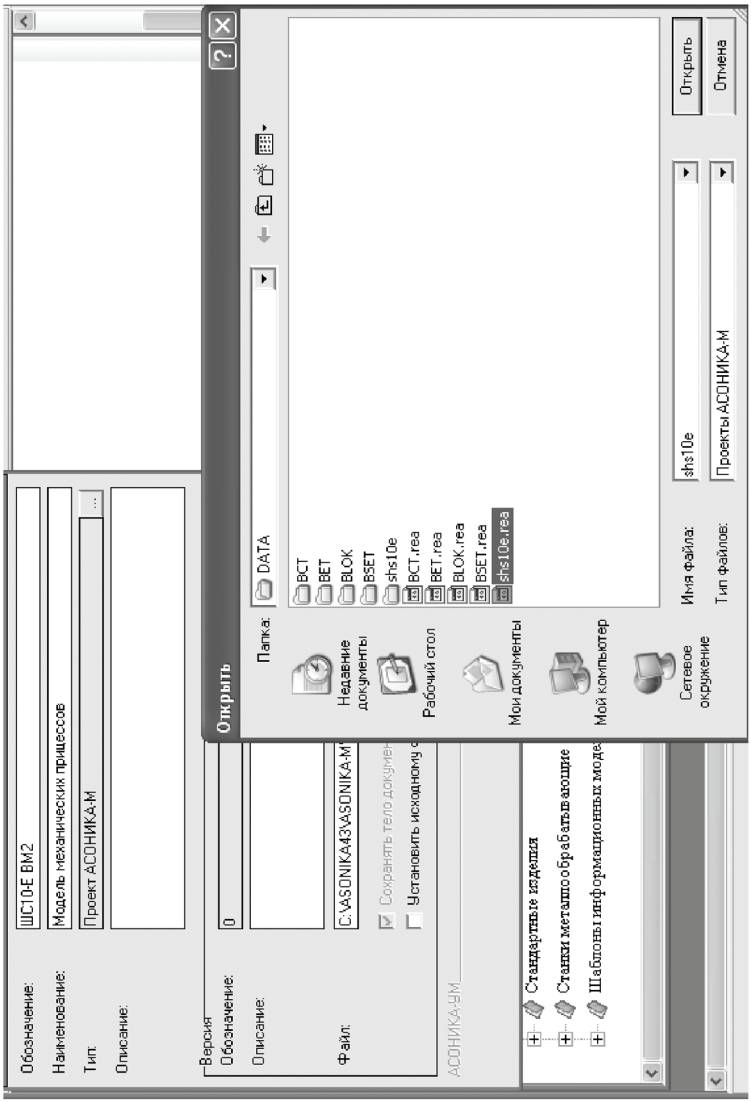



**Рис. 6.32.** Главные файлы проектов подсистемы АСОНИКА-М, предлагаемые для выбора

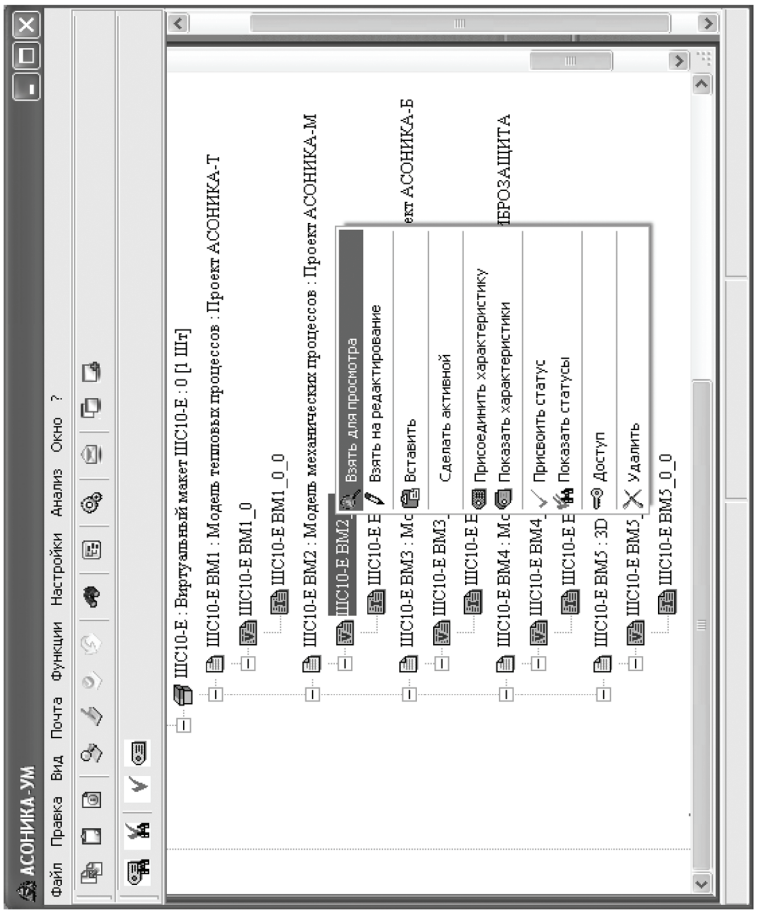



**Рис. 6.33.** Диалоговое окно для выбора команды просмотра / редактирования

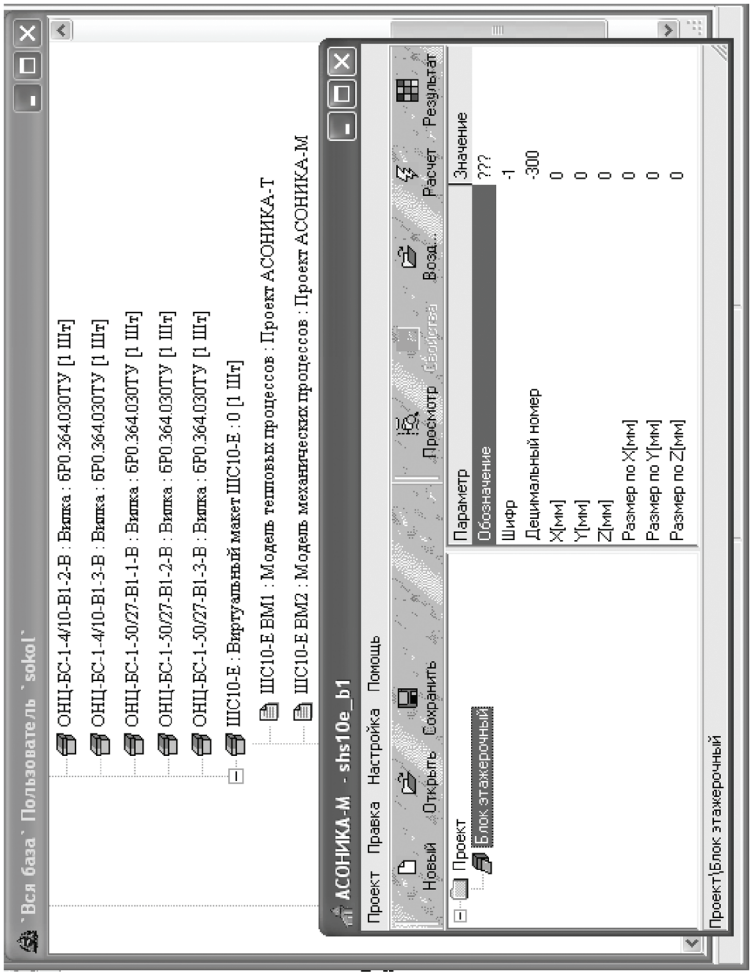



**Рис. 6.34.** Диалоговое окно для запуска подсистемы «АСОНИКА-М» с соответствующим проектом

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-Т

Проект подсистемы АСОНИКА-Т состоит из главного файла проекта с расширением «.dat», например «shs10e.dat», и группы дополнительных файлов (рис. 6.35).

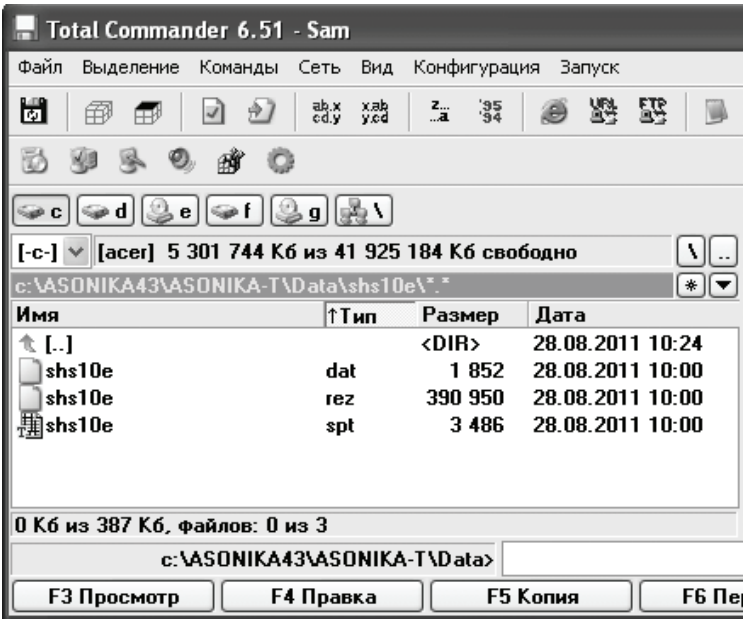



**Рис. 6.35.** Диалоговое окно
с проектом подсистемы АСОНИКА-Т

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-Т» АСОНИКА-УМ архивирует все файлы проекта и прикрепляет его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования (рис. 6.36) АСОНИКА-УМ автоматически выгрузит из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Т» с соответствующим проектом (рис. 6.37).

Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

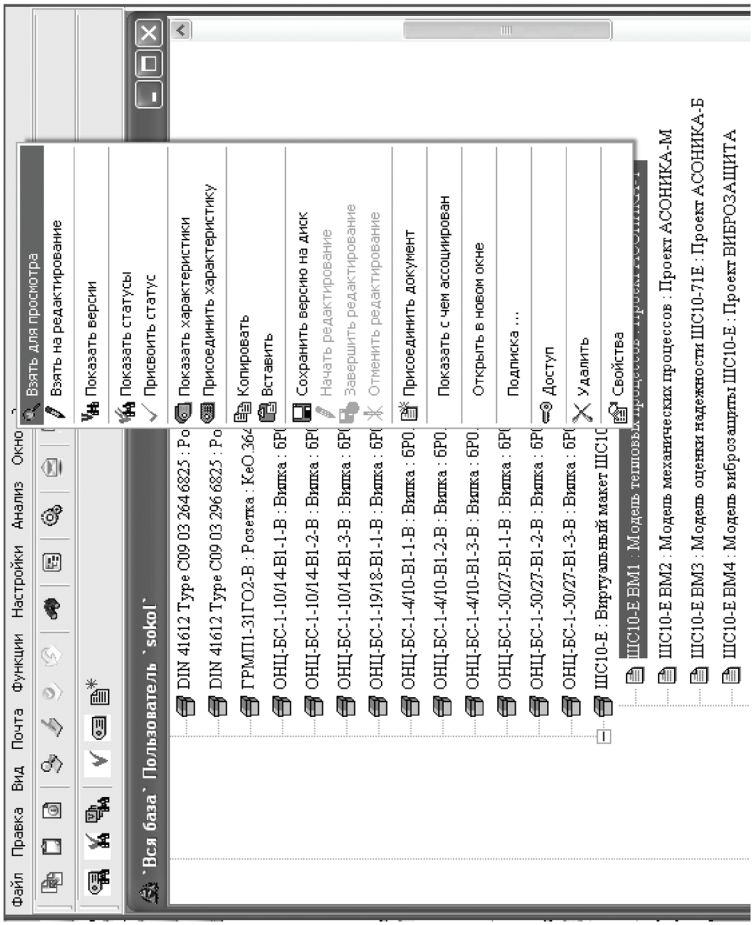



**Рис. 6.36.** Диалоговое окно для выбора команды взятия проекта для просмотра / редактирования

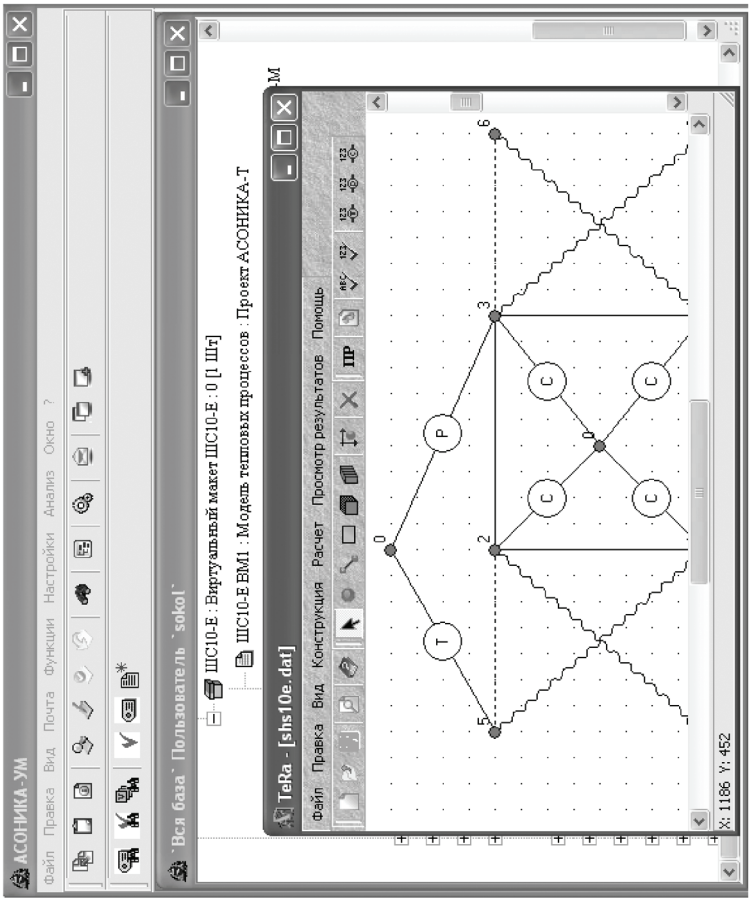



**Рис. 6.37.** Диалоговое окно для запуска подсистемы «АСОНИКА-Т» с соответствующим проектом

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-ТМ

Проект подсистемы АСОНИКА-ТМ состоит из главного файла с расширением «.pca», например «shs10-71e.pca», и одноименной директории с дополнительными файлами (рис. 6.38).

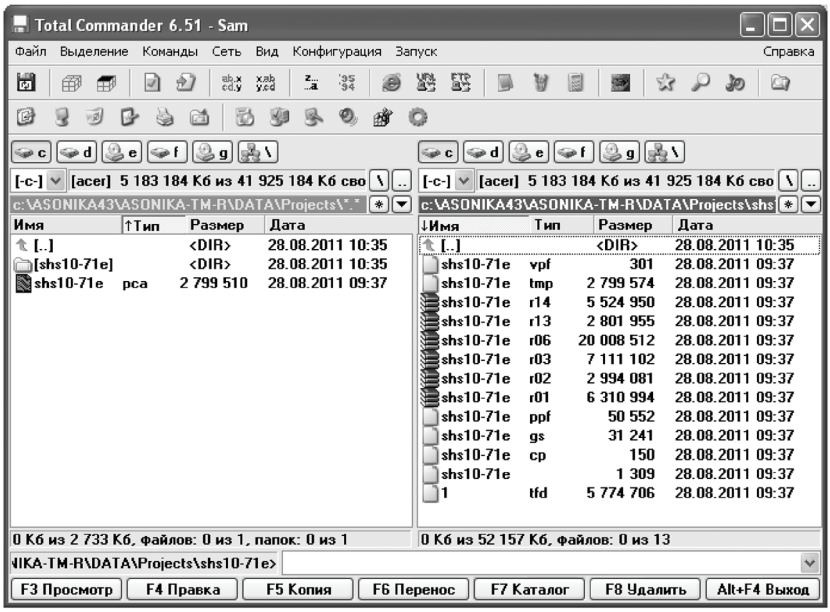



**Рис. 6.38.** Диалоговое окно с проектом подсистемы АСОНИКА-ТМ

При формировании документа типа «Проект АСОНИКА-ТМ» АСОНИКА-УМ архивирует все файлы проекта и прикрепляет его к указанному изделию.

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически извлечет из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-ТМ» с соответствующим проектом (рис. 3.39).

Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

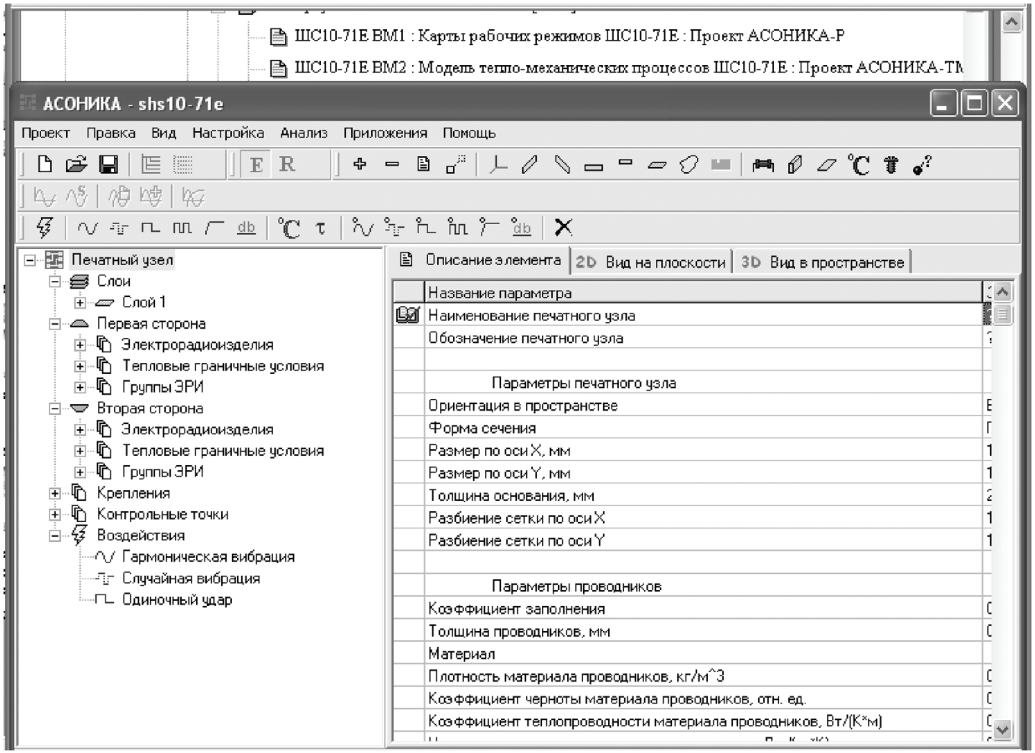



**Рис. 6.39.** Диалоговое окно для запуска подсистемы «АСОНИКА-ТМ» с соответствующим проектом

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-Р

Проект подсистемы АСОНИКА-Р состоит из одного файла проекта с расширением «.aem», например «shs10-71e. aem» (рис. 6.40).

При его формировании АСОНИКА-УМ архивирует файл проекта и прикрепляет его к указанному изделию.




**Рис. 6.40.** Диалоговое окно с проектом подсистемы АСОНИКА-Р

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически извлечет из своей БД файл проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Р» с соответствующим проектом (рис. 6.41).

Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

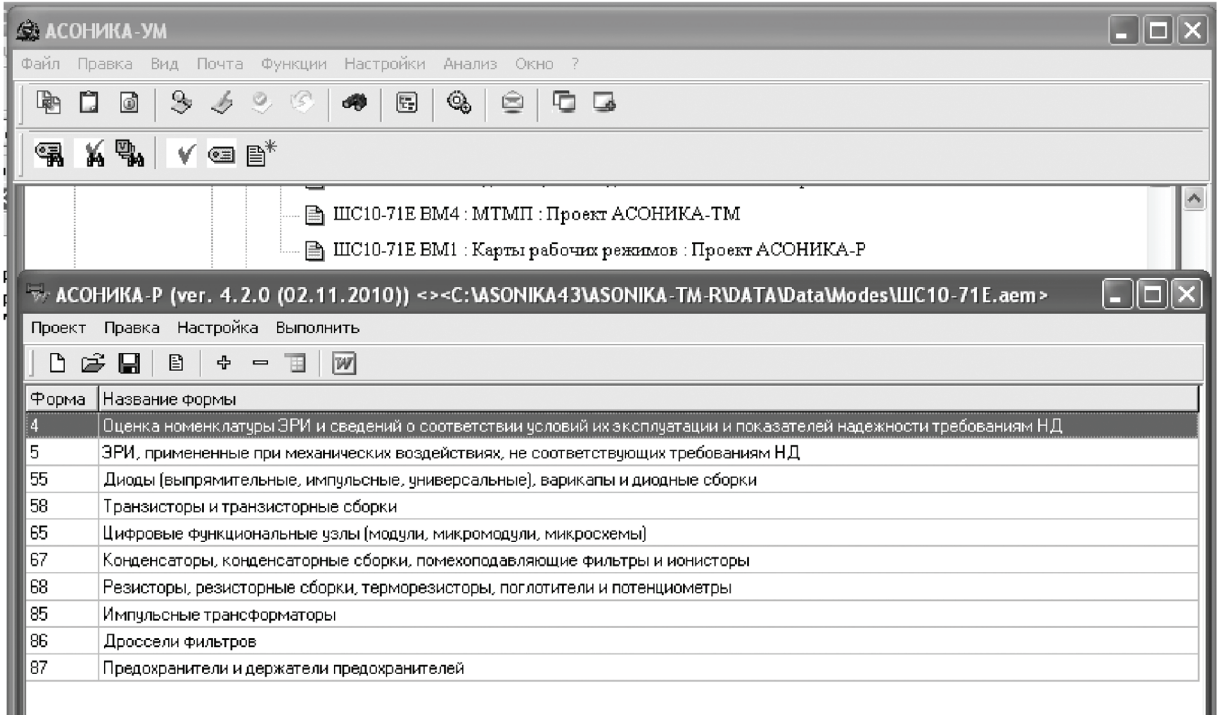



**Рис. 6.41.** Диалоговое окно для запуска подсистемы «АСОНИКА-Р» с соответствующим проектом

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-В

Проект подсистемы АСОНИКА-В состоит из одного файла проекта с расширением «.asvp», например «shs10-e. asvp» (рис. 6.42).

При его формировании АСОНИКА-УМ архивирует файл проекта и прикрепляет его к указанному изделию.

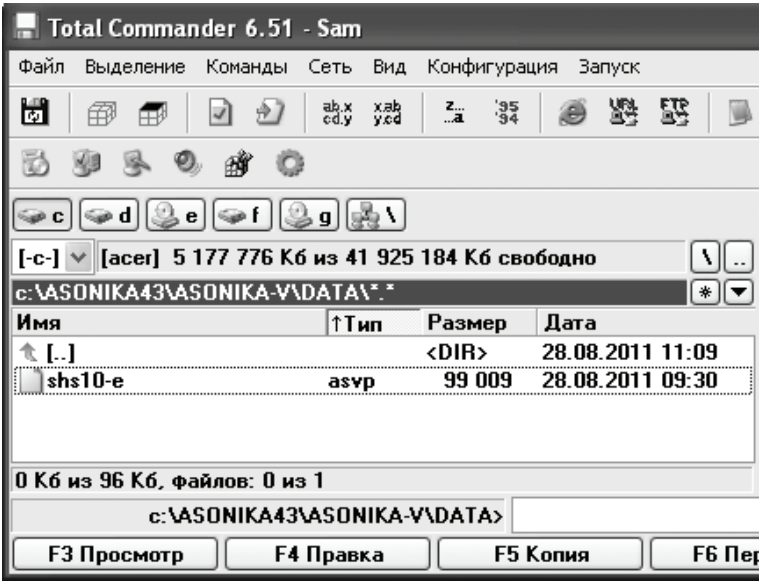



**Рис. 6.42.** Диалоговое окно с проектом подсистемы АСОНИКА-В

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически извлечет из своей БД файл проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-В» с соответствующим проектом (рис. 6.43).

Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

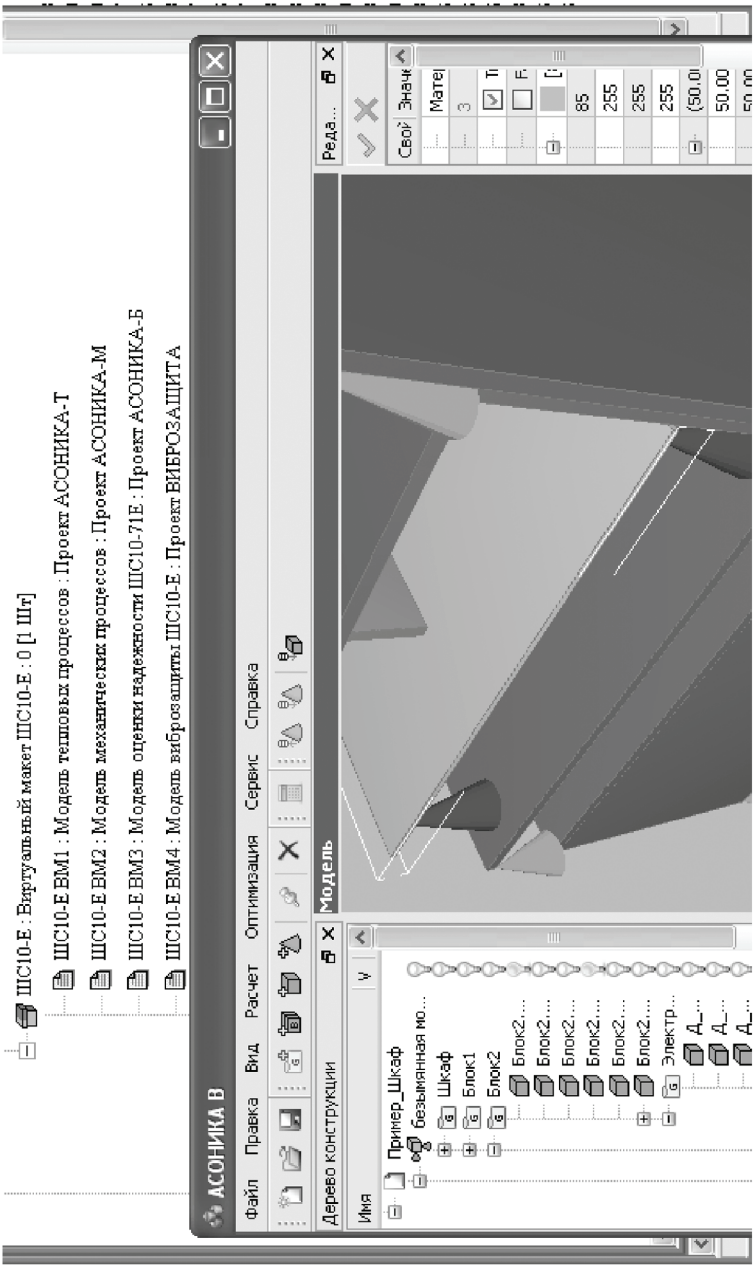



**Рис. 6.43.** Диалоговое окно для запуска подсистемы «АСОНИКА-В» с соответствующим проектом

## Создание и использование информационных объектов моделирующей подсистемы АСОНИКА-Б

Проект подсистемы АСОНИКА-Б состоит из главного файла проекта с расширением «.akp», например «shs10e.akp», и дополнительного файла (рис. 6.44).

При его формировании АСОНИКА-УМ архивирует файлы проекта и прикрепляет его к указанному изделию.

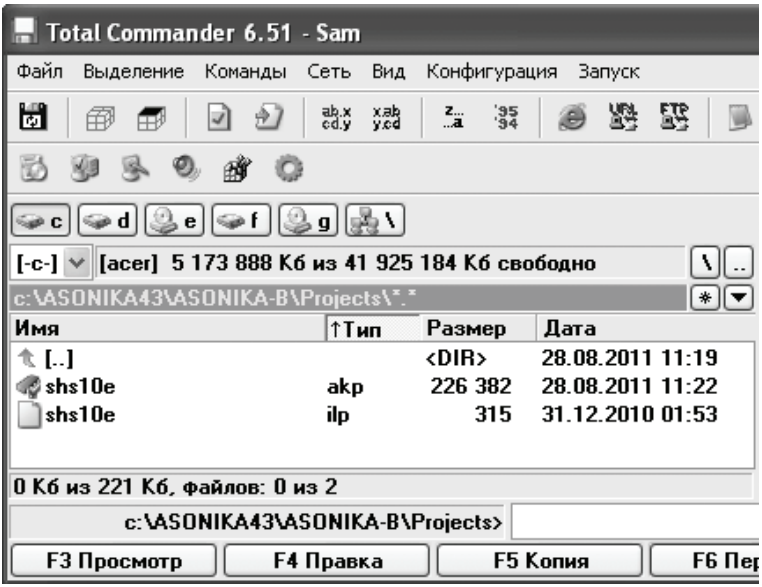



**Рис. 6.44.** Диалоговое окно проекта подсистемы АСОНИКА-Б

После выбора команды взятия проекта для просмотра или редактирования АСОНИКА-УМ автоматически извлечет из своей БД файлы проекта и запустит подсистему «АСОНИКА-Б» с соответствующим проектом (рис. 6.45). Произведенные изменения сохраняются автоматически в обратном порядке.

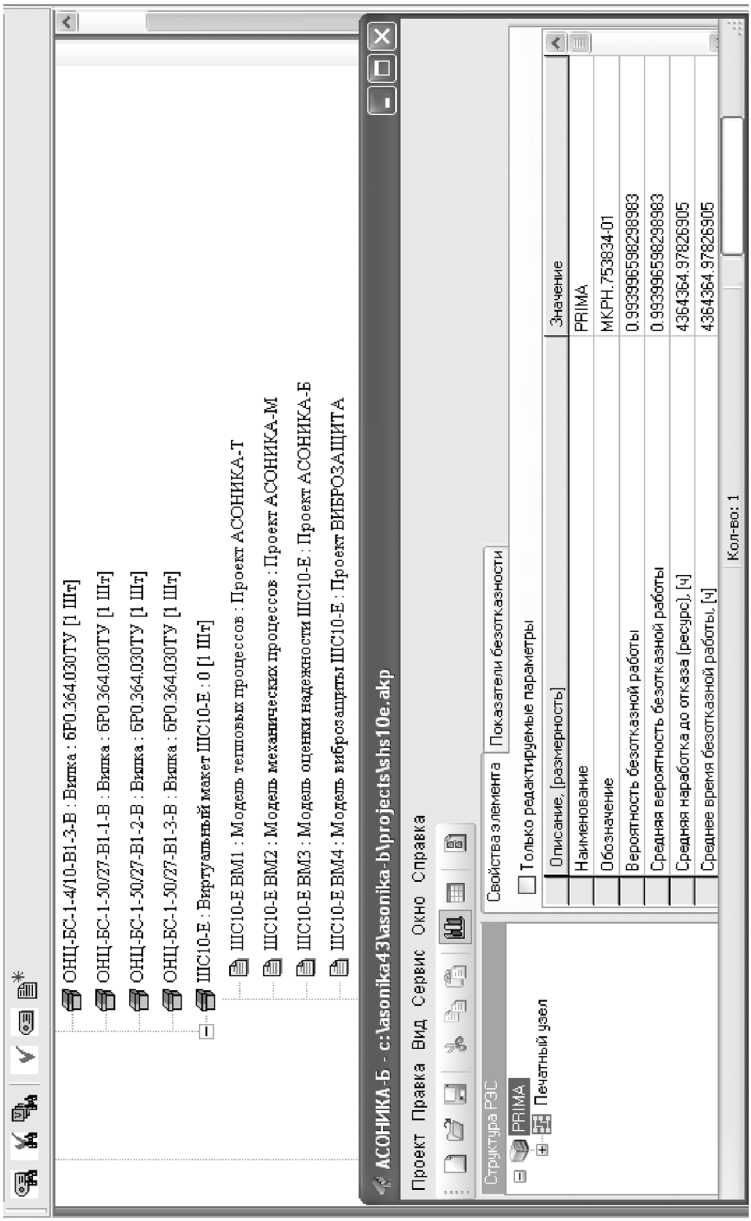



**Рис. 6.45.** Диалоговое окно запуска подсистемы «АСОНИКА-Б» с соответствующим проектом

## 6.5. Функциональные возможности подсистемы управления моделированием РЭС

Во многих организациях, занимающихся разработкой и производством технических систем, таких как системы электропривода, накоплен значительный опыт не только построения их параметрического ряда, но и формирования методики, регламентирующей действия от анализа технического задания до создания конструкций новых модулей и проведения поверочных расчетов. Причем при разработке новых конструкций стремятся максимально учитывать требования унификации. Естественно, что проектирование ведется на компьютерах с применением CAD-систем.

В качестве примера такого проектирования рассмотрим конструкцию силовых полупроводниковых преобразователей – блоков инверторов (БИ) (рис. 6.46), применяемых при построении систем электропривода с электродвигателями переменного тока. За основу автоматизации управления с помощью подобных методик возьмем функционал систем управления моделированием радиоэлектронных средств (СУМ РЭС) (например, АСОНИКА-УМ), расширенный некоторыми дополнительными процедурами.

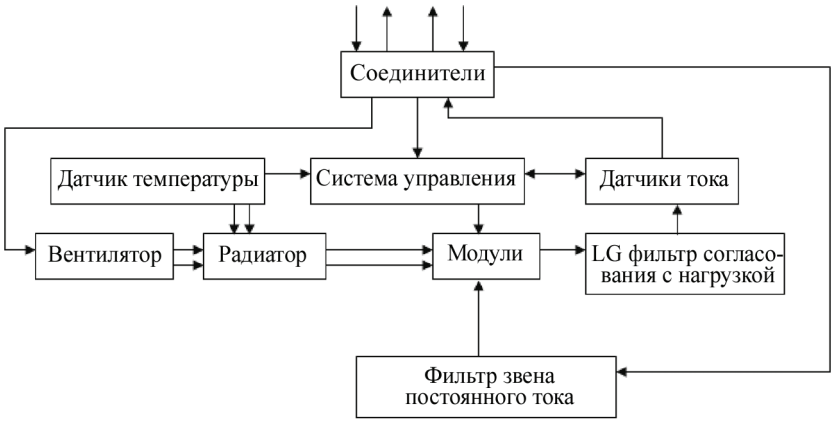
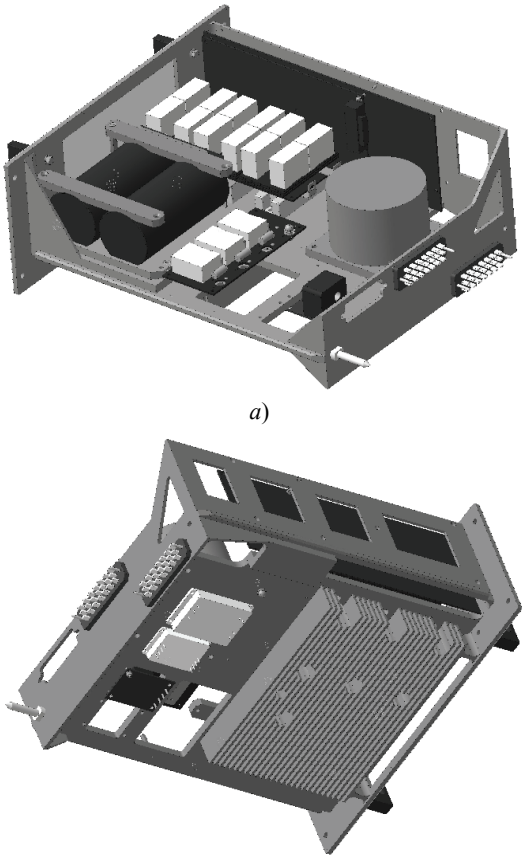



**Рис. 6.46.** Схема блока БИ на основе модулей IGBT

Пример конструктивного исполнения одного из вариантов БИ представлен на рис. 6.47.



*а*)

*б*)

**Рис. 6.47.** Блок инверторов: *а* – вид сверху; *б* – вид снизу

Укрупненно методика предприятия–разработчика БИ регламентирует следующую последовательность 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 электрической принципиальной схемы, обеспечивающие расчетные параметры;

– реализуется конструкция БИ;

– проводится выпуск КД БИ.

Для предлагаемого варианта управления моделированием с помощью методики проектирования технического изделия (ТИ) нужно решить следующие задачи:

– создать базу составов, характеристик и типовых расчетов технических изделий (ТИ), созданных ранее на предприятии;

– разработать процедуру автоматического анализа технического задания (ТЗ) на новый ТИ;

– организовать автоматический поиск в базе данных АСОНИКА-УМ прототипа изделия;

– доработать прототип, использовав для этого процедуру автоматического генерирования заданий для WorkFlow АСОНИКА-УМ.

Переменные состояния технической системы, среди которых, как известно, выделяют входные воздействия, внешние факторы, внутренние параметры и выходные характеристики, можно оформить в АСОНИКА-УМ как групповые характеристики (рис. 6.48).

На рис. 6.49 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 заносятся в документы «Соответствующие групповые характеристики» АСОНИКА-УМ процедурой автоматического анализа ТЗ. Для их выбора из текста ТЗ используются ключевые слова названий соответствующих характеристик.

Реализация автоматического анализа ТЗ потребовала введения в справочник АСОНИКА-УМ новых документов: «Контекст технического объекта» и «Техническое задание», а также «Таблица расчета критерия подобия» для реализации процедуры автоматического поиска прототипа.

На рис. 6.50 приведен фрагмент БД с номенклатурой уже разработанных изделий типа «Блок инверторов» и заготовкой нового изделия с прикрепленными к нему перечисленными документами.

Фрагмент раздела ТЗ на БИ с механическими воздействиями, относящимися к внешним факторам, показан на рис. 6.51.

Анализ ТЗ запускается соответствующей процедурой из контекстного меню документа типа «Техническое задание» (рис. 6.52).

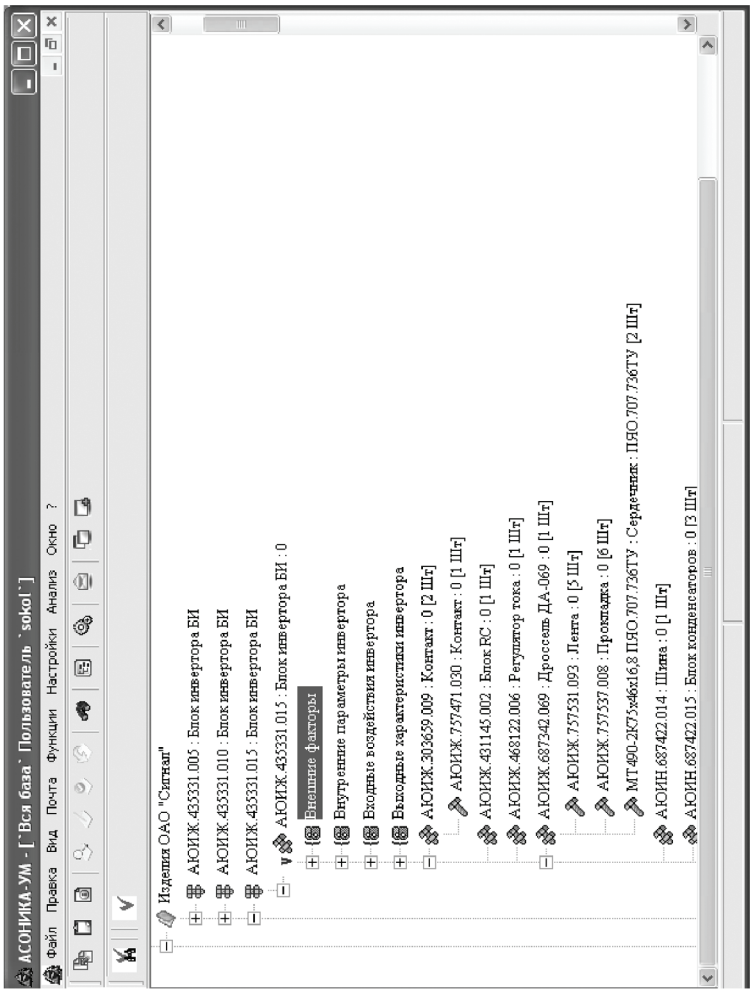



**Рис. 6.48.** Диалоговое окно для групповых характеристик технической системы: входные воздействия, внешние факторы, внутренние параметры, выходные характеристики

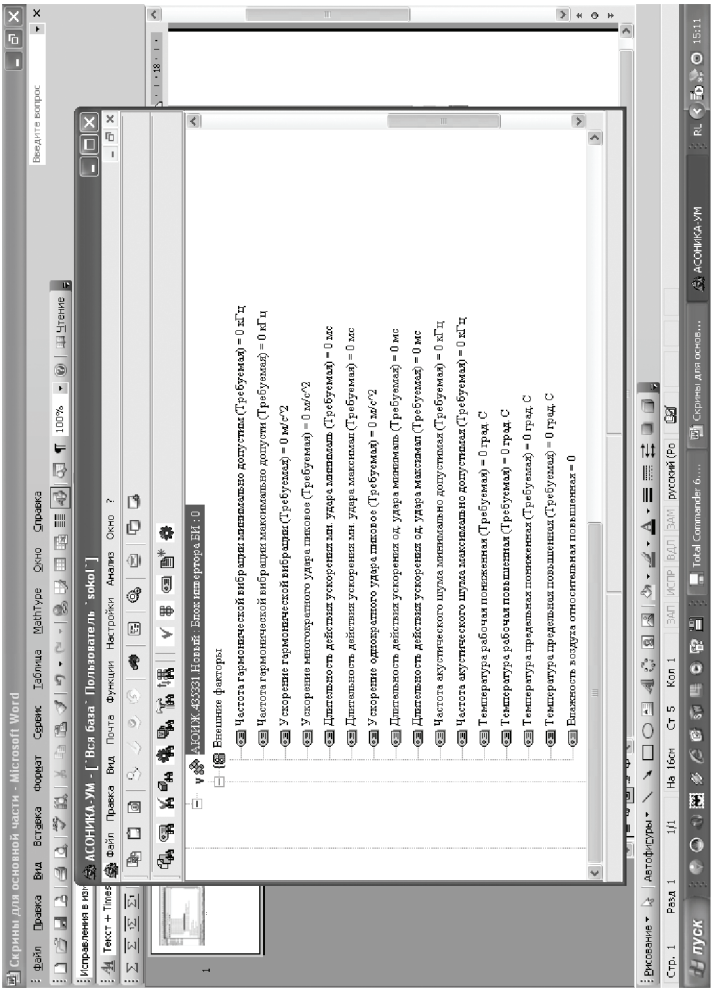



**Рис. 6.49.** Пример состава групповой характеристики «Внешние факторы» в АСОНИКА-УМ

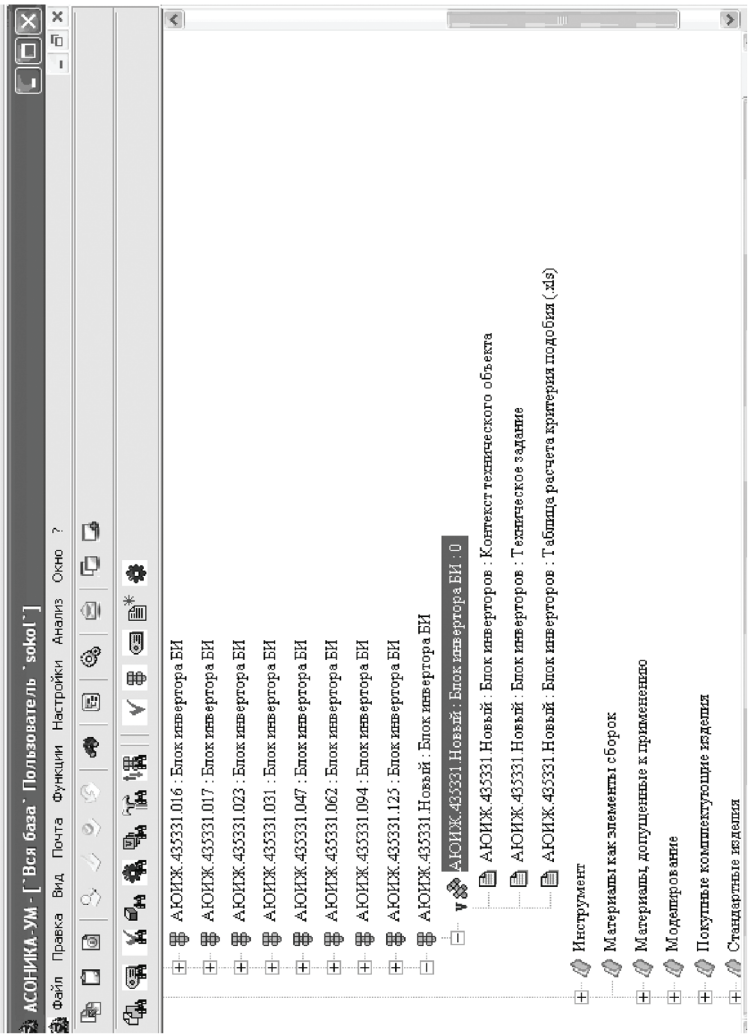



**Рис. 6.50.** Фрагмент БД с новым изделием, подготовленным для поиска прототипа

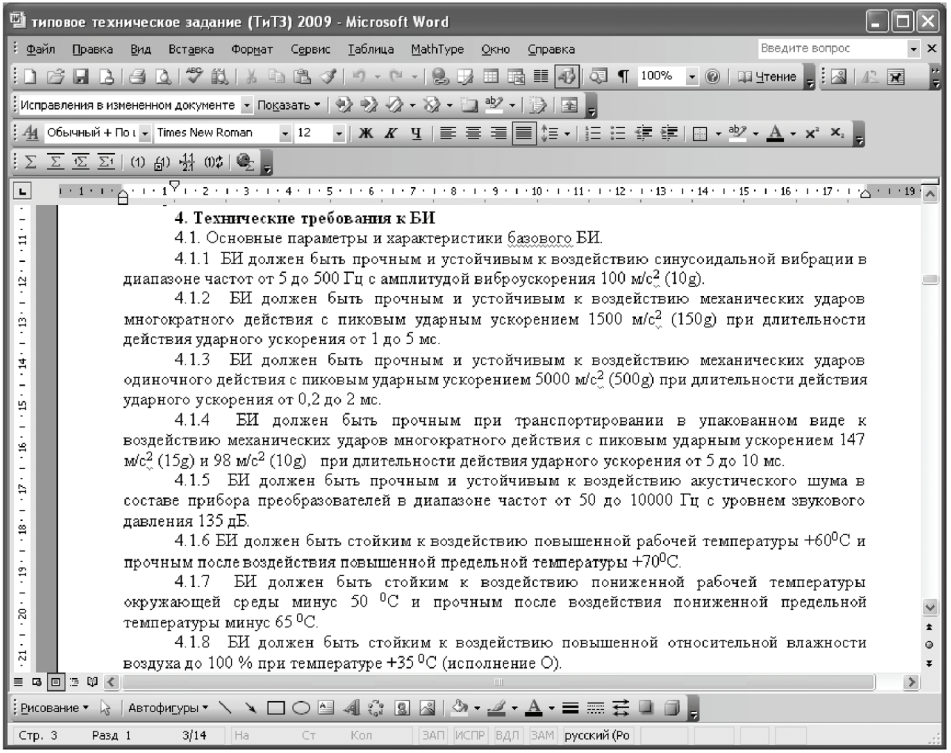



**Рис. 6.51.** Фрагмент раздела ТЗ на БИ с механическими воздействиями



**Рис. 6.52.** Диалоговое окно для запуска процедуры анализа ТЗ

В соответствии с контекстом ТО процедура автоматического разбора содержания ТЗ (рис. 6.53) определяет: тип документа (в данном случае – действительно ТЗ), тип объекта (в данном случае – действительно блок инверторов), перечень разделов ТЗ (регламентирован соответствующим ГОСТ), и из соответствующего раздела выделяет перечень характеристик объекта, их значений и размерность.

Конкретные значения этих переменных должны определяться с помощью CAE-систем, интегрированных с АСОНИКА-УМ. Например, при анализе механических характеристик ПУ делаются выводы о соответствии механических характеристик ЭРИ техническим условиям. Такой анализ можно провести интегрированной с АСОНИКА-УМ CAE-подсистемой АСОНИКА-ТМ. Интеграция АСОНИКА-УМ с CAE-подсистемой АСОНИКА-ТМ позволяет хранить проекты АСОНИКА-ТМ (рис. 6.54) в базе АСОНИКА-УМ, брать их на просмотр и редактировать.

При взятии на редактирование проект автоматически извлекается из базы данных АСОНИКА-УМ, после чего и запускается АСОНИКА-ТМ. Внешний вид окна приложения с загруженным проектом приведен на рис. 6.55.

Один из результатов анализа показан на рис. 6.56.

Аналогично, для оценки показателей надежности узлов БИ можно применить интегрированную с АСОНИКА-УМ CAE-подсистему АСОНИКА-Б, для оценки влияния механических воздействий на механические конструкции – CAE-подсистему АСОНИКА-М (с АСОНИКА-УМ интегрированы все моделирующие подсистемы системы АСОНИКА), для расчета электрических параметров – моделирующую систему PSpice.

Для автоматического поиска прототипа нового изделия, который проводится по критерию подобия его новому ТЗ, используется контекстное меню нового изделия (рис. 6.57). Простейший критерий такого подобия можно описать следующим выражением:

$$Q = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{abs(X_{i,\text{т}} - X_{i,\text{п}})}{X_{i,\text{т}}} + \sum_{j=1}^{m} \frac{abs(Y_{j,\text{т}} - Y_{i,\text{п}})}{Y_{j,\text{т}}}}{n+m},$$

где $X_{i,\text{т}}$, $Y_{j,\text{т}}$ – *i*-е и *j*-е требуемые входное воздействие и выходная характеристика; $X_{i,\text{п}}$, $Y_{j,\text{п}}$ – *i*-е и *j*-е входное воздействие и выходная характеристика прототипа.

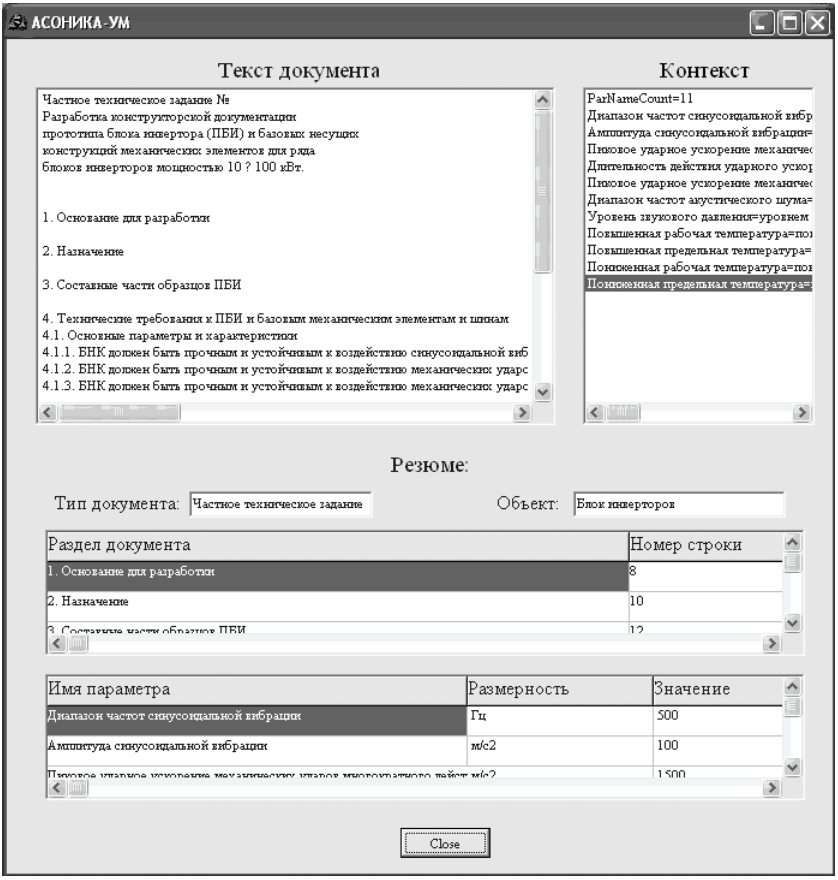



**Рис. 6.53.** Диалоговое окно для автоматического разбора содержания ТЗ

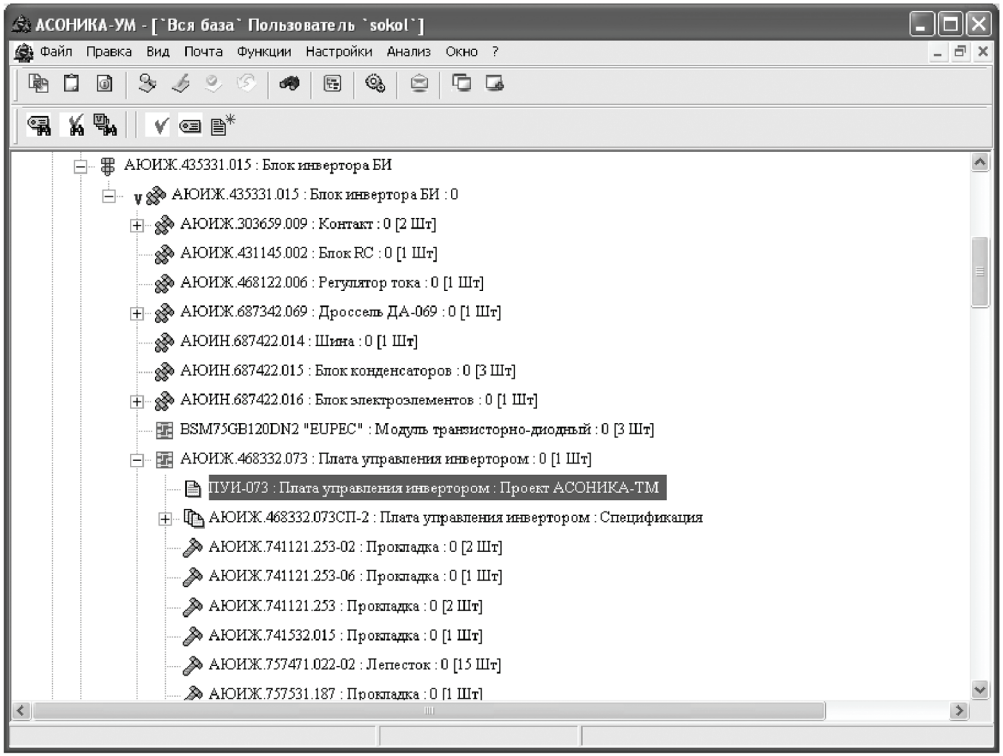



**Рис. 6.54.** Диалоговое окно с прикрепленным проектом ПУИ-073 для определения механических характеристик платы управления инвертором для CAE-подсистемы АСОНИКА-ТМ

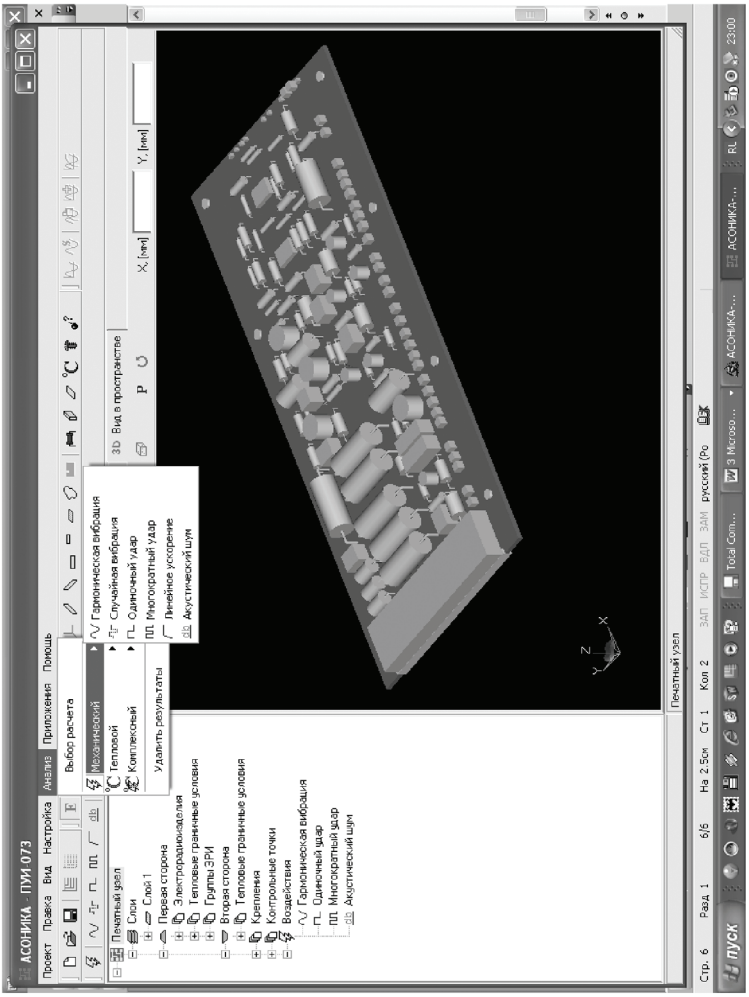



**Рис. 6.55.** Диалоговое окно приложения с загруженным проектом ПУИ-073

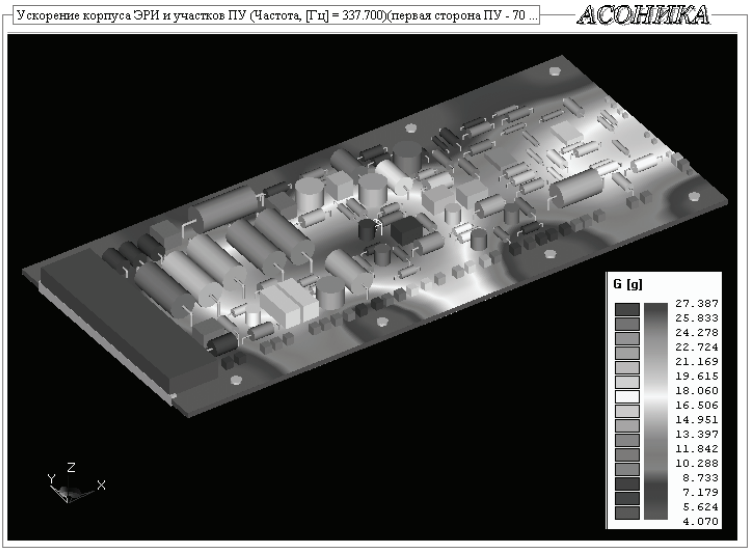



**Рис. 6.56.** Поле виброускорений при воздействии гармонической вибрации на резонансной частоте 337,7 Гц

Для автоматического расчета значений критерия подобия используется программа Excel, с помощью которой заполняется шаблон «Таблица расчета критерия подобия» (рис. 6.58).

Для отобранных изделий такая процедура запускается (рис. 6.59) кнопкой «Рассчитать критерий подобия». Изделие с максимальным критерием подобия автоматически заносится в таблицу «Изделие с максимальным критерием подобия». Пользователь, нажав на кнопку «Скорректировать критерий подобия», сам может откорректировать критерий подобия. Если на основе собственного опыта пользователь хочет выбрать другое изделие, то для этого достаточно подвести курсор к строке нужного изделия во второй таблице и нажать кнопку «Принять». При этом в АСОНИКА-УМ организуется связь между новым изделием и найденным прототипом.

Потоки заданий на доработку прототипа генерируются для WorkFlow АСОНИКА-УМ в зависимости от фактов совпадений (или несовпадений) значений входных воздействий и выходных характеристик прототипа и требуемого по ТЗ образца по заранее подготовленным шаблонам процессов доработки изделия по соответствующему параметру (рис. 6.60).

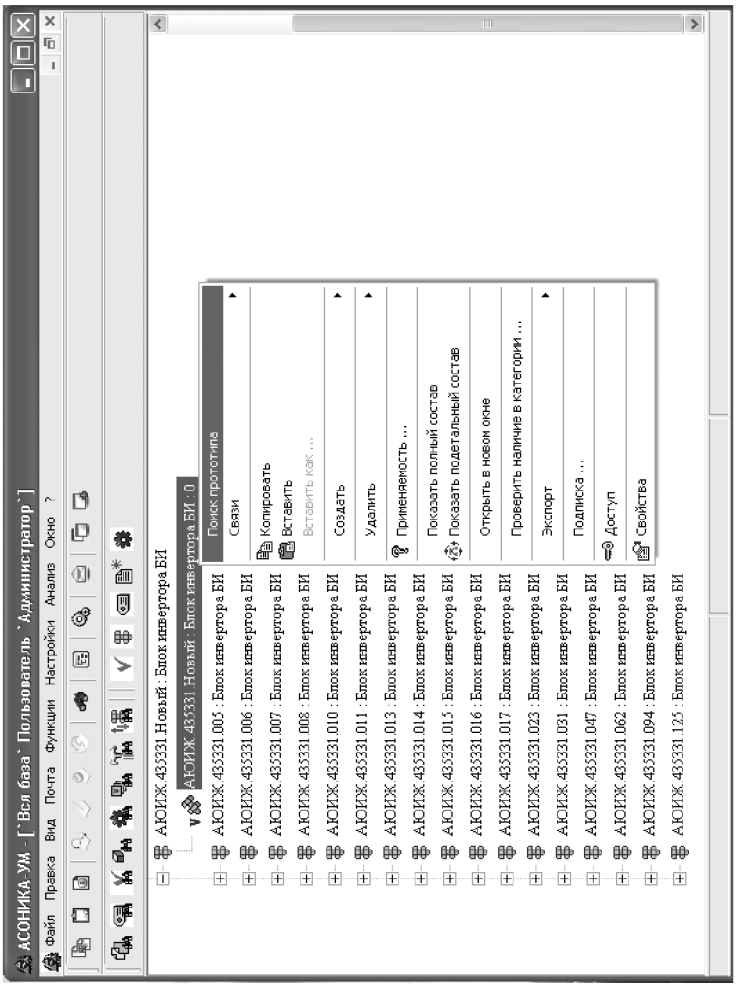



**Рис. 6.57.** Диалоговое окно для запуска процедуры поиска прототипа изделия

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. 6.58.** Пример таблицы расчета критерия подобия

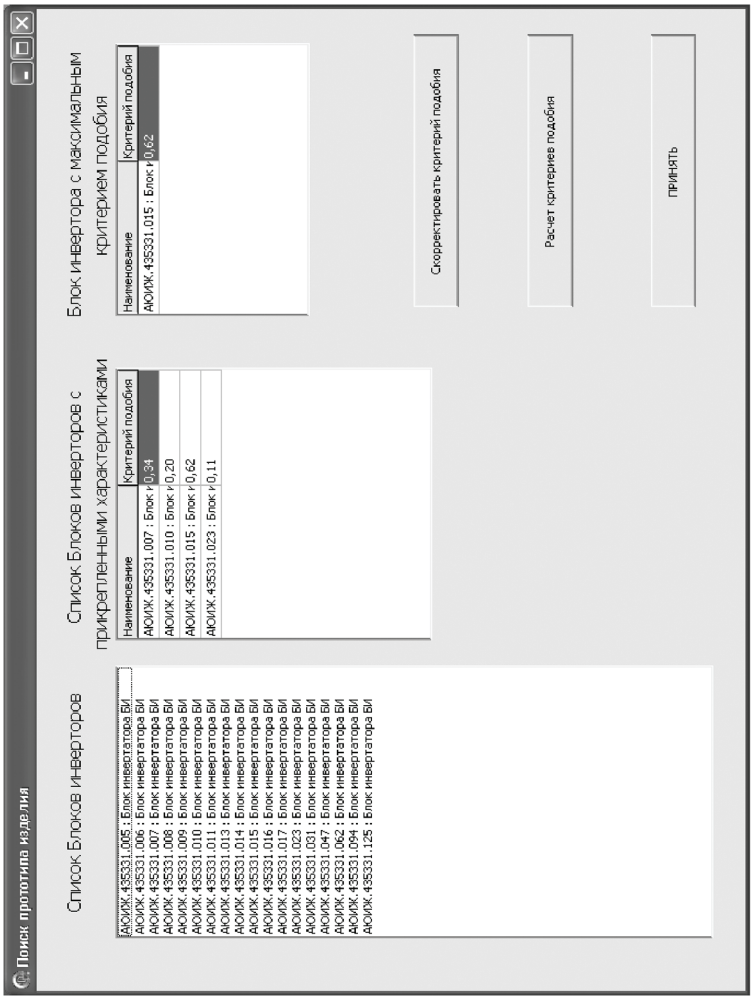



**Рис. 6.59.** Диалоговое окно для процедуры автоматического поиска прототипа

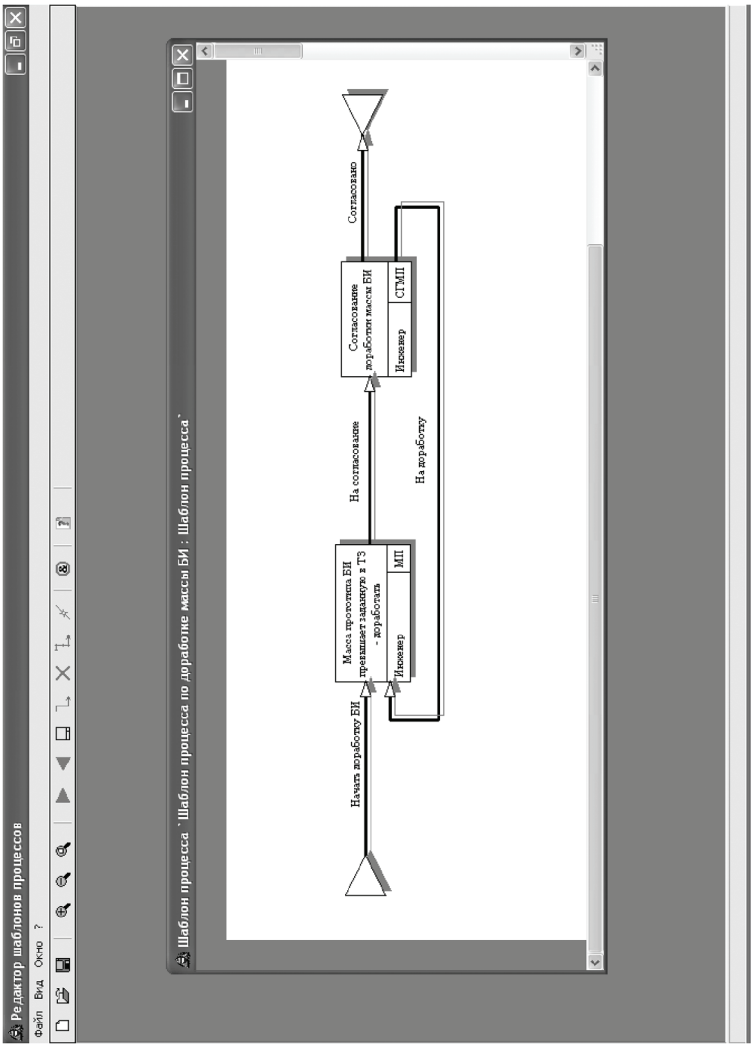



**Рис. 6.60.** Пример простого шаблона процесса по доработке изделия по массе

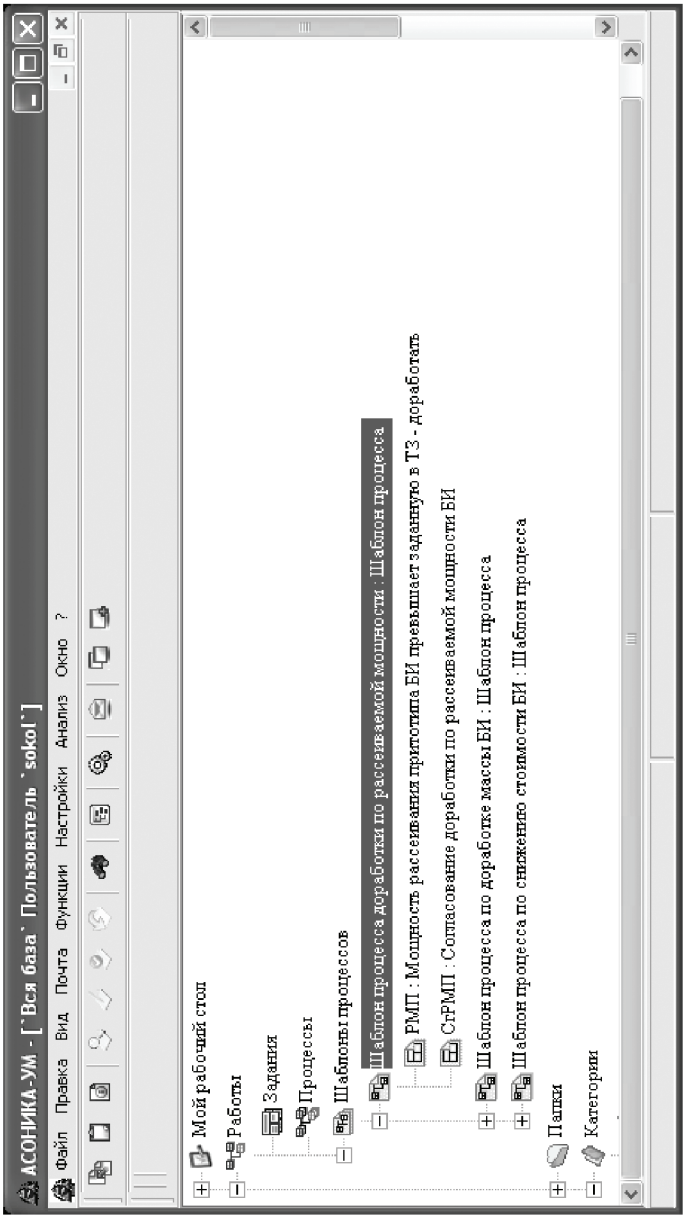



**Рис. 6.61.** Пример отображения шаблонов по доработке ТИ в дереве объектов АСОНИКА-УМ

На рис. 6.61 показан пример отображения шаблонов по доработке ТИ в дереве объектов АСОНИКА-УМ.

При генерации более детальных потоков заданий можно учитывать структуру прототипа (наличие и взаимосвязи в структуре прототипа выделенных модулей). К выделенным модулям в структуре прототипа, как и ко всему изделию, следует прикрепить соответствующие им групповые характеристики. Если прототип содержит в своей структуре выделенные модули, генерация потоков заданий на его доработку может иметь итерационный характер.

Более конкретные указания по доработке самих модулей можно сформировать на основании анализа их чувствительности. Это позволит оценить степень влияния каждого внутреннего параметра на выходные характеристики объекта и при генерации задания на доработку модуля сформировать конкретные рекомендации.

Реализации описанной процедуры управления проектированием 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.

## Заключение

В настоящее время предъявляются все большие требования к разрабатываемой технике, 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 трудно учитывать большое число факторов, которые напрямую связанны между собой и влияют друг на друга. Это, 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 в нестационарном режиме. Появляется возможность ещё до выхода опытного образца избежать возникновения возможных отказов и поломок разрабатываемого изделия, выбрав наилучший вариант конструкции. Тем самым повышается надежность разрабатываемой аппаратуры, а также уменьшаются время и денежные затраты на реализацию проекта, что тоже является немаловажным в растущей конкурентной среде.

Под виртуальным проектом понимается совокупность взаимосвязанной конструкторской, технологической, эксплуатационной и другой 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 с помощью методик, предусмотренных в CALS-технологии, через систему электронного документа оборота (Product Data Manager – управление данными об изделии PDM-система) АСОНИКА-УМ.

Виртуальный макет изделия, как и материальный оригинал, позволяет оценивать соответствия параметров и выходных характеристик изделия требованиям технического задания (ТЗ), стандартам и другой нормативной документации, но в отличие от материального объекта с его помощью можно принимать обоснованные решения для внесения в проект изделия изменений для оптимизации показателей его качества и надежности.

Виртуальный проект (рис. 1) включает в себя:

– 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.

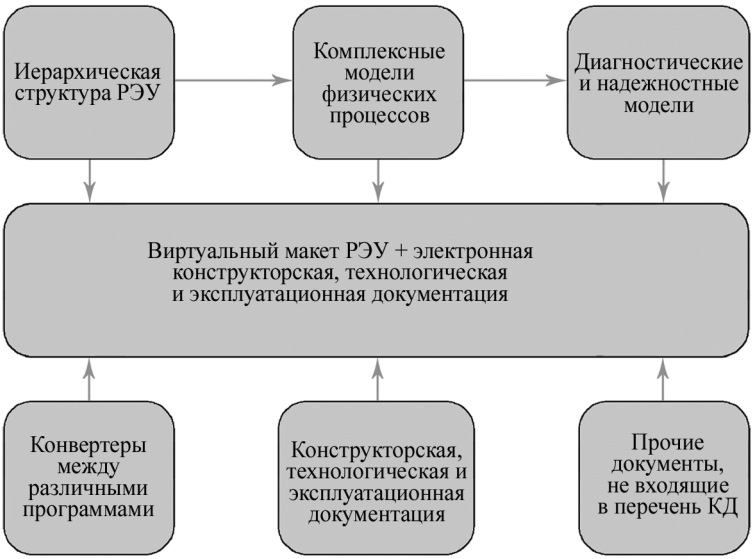



**Рис. 1.** Схема формирования виртуального проекта в процессе проектирования

Особенно требовательна к надежности и качеству аппаратура ракетно-космического назначения. Для примера рассмотрим блок обра-

ботки первичной информации, устанавливаемый в замкнутый невентилируемый отсек ракеты. Задача стоит в оценке надежности блока. Рассмотрим на его примере этапы виртуального моделирования.

После сбора разработчиками всей необходимой информации на первом этапе моделирования проводится расчет электрических параметров. Для этого можно воспользоваться системами автоматизированного проектирования (САПР), такими как Mentor Graphics, ArCAD, DesignLab и др. На данном этапе моделирования необходимо получить следующие данные:

– токи и напряжения на каждом электрорадиоизделии (ЭРИ);

– коэффициенты нагрузки ЭРИ;

– мощности тепловыделений ЭРИ.

На втором этапе необходимо провести тепловой расчет блока. Для этого используется подсистема моделирования тепловых процессов радиоэлектронных устройств АСОНИКА-Т.

При моделировании строится топологическая модель теплового процесса (МТП) конструкции (рис. 2). При этом необходимо сделать некоторые допущения:

– мощность тепловыделения ПУ моделируется источником постоянной мощности;

– окружающая среда моделируется источником постоянной температуры;

– режим нагрева – стационарный (постоянный);

– каждый печатный узел (ПУ) изотермичен.

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 допустимой температуры по техническим условиям (ТУ).

Для определения стойкости блока к механическим воздействиям переходим к третьему этапу, на котором эти воздействия моделируются 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 (рис. 3) построена на основе этажерочного блока. Полученные данные используются при последующем, более точном моделировании печатных узлов блока.

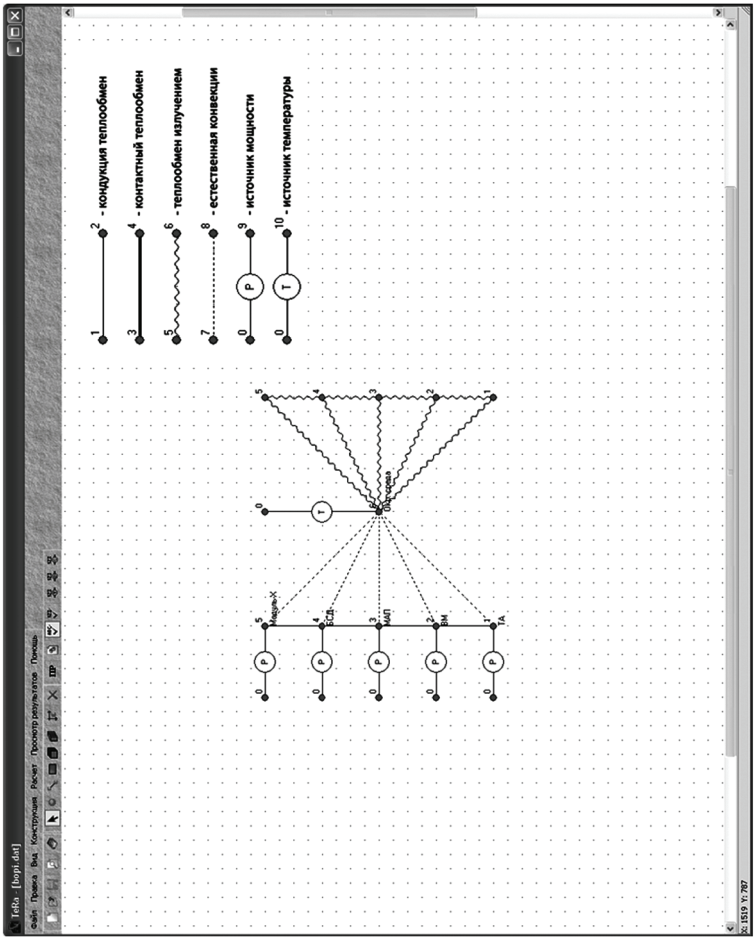



**Рис. 2.** Модель тепловых процессов блока в подсистеме АСОНИКА-Т

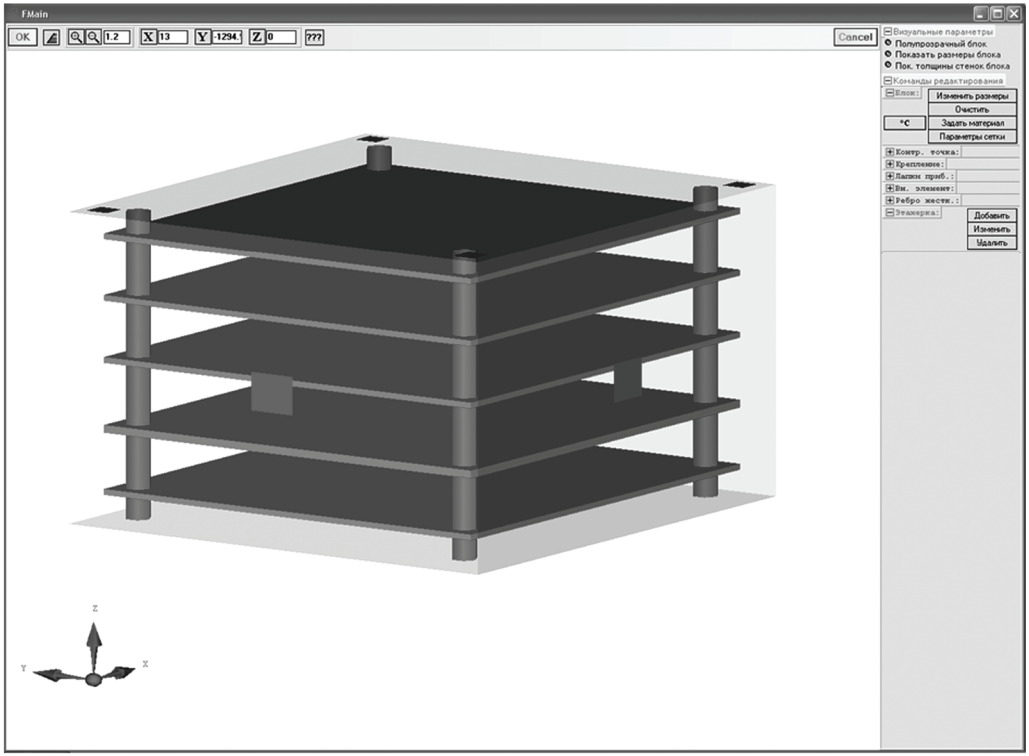
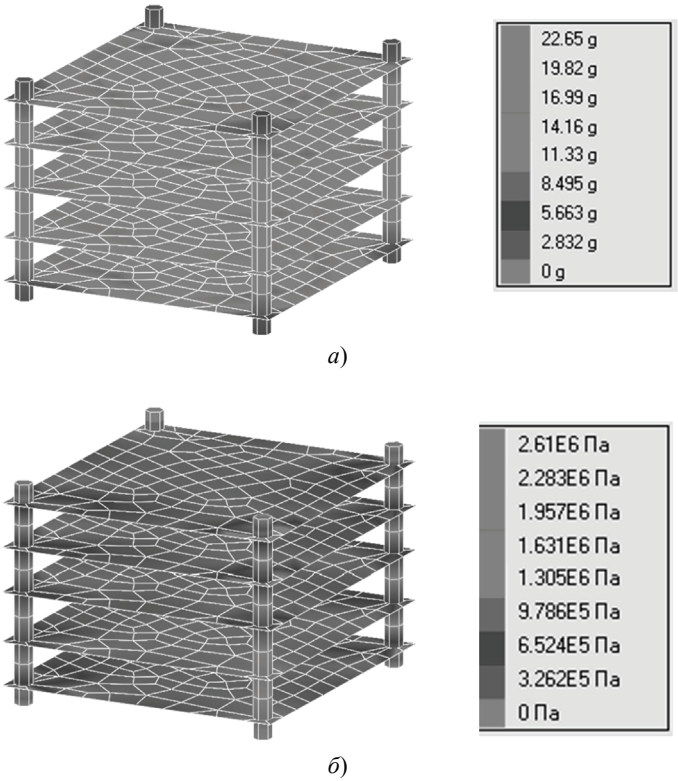



**Рис. 3.** Модель механических процессов блока в подсистеме АСОНИКА-М

Расчет собственных частот и форм колебаний проводился для проверки соблюдения требований к частотным характеристикам, а также для 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).

В результате расчета воздействие гармонической вибрации были выявлены поля напряжений и ускорений на частоте 230 Гц (рис. 4), а также построена зависимость значений ускорений в наиболее на-




*а*)

*б*)

**Рис. 4.** Поля ускорений (*а*) и напряжений (*б*)
при воздействии гармонической вибрации на частоте 230 Гц

груженных узлах модели от значений частоты в диапазоне от 205 до 255 Гц (рис. 5). Кроме того, оценены воздействие случайной вибрации, однократное и многократное ударное воздействие, воздействие линейного ускорения и акустического шума в соответствии с требованиями ТЗ. Анализ результатов механического расчета показал, что перегрузки узлов блока в результате механических воздействий отсутствуют, поскольку полученные значения напряжений не превышают предельно допустимых по ТУ.

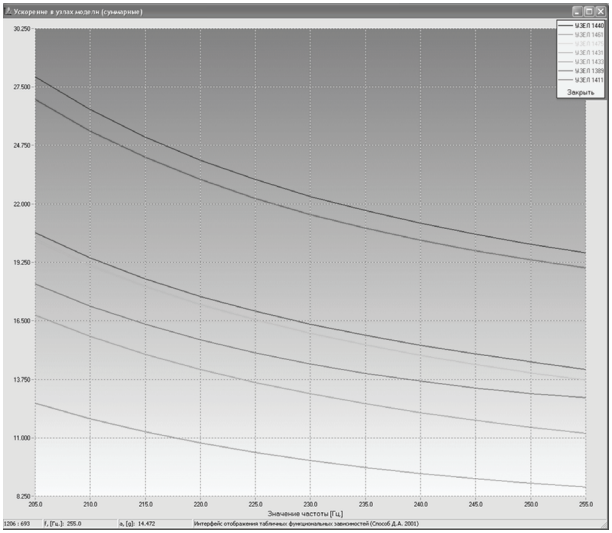



**Рис. 5.** Зависимость значений ускорений в узлах модели от значений частоты

Окончательный вывод о работоспособности блока в условиях механических воздействий возможен только после моделирования печатных узлов. Поэтому на следующем этапе виртуального проектирования для моделирования печатных узлов блока подсистема расчета тепломеханических процессов в печатных узлах АСОНИКА-ТМ. На основании анализа механических и тепловых характеристик ПУ делаются выводы о соответствии тепловых и механических характеристик техническим заданиям на ЭРИ.

Исходными данными для расчета являются чертежи, выполненные в системе P-CAD, 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, занесённые в специализированную базу данных.

В результате для блока определены 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 нагрузки; электрические параметры.

Эти данные используются для тепломеханического моделирования и автоматизированного заполнения карт рабочих режимов в подсистемах АСОНИКА-ТМ и АСОНИКА-Р. Созданная база данных позволяет при конвертации печатных узлов из P-CAD автоматически вносить параметры ЭРИ.

Тепловые и механические процессы каждого ПУ, входящего в блок, моделируются конвертированием размеров и координат ЭРИ из системы размещения и трассировки печатных плат P-CAD в подсистему тепломеханического моделирования ПУ АСОНИКА-ТМ (рис. 6). С помощью конвертера, связывающего P-CAD 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 к длительности жизненного цикла и стойкости к внешним воздействиям выполняются. Далее с помощью подсистемы АСОНИКА-Р заполняются и выпускаются карты рабочих режимов ЭРИ (КРР). Полученные результаты моделирования печатных узлов блока передаются в подсистему расчета надежности АСОНИКА-Б.

И на последнем этапе проводится расчет показателей надежности в подсистеме АСОНИКА-Б, исходными данными для которого служат выходные данные, полученные в предыдущих расчетах.

Согласно требованиям ТЗ оценивается надежность модулей, входящих в состав блока, а также интенсивность отказов; среднее время безотказной работы; вероятность безотказной работы.

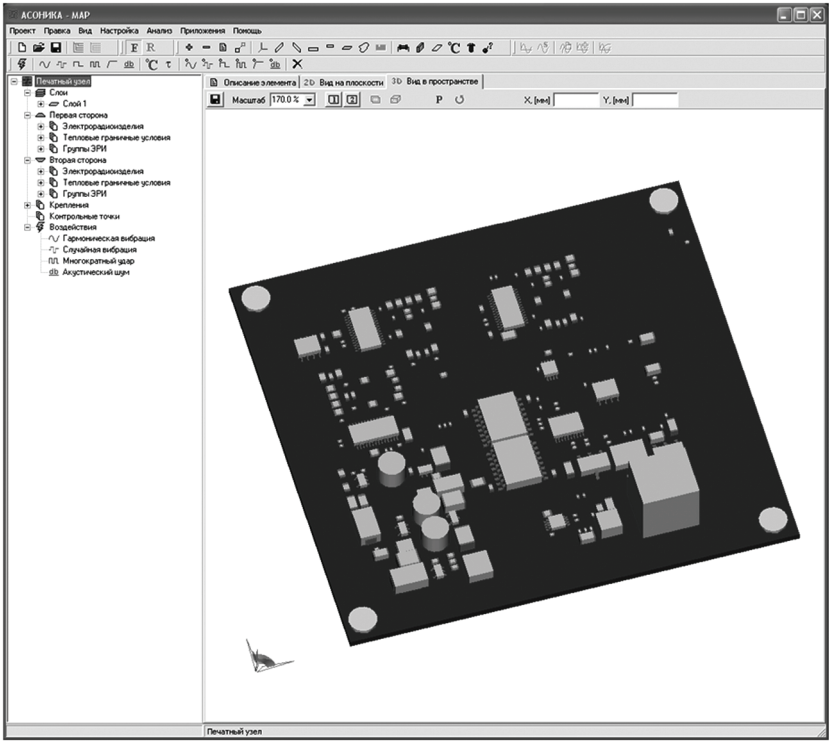



**Рис. 6.** Модель тепломеханических процессов ПУ в АСОНИКА-ТМ

Результаты расчета показателей надежности блока оказались удовлетворительными при всех условиях.

В итоге проведенного моделирования формируется отчет, содержащий описание блока и проделанных работ с результатами виртуальных испытаний и сформированными картами рабочих режимов. На основании заключения выпускается опытный образец блока обработки первичной информации, который проходит все натурные испытания.

Практика показала, что виртуальное проектирование на базе программного комплекса «АСОНИКА» позволяет снизить сроки подготовки разрабатываемого РЭУ к производству, сократить число изменений вносимых в РЭС и повысить их надежность.

Разработанный виртуальный проект обеспечивает взаимосвязь физических процессов при их комплексном моделировании, реали-

зацию единого информационного пространства, поддержку последующих этапов жизненного цикла изделия (производство, эксплуатацию). Существует возможность в любой момент просмотреть, отредактировать, внести новый нужный документ в данный проект, что значительно упрощает последующие модификации.

Система АСОНИКА широко используется для проведения консалтинга, позволяя давать квалифицированное заключение о соответствии электрических, тепловых, механических, электромагнитных и других характеристик аппаратуры требуемым.

## Литература

1. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Т. 1 / под ред. *Ю.Н. Кофанова, Н.В. Малютина, А.С. Шалумова.* М.: Энергоатомиздат. 2007.

2. *Русановский С.А., Шалумов А.С.* Математическое и программное обеспечение человеко-машинных интерфейсов для моделирования бортовых приборов и систем // Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий. М.: РАН, 2007.

3. *Титенко Е.А., Шалумов А.С.* Информационные системы и технологии. Кн. 2 / под ред. *Я.А. Максимова*. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011.

4. *Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Варицев К.Б.* и др. Моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях радиоэлектронной аппаратуры с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ / под ред. *Ю.Н. Кофанова*. М.: МГИЭМ. 1999.

5. *Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Журавский В.Г., Гольдин В.В.* Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях. М.: Радио и связь. 2000.

6. *Кофанов Ю.Н., Малютин Н.В., Сарафанов А.В., Трегубов С.И., Шалумов А.С. А.С.* Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов электронной аппаратуры. М.: Радио и связь. 2000.

7. *Кофанов Ю.Н., Новиков Е.С., Шалумов А.С.* Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь. 2000.

8. *Шалумов А.С.* Моделирование механических процессов в конструкциях РЭС на основе МКР и аналитических методов. Ковров: Ковровская государственная технологическая академия. 2001.

9. *Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н.* Введение в CALS-технологии. Ковров: Ковровская государственная технологическая академия. 2003.

10. *Шалумов А.С., Орлов А.В.* Математические модели и методы анализа тепловых процессов. Ковров: Ковровская государственная технологическая академия. 2003.

11. *Шалумов А.С., Манохин А.И., Шалумова Н.А.* Моделирование тепловых процессов в технических объектах с помощью автома-

тизированной подсистемы АСОНИКА-Т. Ковров: Ковровская государственная технологическая академия. 2004.

12. Прочность, устойчивость, колебания / под ред. *И.А. Биргера, Я.Г. Пановнко.* М.: Машиностроение. 1968. Т. 3.

13. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования / под ред. *Р.Г. Варламова*. М.: Сов. радио. 1980.

14. *Ильинский В.С.* Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. М.: Сов и радио. 1982.

15. *Карпушин В.Б.* Виброшумы радиоаппаратуры. М.: Сов. радио. 1977.

16. *Пановко Я.Г.* Основы прикладной теории колебаний и удара. Л.: Машиностроение. 1976.

17. *Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А*. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры / под ред. *В.А. Фролова*. М.: Сов. радио. 1984.

18. *Кренкель Т.Э., Коган А.Г., Тараторкин А.М.* Персональные ЭВМ в инженерной практике. М.: Радио и связь. 1989.

19. *Мосин В.Н., Трайнев В.А.* Управление процессом проектирования. М.: Московский рабочий. 1980.

20. *Карберри П.Р*. Персональные компьютеры в автоматизированном проектировании: пер. с англ. М.: Машиностроение. 1989.

21. *Шалумов А.С., Шалумова Н.А.* Разработка алгоритмов и программ автоматического построения моделей механических процессов конструкций РЭС // «Высокие технологии в региональной информатике»: Тез.докл. / Всероссийское совещание-семинар. Ч. 2. Воронеж. 1998.

22. *Рвачев В.А., Слесаренко А.П.* Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах. Киев: Наукова думка. 1976.

23. *Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Гладышев Н.И.* Идентификация параметров материалов несущих конструкций радиоэлектронных средств с применением компьютерного измерительного стенда // Измерительная техника. 1996. №12. С. 52–55.

24. *Кофанов Ю.Н., Манохин А.И., Увайсов С.У.* Моделирование тепловых процессов при проектировании, испытаниях и контроле качества радиоэлектронных средств. М.: МГИЭМ. 1998.

25. *Гольдин В.В., Журавский В.Г., Коваленок В.И.* и др. Исследования тепловых характеристик РЭС методами математического моделирования / под ред. *А.В. Сарафанова*. М.: Радио и связь. 2003.

26. *Дульнев Г.Н.* Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа. 1984.

27. *Федоров М.П., Боровиков А.И., Болдырев Ю.А., Пальмов В.А.* Материалы VI Всероссийской конференции по проблемам науки и высшей школы «Фундаментальные исследования в технических университетах» 6 июня 2002 г. Санкт-Петербург. Труды СПбГУ. Т. 1. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 17–24. «CAE-технологии – критические технологии Российсой Федерации».

28. Методика и программное обеспечение для моделирования радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия // Системотехника. 2008. №6.
URL://http://systech.miem.edu.ru/2008/n6/shalumov.html (дата обращения: 03.08.2011).

29. *Шалумова Н.А.* Автоматизация параметрических тепловых моделей типовых конструкций радиоэлектронных средств. 2009.

30. *Сорокин Е.С.* Динамический расчёт несущих конструкций зданий. М.: Госстройиздат. 1956.

# Информация о создателях автоматизированной системы АСОНИКА

Основные организации-разработчики системы АСОНИКА – ООО «CALS-технологии» и ООО «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА»), возглавляемые профессором А.С. Шалумовым, – были созданы на базе уникальной структуры – Владимирской областной общественной организации «Союз молодых ученых», учрежденной в 2001 г. и действующей по настоящее время.

В составе ООО «CALS-технологии» и ООО «НИИ «АСОНИКА» более 40 специалистов, треть из которых имеют ученые степени. За последние несколько лет сотрудниками организаций защищено 16 кандидатских диссертаций, ведется подготовка докторских диссертаций в области САПР и информационных технологий. Функционирует очная аспирантура, набор в которую осуществляется круглогодично.

### Основные направления научной инновационной деятельности

1. Комплексное математическое моделирование радиоэлектронных средств (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 автоматизированному проектированию и комплексному компьютерному моделированию радиоэлектронных средств.

Данные темы соответствуют приоритетному направлению развития науки и техники федерального уровня «Информационно-телекоммуникационные системы». В их рамках осуществляется создание и внедрение автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА в соответствии с требованиями CALS-технологий на этапах проектирование – производство – эксплуатация.

**Система АСОНИКА** – это первая российская автоматизированная система комплексного моделирования физических

процессов в электронной аппаратуре, которая аттестована Министерством обороны РФ и рекомендуется специальными руководящими документами Министерством обороны РФ 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 РФ в области науки и техники, академик Международной академии информатизации, Российской академии естественных наук, Президент Российской академии надежности

Для решения поставленных задач с 1998 г. началась подготовка квалифицированных кадров, способных решать задачи моделирования, программирования, проектирования. Работа велась в рамках Центра моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (МИТАС) при кафедре «Прикладная математика и САПР» Ковровской государственной технологической академии под руководством заведующего кафедрой, профессора Александра Славовича Шалумова. Затем был создан Владимирский региональный научный центр CALS-технологий «Инновация». В результате и была разработана современная автоматизированная система АСОНИКА.

Основной принцип ООО «CALS-технологии» и ООО «НИИ «АСОНИКА» – единство четырех составляющих: Образование – Наука – Производство – Бизнес.

Выпущено более 300 монографий, учебных пособий и статей сотрудников ООО «CALS-технологии» и ООО «НИИ «АСОНИКА».

На территории РФ система АСОНИКА аналогов не имеет. По зарубежным аналогам информация в открытой печати отсутствует. За разработку системы АСОНИКА:

– в 2001 г. присуждена премия Правительства РФ 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 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 РФ, а также благодарность от первого заместителя губернатора Владимирской области за участие в работе V Московского Международного салона инноваций и инвестиций;

– в 2006 г. получена медаль лауреата и диплом первой премии 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 Русских инноваций 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 РФ «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.

Система АСОНИКА внедрена более чем на 60 отечественных предприятиях промышленности, разрабатывающих электронную аппаратуру военного и народнохозяйственного назначения, а также на ряде предприятий стран СНГ, 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 др.

Система АСОНИКА применялась при проектировании и технической экспертизе системы управления РК «Тополь-М», космических аппаратов «Метеор», «Ямал», «Sesat», самолетов СУ-27, МИГ-29 и др.

Только в КБ ИГАС «Волна» (г. Москва) годовая экономия за счет внедрения системы АСОНИКА-ТМР составила свыше 30 млн руб., а сроки проектирования систем управления подводными лодками сократились примерно на 1 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 РФ (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». Согласно этому документу «АСОНИКА» 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 выдана ООО «CALS-технологии» лицензия на космическую деятельность в течение пяти лет.

Получена положительная экспертная оценка системы АСОНИКА в Международном институте информационных технологий (Индия) и имеется предварительная договоренность о продаже в Индии учебной программы и о создании представительства ООО «НИИ “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 штата Аризона о создании автоматизированной системы «АСОНИКА-США».

Подписан Протокол о намерениях сотрудничать с фирмой Taetion LLC (США), а также с Военной академией Республики Беларусь.

В настоящее время ведутся переговоры о сотрудничестве с Канадой.

Большой интерес вызвало применение системы АСОНИКА в области информационных технологий. Это прозвучало на первом российском регулярном научно-практическом семинаре «Новые технологии – инновационному бизнесу» (1–16 февраля 2007 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 радиоэлектроных 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 подготовке специалистов ООО «CALS-технологии» и ООО «НИИ «АСОНИКА» сотрудничают со многими российскими вузами, например, и прежде всего с Владимирским филиалом Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ (РАНХиГС), МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики», Оренбургским государственным университетом, Южным федеральным университетом, Нижегородским государственным техническим университетом и др. В июне 2011 г. при кафедре информационных технологий Владимирского филиала РАНХиГС создана научная лаборатория информационных технологий «АСОНИКА» в целях реализации задач Владимирского филиала РАНХиГС по повышению научных исследований в области информационных технологий моделирования систем.

**Основные задачи,**
**возложенные на научную лабораторию «АСОНИКА»**

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.

Сайт www.asonika.com

По вопросам приобретения автоматизированной системы АСОНИКА можно обращаться по электронному адресу: ALS140965@mail.ru

## Series: ASONIKA

**Editor professor *A.S. Shalumov***

# Automated system ASONIKA for modelling of physical processes in radio-electronic means taking into account external influences

MOSCOW – RADIO ENGINEERING – 2013

*Authors*:

Shalumov A.S., Kofanov Y.N., Uvajsov S.U., Maljutin N.V., Noskov V.N., Urjupin I.S., Zheltov R.L., Tikhomirov M.V, Solovev D.B., Pershin E.O., Malov A.V., Shalumova N.A., Chabrikov S.V., Mano hin A.I., Kulikov O. E, Travkin D.N., Savelev A.V., Lovushkin M.Y., Solovkin A.A., Shalumov M.A., Popov P.O., Semenenko A.N.

Works of School of thought of modelling, information technology and the automated systems (MITAS) are presented to monographies of professor Shalumov A.S. and School of thought «ASONIKA» of professor Kofanov Y.N. a complex of the questions connected with creation of automated system of maintenance of reliability and quality of equipment ASONIKA, by maintenance of virtual tests and firmness to influence of destabilising factors at operation of radioelectronic means on the basis of automated system ASONIKA. These are questions of maintenance of electromagnetic compatibility, certainly-element modelling of mechanical processes and optimisation, maintenance of firmness of radioelectronic means on vibrating insulators to mechanical influences, estimations of time before fatigue failure of conclusions of radioelements, maintenance of indicators of non-failure operation and durability, the analysis and maintenance of thermal characteristics of designs, developments of a database of system ASONIKA.

# TABLE OF CONTENTS

Preface .....

Introduction.....

**CHAPTER 1**
**Modelling of thermal and mechanical processes in designs of radio-electronic means (REM)**

1.1. Firmness of typical blocks of REM designs to mechanical influences (ASONIKA-M) .....
1.2. Firmness of any blocks of REM designs to mechanical influences (ASONIKA-M-3D) .....
1.3. Firmness of typical designs of REM cases to mechanical influences (ASONIKA-M-CASE) .....
1.4. Firmness to mechanical influences of REM designs established on vibrating insulators (ASONIKA-V) .....
1.5. Firmness of REM designs to thermal influences (ASONIKA-T) .....
1.6. Identification of physicomechanical and heat-physical parametres of REM models (ASONIKA-ID) .....

**CHAPTER 2**
**Modelling of thermal and mechanical processes in printing knots and electronic components (ASONIKA-TM)**

2.1. Firmness of designs of REM printing knots to thermal and mechanical influences .....
2.2. Modelling of mechanical processes in REM printing knots of the difficult form .....
2.3. Fatigue durability of designs of REM printing knots at mechanical influences (ASONIKA-UST) .....

**CHAPTER 3**
**Creation of cards of operating conditions and the analysis of reliability of electronic components (ASONIKA-R)**

3.1. The automated filling of cards of operating conditions of electronic components taking into account real modes of their operation .....
3.2. Indicators of REM reliability taking into account real operating modes of electronic components (ASONIKA-B) .....
3.3. An example of application of subsystems ASONIKA-R and ASONIKA-B at designing .....

**CHAPTER 4**
**REM electromagnetic compatibility (ASONIKA-EMC)**

4.1. Electromagnetic hindrances and their sources .....
4.2. Tests for EMC and stability to electromagnetic influences .....
4.3. Modelling technique .....
4.4. Automation of synthesis of model for calculation of efficiency of REM shielding .....
4.5. Subsystem ASONIKA-EMC .....

**CHAPTER 5**
**The integrated database of electroradioelements and materials on geometrical, physicomechanical, heat-physical, electric, electromagnetic, radiating parametres and parametres of reliability (ASONIKA-BD)**

5.1. Choice of control system of database .....
5.2. Accumulation of database by the data .....
5.3. Database structure.....
5.4. Database of electronic components and materials (fragments).....

**CHAPTER 6**
**Management of REM modelling at designing (ASONIKA-UM)**

6.1. Appointment and structure of subsystem ASONIKA-UM .....
6.2. Functionality of subsystem ASONIKA-UM on information field adjustment .....
6.3. Functionality of subsystem ASONIKA-UM on creation of electronic models of products .....
6.4. Functionality of subsystem ASONIKA-UM on integration of subsystems of system ASONIKA .....
6.5. Functionality of subsystem of management of REM modelling ASONIKA-UM .....

Conclusion .....

Literature .....

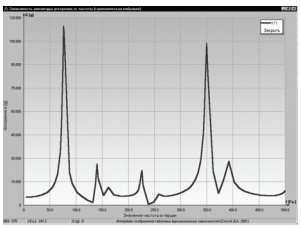
The information on founders .....

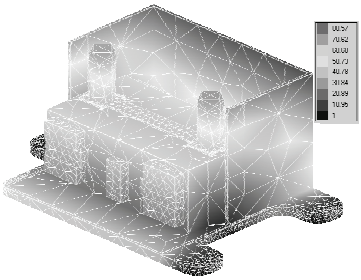
# ASONIKA – Automated system for design and testing of thermal and mechanical properties of radio-electronic devices: Reliability and quality control simulation

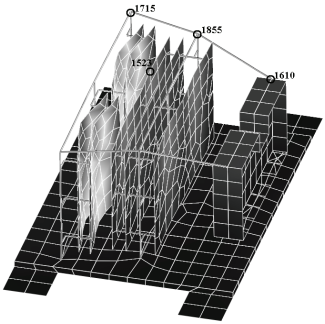
**Professor Alexander Shalumov**

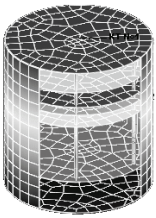
**http://asonika.com**
**ALS140965@mail.ru**

The computer program ASONIKA is designated for design and testing of thermal and mechanical stability and reliability of radio-electronics devices. Computational grid models implement macroscopic equations for heat transfer and mechanical forces in combination with 3D graphical interface, which allows design of complex devices and equipment (set of connected radio-electronic devices). ASONIKA is based on CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) technology.

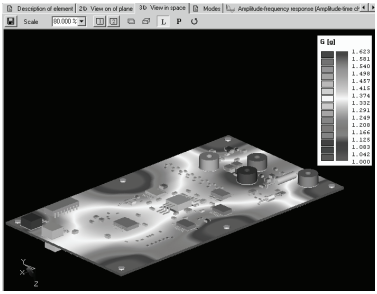


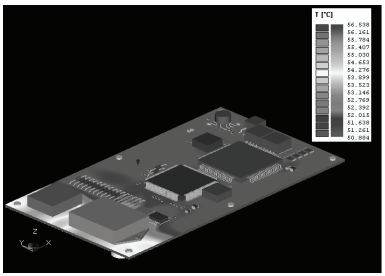


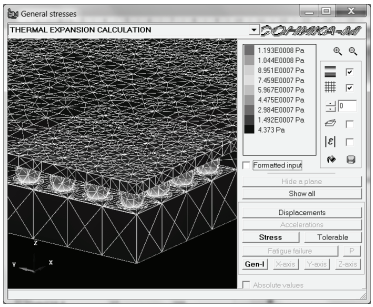


ASONIKA consists of series of modules, which can exchange data via a common interface. Each module can operate as independent computer program designated for solving the special tasks related to the device design and computing its properties. Each module has its own data base of materials, which can be expended and modified in a dialogue mode:








- **ASONIKA-T** performs modeling of stationary and non-stationary heat transfer in arbitrary combination of connected radio-electronic devices mechanically connected as modules in an integrated set of equipment.
- **ASONIKA-M** performs simulation of mechanical properties of standard constructions of radio-electronic devices such as response on a) harmonic vibration; b) acoustic noise; c) single impact; d) repeated impact; and e) linear acceleration. The data of 3D-models in the format are presented in igs format, built in CAD-systems – T-FLEX, COMPASS, ProEngineer and SolidWorks.
- **ASONIKA-TERM**: thermal analysis of microcircuits and other designs. Calculation of mechanical pressure in a microcircuit is carried out at temperature change.

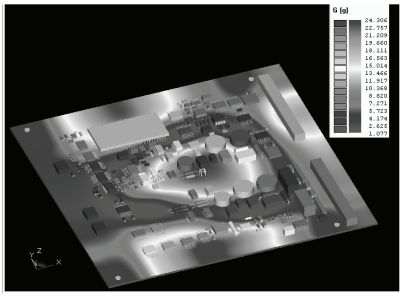
- **ASONIKA-V** performs analysis of the mechanical characteristics of various sets of electronic devices built in boxes, racks and blocks mounted on vibration insulators under harmonic and random vibration, shock loads, linear acceleration, and acoustic noise. The subsystem enables computation and optimization of parameters of vibration insulators with the purpose of minimization of mechanical stress on the equipment.
- **ASONIKA-TM** performs simulation of thermal and mechanical characteristics of printed board assemblies and enables computation of steady and non-steady thermal effects at normal and low pressure and mechanical effects such as harmonic and random vibration, single and repeated impact, linear acceleration; and acoustic noise.
- **ASONIKA-UST**: the analysis of fatigue durability of designs of printing knots at mechanical influences.
- **ASONIKA-R** performs design of mode maps of radio-electronic devices based on the standard regimes of performance and previously executed modeling.
- **ASONIKA-B** performs analysis of boxes, blocks, printing knots, and elements (Erie) for potential failures and non-failure operation.
- **ASONIKA-EMC**: the analysis and maintenance of electromagnetic compatibility REM.
- **ASONIKA-BD**: the integrated database of electronic components s and materials on geometrical, physicomechanical, thermal, electric, electromagnetic, radiating and reliability to parametres.
- **ASONIKA-UM** performs integration of the engineering data for radio-electronic equipment design on the level of product manufacturing. The database of ASONIKA-UM contains data on device and equipment structure and manufacturing including production line organization and management and documents generated during the engineering process.

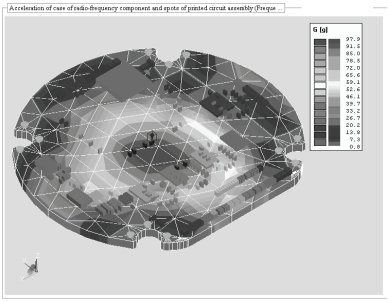
## Consulting and problem solving with automated system ASONIKA: Design and reliability of electronic devices and systems



ASONIKA offers an inexpensive and reliable alternative to testing electronic equipment by computer simulation of external mechanical, thermal and electromagnetic impact for already built devices and systems as well as at design stage. ASONIKA provides a significant cost savings, reduction of time to create new devices and equipment and enhancement of the quality and reliability number of tests. ASONIKA has been used more than 30 years at Russian industries including space and aviation enterprises. We offer several consulting and problem solving services:

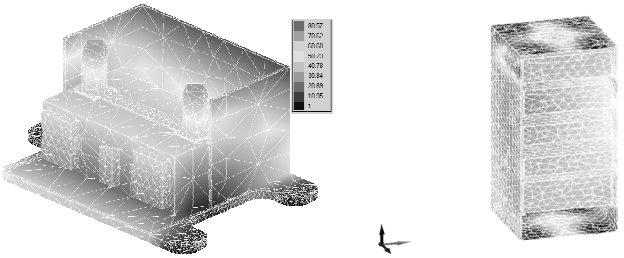
1. Thermal and mechanical (vibration, shock, linear acceleration and acoustic noise) calculation of printed circuit boards. We determine the resonances, temperatures and acceleration parameters (displacement and stress) of each component along with indication of thermal and mechanical loads.





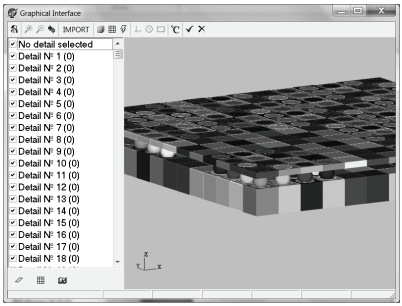
Our automated system contains a converter of printed circuit boards from Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD and P-Cad formats, it also includes a database of electronic components and materials necessary for the calculation of external impacts.

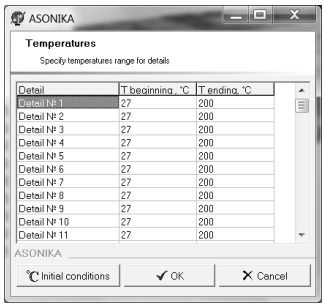
2. Thermal and mechanical (vibration, shock, and linear acceleration) calculations of cabinets and modules. We determine the resonances, temperatures and accelerations (displacement and stress) ofc onstruction elements and display thermal and mechanical loads.

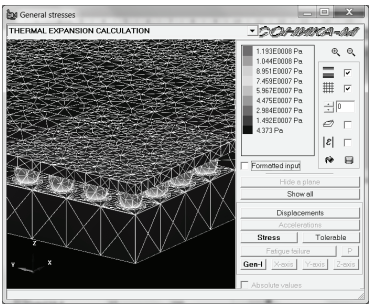


Converter of 3D-models from CAD system is available.

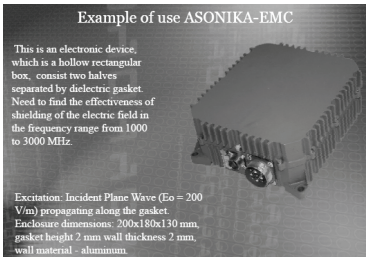
3. Thermal analysis of microcircuits and other designs. Calculation of mechanical pressure in a microcircuit is carried out at temperature change.

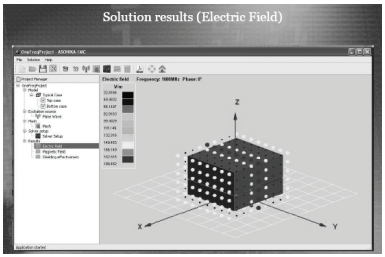


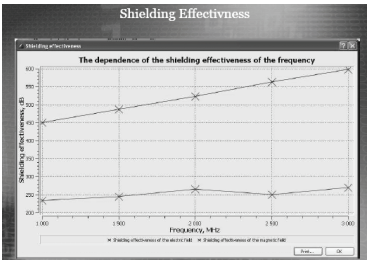



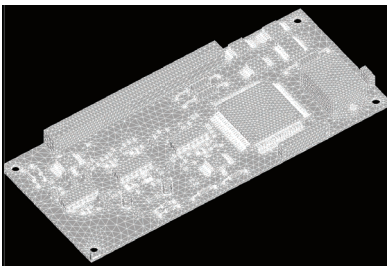

4. Calculations of the electric and magnetic fields, as well as evaluation of the efficiency of screening.

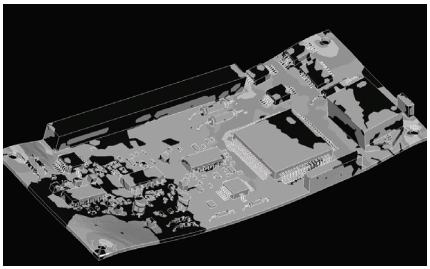



5. Analysis of fatigue durability of designs of printing knots at mechanical influences.





6. Estimates of reliability of modules, printed circuit boards and electronic components. We determine the average time and probability of reliable operation, time to fatigue failure.

As an outcome of consulting and problem solving we provide a detailed report with recommendations of design improvement in terms of heat loads, mechanical stability, electromagnetic compatibility and overall reliability.

НАУЧНАЯ ШКОЛА

# НАУЧНАЯ ШКОЛА «АСОНИКА®» В МИЭМ НИУ ВШЭ

Руководитель – академик РАЕН, д.т.н., проф. Ю.Н. Кофанов

Предпосылкой зарождения научной школы по автоматизации обеспечения надежности и качества аппаратуры послужило интенсивное развитие в 70-е годы XX века и применение вычислительной техники для решения проектных задач. В Московском институте электронного машиностроения (образован в 1962 г.) после защиты своей кандидатской диссертации доцент Ю.Н. Кофанов организовал для аспирантов и преподавателей еженедельные интенсивные заседания научной школы о методах обеспечения надежности радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), основанных на компьютерном моделировании протекающих в РЭА физических процессов.

Одновременно на московском, а затем и на всесоюзном уровнях Ю.Н. Кофанов начал проводить семинары и конференции. Они позволили, с одной стороны, привлечь в научную школу ученых и молодых специалистов других вузов, академических институтов и промышленных организаций, а с другой – внедрить создаваемые в научной школе методы в практику обеспечения высокой надежности, в основном бортовой РЭА, разрабатываемой на предприятиях оборонного профиля.

В определенной мере предпосылкой к созданию автоматизированной системы АСОНИКА было авторское свидетельство №496573 «Устройство для моделирования колебаний упругих пластин» (Бюл. изобр., 1975, №47, авторы Ю.Н. Кофанов и А.М. Кожевников). Запатентованная в нем модель, построенная на методе конечных разностей с использованием электромеханической аналогии, до сих пор является основой для механического моделирования печатных узлов, микросборок, стенок корпусов и других плоских деталей электронной аппаратуры при воздействии вибраций, ударов, линейных ускорений и акустических шумов.

На XXXIV Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио, в 1979 г. был сделан доклад «Автоматизированная система обеспечения надежности и

качества аппаратуры» (автор – Ю.Н. Кофанов). Так впервые было сформулировано название системы, которая сегодня на промышленных предприятиях и в вузах среди специалистов по автоматизации проектирования электронных средств, математического моделирования электрических, тепловых, механических и других физических процессов, надежности и качества радиоэлектронной аппаратуры достаточно широко известна в сокращенном названии АСОНИКА.

Фактически для специалистов, занимающихся созданием высоконадежных приборов и электронных средств ответственного назначения, это сокращение стало известным брендом (см. сайт www.asonika.ru) и запатентовано как логотип (торговая марка), что запрещает физическим и юридическим лицам в своих названиях организаций и продукции использовать словосочетания АСОНИКА и ASONIKA.

Тогда же в научной школе были созданы типовые методики применения системы АСОНИКА для анализа на ЭВМ электрических, тепловых и механических (при воздействии вибраций и ударов) процессов, протекающих в радиоэлектронной аппаратуре. По этим методикам для КБ точного машиностроения был разработан стандарт предприятия СТП П6-74-79 «Система автоматизированного проектирования РЭА. Диалоговая система проектирования аналоговой РЭА. Правила проведения расчетов» (авторы – Ю.Н. Кофанов, А.К. Зайцев, Б.Н. Косменко, А.М. Чернушенко). В нем впервые был реализован метод комплексного электротеплового моделирования радиоэлектронной аппаратуры при проектировании ракетных снарядов типа ПТУРС с применением ЭВМ типа ЕС и БЭСМ-6.

А уже в 1980 г. в научной школе «АСОНИКА» по заказу ЦНИИ автоматики и гидравлики были разработаны стандарты предприятия СТП БК-44-80 «Методика прогнозирования вибрационного состояния типовых плат на ЭВМ» и СТП БК-91-81 «Методика расчета тепловых режимов электрорадиоэлементов РЭА» (авторы – Ю.Н. Кофанов и А.М. Кожевников). Таким образом была подтверждена эффективность замены испытаний математическим моделированием на ЭВМ для выявления возможных (скрытых) отказов сложной автоматической аппаратуры.

В дальнейшем система АСОНИКА интенсивно развивалась для новых поколений ЭВМ с новыми интерфейсами связи с пользователями и с новыми усовершенствованными моделями, требования к которым диктовались практикой их применения. При этом большое внимание уделялось также системному подходу к комплексному моделированию одновременно протекающих в аппаратуре разнородных физических процессов, а также к исследованию чувствительности выходных характеристик к изменениям внутренних параметров.

Большой вклад в развитие системы АСОНИКА под руководством Ю.Н. Кофанова внесли А.С. Шалумов и А.В. Сарафанов, которые на современной науч-

ной, методической и компьютерной базе разработали новые версии соответственно подсистем АСОНИКА-М и АСОНИКА-Т, что послужило основой их кандидатских и докторских диссертаций.

Созданию подсистемы диагностического моделирования авторский коллектив системы АСОНИКА-Д обязан, прежде всего, докторской диссертации С.У. Увайсова (консультант Ю.Н. Кофанов) и кандидатской диссертации А.В. Долматова (руководитель – С.У. Увайсов).

Первая версия подсистемы АСОНИКА-К для расчетов надежности РЭА на ЕС ЭВМ была создана коллективом в составе В.В. Жаднова, Ю.Н. Кофанова, В.Н. Куликова, Е.М. Мазницы, В.В. Подшивалова и внедрена в учебный процесс МИЭМ в 1981 г. На Всесоюзной конференции молодых ученых и специалистов она заняла первое место.

На XXXIV Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио, в докладе В.В. Жаднова и С.Р. Тумковского было доложено о программном комплексе обеспечения стабильности микросборок, который объединил подсистемы АСОНИКА-Э и АСОНИКА-К. Работы проводились под руководством Ю.Н. Кофанова и И.Г. Шрамкова. В 1988 г. этот комплекс завоевал серебряную медаль ВДНХ. В 1991 г. была создана версия для персональных ЭВМ. Впоследствии В.В. Жадновым защищена кандидатская диссертация, а С.Р. Тумковским – докторская.

В 1997 г. головным институтом 22 ЦНИИИ МО (в числе разработчиков от научной школы МИЭМ участвовал академик РАЕН Ю.Н. Кофанов) для комплекса стандартов Мороз-6 был подготовлен специальный руководящий документ (военный) «Принципы применения математического моделирования при проектировании», по которому до сих работают предприятия, разрабатывающие авионику и ракетно-космическую РЭА. В данном документе автоматизированная система АСОНИКА рекомендована для обеспечения надежности и качества аппаратуры, приборов, устройств и оборудования военного назначения.

В 2001 г. создана клиент-серверная версия подсистемы АСОНИКА-К под Windows-2000, за которую сотрудники, студенты и аспиранты МИЭМ получили медаль Минобразования РФ «За лучшую научную студенческую работу», две премии НТОРЭС им. А.С. Попова, два диплома выставки СОФТУЛ с присуждением марки «Продукт года» (2004 г.) и более 40 дипломов Минобразования РФ, НТОРЭС им. А.С. Попова, ФОБИНН, Издательского Дома «Технологии», Правительства Москвы, ВВЦ, Совета ректоров вузов Москвы и Московской области и конкурсов нескольких вузов России. В этом же году шести сотрудникам МИЭМ (Кофанову Ю.Н. – руководителю коллектива, В.В. Жаднову, А.В. Сарафанову, С.Р. Тумковскому, С.У. Увайсову, А.С. Шалумову) присуждена Премия Правительства РФ в области науки и техники «за разработку научных основ и внедрение автоматизированной системы комплексного математического моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах».

Всего в научной школе под руководством Ю.Н. Кофанова было защищено 32 кандидатских и 8 докторских диссертаций. К настоящему времени под руководством д.т.н., проф. С.У. Увайсова защищено более 20 кандидатских и докторских диссертаций, под руководством д.т.н., проф. А.С. Шалумова – 16 кандидатских диссертаций, под руководством к.т.н., доц. В.В. Жаднова – одна кандидатская диссертация.

Система АСОНИКА, состоящая из 13 подсистем, имеет приоритетный характер и соответствует передовому мировому уровню.

Разработанная в интересах обороны и народного хозяйства России, она не имеет аналогов, так как впервые позволяет решать следующие задачи:

комплексное моделирование взаимосвязанных физических процессов;

выявление системных отказов, возникающих при взаимодействии наложенных друг на друга нескольких физических процессов;

комплексное исследование широкого спектра выходных характеристик РЭС, включая их чувствительность к взаимосвязанным изменениям протекающих процессов;

моделирование планируемых натурных испытаний с целью их оптимизации по времени и трудоемкости;

замена натурных испытаний математическим моделированием.

Известные универсальные программные комплексы (NASTRAN, ASKA, COSMOS, ANSYS, MARS, ДИАНА и др.) ориентированы на проектирование машиностроительных изделий. Существующие специализированные программные комплексы (например, пакет PRAC, отечественные программы по расчету механических характеристик узлов и блоков РЭС) охватывают лишь узкий круг задач, решаемых автоматизированной системой АСОНИКА, и не предназначены для комплексного моделирования протекающей совокупности физических процессов. Из публикаций известно, что проблема создания в США автоматизированной системы комплексного моделирования разнородных физических процессов в РЭС поставлена и проводятся исследования по ее решению. Но публикаций, свидетельствующих об окончательном решении данной проблемы за рубежом, нет.

Модернизация системы АСОНИКА в научной школе постоянно соотносится с требованиями промышленности, где новые версии программ моделирования апробируются и внедряются. В настоящее время идет интенсивное освоение системы АСОНИКА в РКК «Энергия», ФГУП «ГосНИИ приборостроения», ОАО «Концерн «Созвездие», ОАО «ЦНИИ «Циклон», ОАО «Концерн «Моринформсистема – Агат» и др. При этом работа научной школы продолжается на этих предприятиях в виде совместной разработки новых программ. Проведение научной школой ежегодных Международных научно-технических конференций позволяет привлечь зарубежных партнеров для сотрудничеству. При этом запатентованная торговая марка позволяет научной школе поддерживать свой при-

оритет. ***Предприятия, приобретающие программы системы АСОНИКА®, должны иметь лицензию научной школы «АСОНИКА®» МИЭМ НИУ ВШЭ, что свидетельствует о подлинности программ и о разрешении их использования как составной части своей продукции (связь: моб. тел. руководителя научной школы «АСОНИКА»: 8-926-344-30-40 или по адресу y.kofanov@gmail.com***).

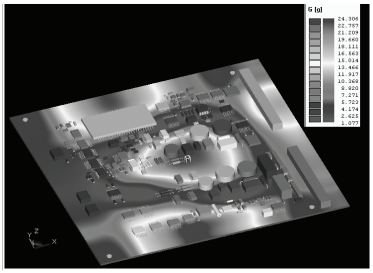
Более подробно о различных видах сотрудничества в области использования и развития системы «АСОНИКА» смотрите в описании научной школы «МИТАС». Научная школа «МИТАС», возглавляемая д.т.н, проф. А.С. Шалумовым, членом научной школы «АСОНИКА» МИЭМ НИУ ВШЭ, была создана как развитие научной школы «АСОНИКА» на базе Владимирской областной общественной организации «Союз молодых ученых» и в целях реализации задач Владимирского филиала РАНХиГС по повышению научных исследований в области информационных технологий моделирования систем. Созданные им общества с ограниченной ответственностью «CALS-технологии» и «НИИ «АСОНИКА» содействуют расширению как возможностей системы АСОНИКА, так и областей ее внедрения.

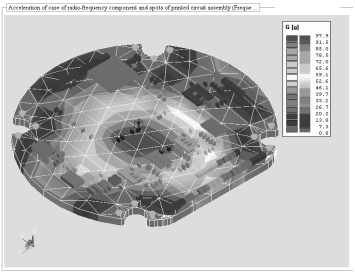
# *А С О Н И К А*

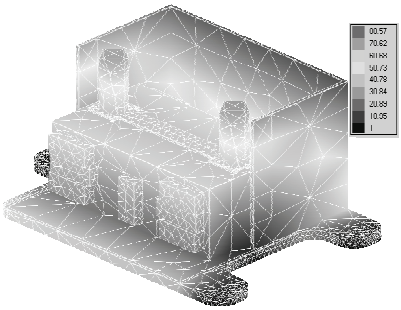
Автоматизированная система обеспечения надежности и качества аппаратуры **АСОНИКА** предназначена для анализа и обеспечения стойкости радиоэлектронных средств к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям и автоматизации документооборота при проектировании и может применяться на предприятиях, разрабатывающих аппаратуру, устанавливаемую на подвижных объектах.

**АСОНИКА** – это замена испытаний электронной аппаратуры компьютерным моделированием на внешние механические, тепловые, электромагнитные и другие воздействия еще до изготовления.

Это значительная экономия денежных средств и сокращение сроков создания аппаратуры при одновременном повышении качества и надежности за счет сокращения количества испытаний.







Система **АСОНИКА** используется в **рамках Министерства обороны РФ** для проведения контроля за правильностью применения изделий электронной техники в аппаратуре специального назначения. Рекомендуется комплексом

стандартов «МОРОЗ-6» для применения в процессе проектирования и замены испытаний на ранних этапах проектирования. С 1 июля 2000 г. введен в действие соответствующий **Руководящий документ, разработанный совместно с 22 ЦНИИИ Министерства обороны РФ**, регламентирующий применение системы АСОНИКА при проектировании (РДВ 319.01.05-94, ред.2-2000. Руководящий документ. Комплексная система контроля качества. Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Принципы применения математического моделирования при проектировании).

В настоящее время получены аттестат Министерства обороны РФ на систему АСОНИКА и лицензия Роскосмоса.

Система АСОНИКА – победитель **конкурса Русских инноваций** 2009.

Система **АСОНИКА** – это единственная система моделирования, сертифицированная Министерством обороны России.

Аналогов системы АСОНИКА нет как в России, так и за рубежом. Это подтверждено официальными документами в Индии, США, Республике Беларусь.

Система АСОНИКА уже более 30 лет используется на предприятиях России, в том числе для космической и авиационной аппаратуры.

Система **АСОНИКА** состоит из **тринадцати** подсистем:

- *АСОНИКА-Т* – анализ и обеспечение тепловых характеристик конструкций аппаратуры
- *АСОНИКА-М* – анализ типовых конструкций блоков радиоэлектронных средств на механические воздействия
- *АСОНИКА-М-ШКАФ* – анализ типовых конструкций шкафов и стоек радиоэлектронных средств на механические воздействия
- *АСОНИКА-М-3D* – анализ и обеспечение стойкости произвольных объемных конструкций радиоэлектронных средств, созданных в системах ProEngineer, SolidWorks и других CAD-системах в форматах IGES и SAT, к механическим воздействиям
- *АСОНИКА-ИД* – идентификация физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС
- *АСОНИКА-В* – анализ и обеспечение стойкости к механическим воздействиям конструкций радиоэлектронных средств, установленных на виброизоляторах
- *АСОНИКА-ТМ* – анализ конструкций печатных узлов радиоэлектронных средств на тепловые и механические воздействия
- *АСОНИКА-Р* – автоматизированное заполнение карт рабочих режимов электрорадиоизделий

- *АСОНИКА-Б* – анализ показателей безотказности радиоэлектронных средств с учетом реальных режимов работы электрорадиоизделий
- *АСОНИКА-УСТ* – анализ усталостной прочности конструкций печатных плат и электрорадиоизделий при механических воздействиях
- *АСОНИКА-ЭМС* – анализ и обеспечение электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств
- *АСОНИКА-БД* – справочная база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам
- *АСОНИКА-УМ* – управление моделированием радиоэлектронных средств при проектировании

Система АСОНИКА включает в себя следующие **конверторы с известными САПР**:

– модуль интеграции систем проектирования печатных узлов PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD и подсистемы АСОНИКА-ТМ;

– модуль интеграции 3-D модели, созданной в системах ProEngineer, SolidWorks, Inventor и других в форматах IGES и SAT и подсистемы АСОНИКА-М (версия АСОНИКА-М-3D).

***Предлагается:***

1. Внедрение системы АСОНИКА на предприятиях электронной промышленности и в высших учебных заведениях РФ.
2. Оказание консалтинговых услуг предприятиям электронной промышленности РФ по моделированию электронной аппаратуры на внешние механические, тепловые, электромагнитные и другие воздействия с помощью системы АСОНИКА.
3. Организация обучения российских специалистов работе с системой АСОНИКА.

## Спецификация автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры АСОНИКА

| № п/п | Подсистема | Назначение |
|---|---|---|
| 1 | АСОНИКА-Т | Подсистема позволяет осуществлять моделирование стационарных и нестационарных тепловых процессов в произвольных конструкциях радиоэлектронных средств (РЭС) с применением средств автоматизации. Данные средства позволяют в короткое время производить синтез моделей тепловых процессов на основе моделей типовых элементов. Подсистема содержит базу данных материалов конструкций, которая может пополняться. Подсистема имеет понятный интерфейс пользователя и легка в освоении |
| 2 | АСОНИКА-М | Подсистема предназначена для расчета механических характеристик типовых конструкций блоков РЭС при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций. В качестве расчетного ядра используется ANSYS 5.6. Реализована локальная база данных, содержащая физико-механические параметры конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик |
| 3 | АСОНИКА-М-ШКАФ | Подсистема предназначена для расчета механических характеристик типовых конструкций шкафов и стоек РЭС при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций. В качестве расчетного ядра используется ANSYS14. Реализована локальная база данных, содержащая физико-механические параметры конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик |
| 4 | АСОНИКА-М-3D | Подсистема предназначена для расчета механических характеристик произвольных объемных конструкций РЭС – шкафов, стоек, блоков и др. – при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Подсистема имеет конвертор из 3D-модели (форматы IGES, SAT), созданной в ProEngineer, SolidWorks, Autodesk Inventor. В качестве расчетного ядра используется ANSYS 14. Реализована локальная база данных, содержащая физико-механические параметры конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик |

*Продолжение таблицы*

| № п/п | Подсистема | Назначение |
|---|---|---|
| 5 | АСОНИКА-ИД | Подсистема предназначена для идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС и прежде всего: модуля упругости материала, коэффициента Пуассона материала; коэффициента механических потерь (КМП) в начальной точке; коэффициента зависимости КМП от механического напряжения |
| 6 | АСОНИКА-В | Автоматизированная подсистема предназначена для анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков РЭС, установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений, акустических шумов и для принятия решения на основе полученных механических характеристик с целью обеспечения стойкости РЭС при механических воздействиях. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций. Реализована локальная база данных, содержащая геометрические и физико-механические параметры виброизоляторов и конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик |
| 7 | АСОНИКА-ТМ | Подсистема предназначена для расчета тепловых и механических характеристик печатных узлов (ПУ), электрорадиоизделий (ЭРИ) – при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений, акустических шумов. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод печатного узла по имеющемуся сборочному чертежу, в том числе из систем P-CAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD, а также отобразить результаты расчета тепловых и механических характеристик ПУ. Реализована локальная база данных, содержащая геометрические, теплофизические и физико-механические параметры ЭРИ и конструкционных материалов, необходимые для расчета тепловых и механических характеристик |
| 8 | АСОНИКА-Р | Подсистема позволяет осуществлять автоматическое заполнение карт рабочих режимов ЭРИ на основе перечня ЭРИ, введенного пользователем, и базы данных, содержащей предельно-допустимые значения параметров ЭРИ согласно техническим условиям, в том числе в виде графических и аналитических зависимостей. При этом перечень ЭРИ вводится как вручную, так и автоматически из файлов с перечнями. В процессе чтения перечня ЭРИ осуществляется проверка на их наличие в базе данных. В случае отличия записи ЭРИ в перечне и базе данных существует возможность назначить соответствие с целью выбора необходимого ЭРИ |

*Продолжение таблицы*

| № п/п | Подсистема | Назначение |
|---|---|---|
| | | из имеющихся в базе данных. Значения параметров ЭРИ в схеме заполняются автоматически по результатам моделирования электрических, тепловых и механических характеристик. В результате применения подсистемы в процессе проектирования РЭС время, затрачиваемое на выпуск карт рабочих режимов ЭРИ, сокращается в несколько раз по сравнению с традиционным ручным заполнением карт режимов при существенном повышении достоверности получаемых результатов |
| 9 | АСОНИКА-Б | Подсистема 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.<br>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 в себя: 1) базу данных с математическими моделями для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели; 2) редактор базы данных. При этом перечень ЭРИ вводится как вручную, так и автоматически из файлов с перечнями. Подсистема позволяет импортировать тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА |
| 10 | АСОНИКА-УСТ | Рассчитывается время до усталостного разрушения печатных плат и электрорадиоизделий при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, одиночных и многократных ударов. Результаты моделирования содержат собственные формы и частоты печатных узлов, а также перемещения, напряжения и ускорения в узлах конструкции. В качестве расчетного ядра используется ANSYS 14. Все параметры ЭРИ и материалов считываются из АСОНИКА-БД. Все параметры печатного узла конвертируются из подсистемы АСОНИКА-ТМ. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода. Реализована локальная база данных, содержащая усталостные параметры конструкционных материалов |
| 11 | АСОНИКА-ЭМС | Подсистема позволяет решать следующие задачи:<br>1) расчет величин напряженности электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри типового и произвольного корпуса электронного блока (импорт файлов моделей из CAD-систем в форматах IGES и SAT) |

*Окончание таблицы*

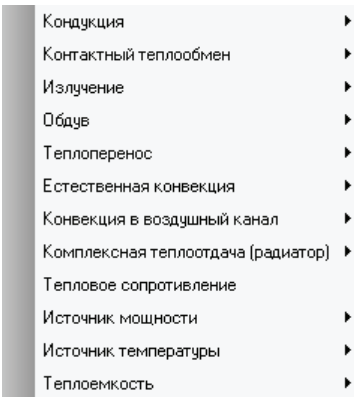
| № п/п | Подсистема | Назначение |
|---|---|---|
| | | при воздействии электромагнитных волн;<br>2) расчет эффективности экранирования электрического и магнитного полей корпусом типового и произвольного блока. В качестве расчетного ядра используется ANSOFT HFSS. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода. Реализована локальная база данных, содержащая электромагнитные параметры конструкционных материалов |
| 12 | АСОНИКА-БД | Справочная база данных (СБД) электрорадиоизделий (ЭРИ) и материалов предоставляет информацию: 1) о параметрах материалов; 2) о параметрах ЭРИ. СБД состоит из основных и дополнительных таблиц. Основные таблицы содержат следующую информацию:<br>1) параметры материалов печатных узлов (ПУ), несущих конструкций, выводов ЭРИ и лаков (клеев), применяемых при установки ЭРИ на печатную плату: механические, тепловые, допустимые, температурные зависимости;<br>2) оптические свойства материалов конструкций РЭС;<br>3) параметры ЭРИ: классы и группы ЭРИ; типы ЭРИ и технические условия (ТУ); полные условные записи ЭРИ; параметры, входящие в полную условную запись и их возможные значения; варианты установки ЭРИ на печатную плату; модели вариантов установки ЭРИ; геометрические, механические, тепловые, электрические, надежностные, допустимые параметры ЭРИ; изображения ЭРИ на плоскости и в пространстве.<br>Создаются дополнительные таблицы. Дополнительные таблицы могут содержать числовые, строковые, логические, текстовые, графические и функциональные зависимости параметры ЭРИ |
| 13 | АСОНИКА-УМ | Подсистема позволяет осуществить интеграцию САПР, внедренных на предприятии – Pro/ENGINEER, P-CAD, АСОНИКА, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и др., и управлять передачей данных между подсистемами при моделировании в процессе конструкторского проектирования РЭС. Подсистема стыкуется с любой используемой на предприятии PDM-системой. В ходе проектирования подсистема позволяет сформировать комплексную электронную модель РЭС в рамках математических моделей тепловых, электрических, аэродинамических, электромагнитных, механических процессов и математической модели надежности и качества РЭС |

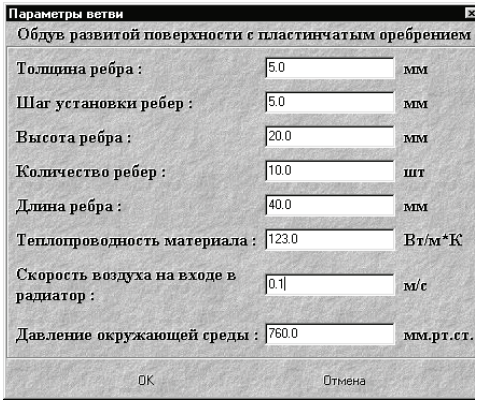
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТУРЫ

## АСОНИКА-Т

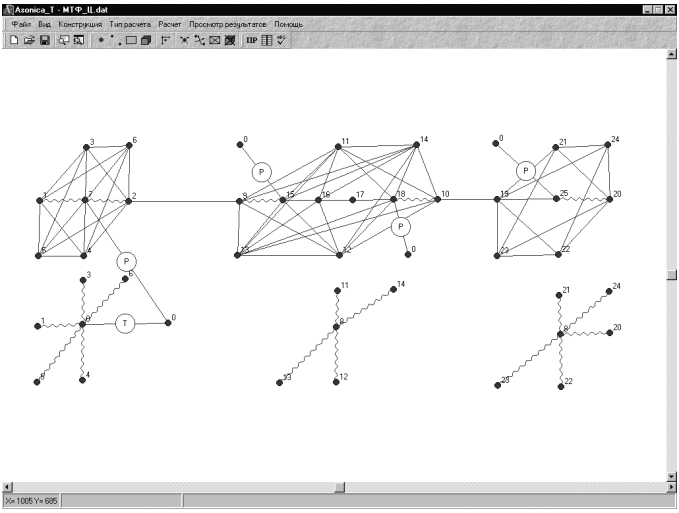
Подсистема позволяет анализировать следующие типы конструкций: микросборки, радиаторы и теплоотводящие основания, гибридно-интегральные модули, блоки этажерочной и кассетной конструкции, шкафы, стойки, а также произвольные конструкции радиоэлектронных средств (РЭС).

√ *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*

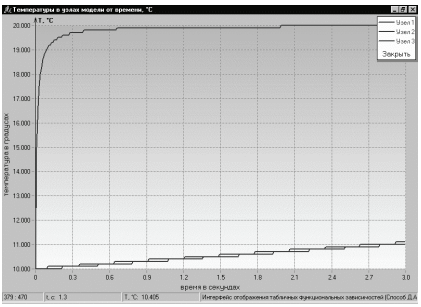


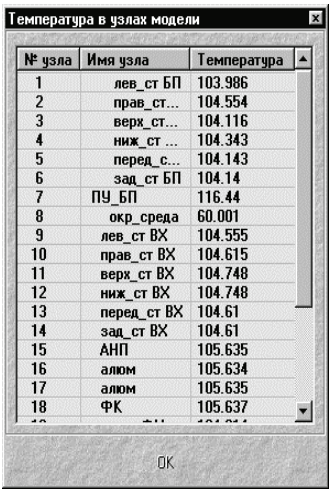



**Модель тепловых процессов конструкции блока РЭС, введенная пользователем в графическом редакторе**




√ *При анализе произвольных конструкций определяются температуры выделенных изотермических объемов и выводятся графики зависимости температур от времени для нестационарного теплового режима*



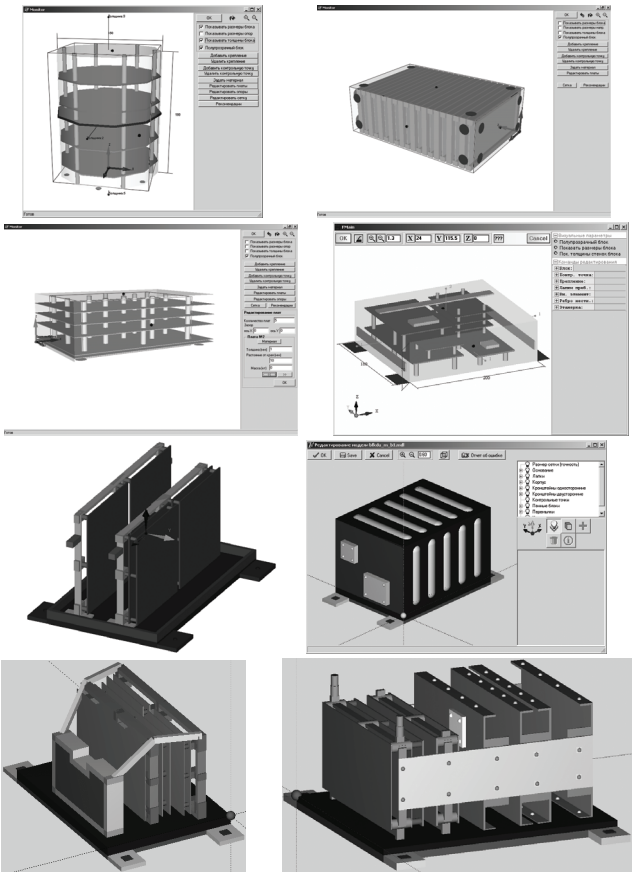



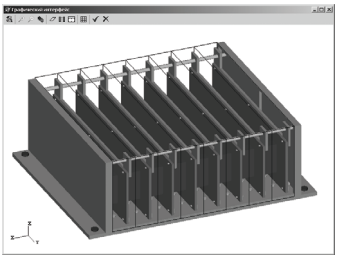
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ БЛОКОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

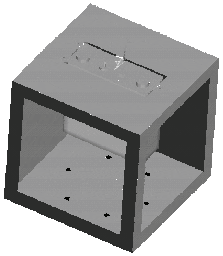
## АСОНИКА-М

Подсистема позволяет моделировать типовые конструкции радиоэлектронных средств на следующие виды механических воздействий: 1) гармоническая вибрация; 2) случайная вибрация; 3) удар; 4) линейное ускорение.

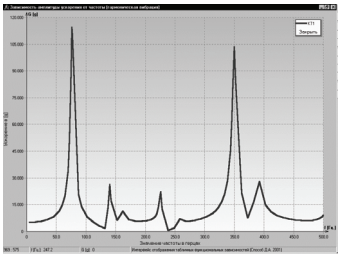
*Типовые конструкции*

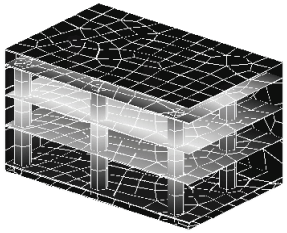


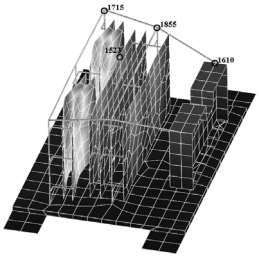


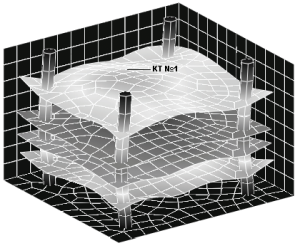


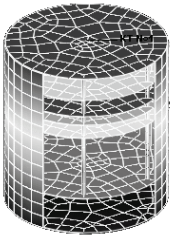
*Результаты*

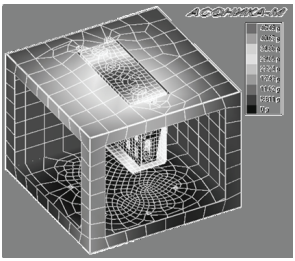








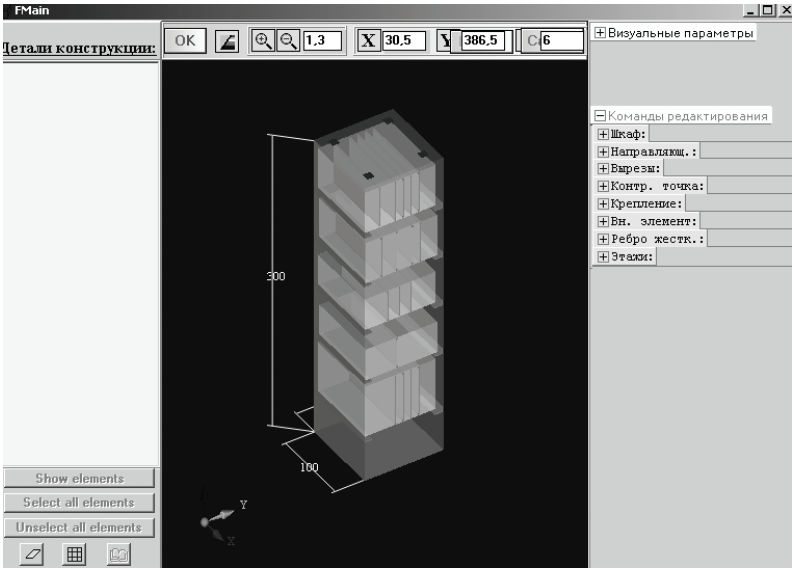

*Зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках и узлах конструкции*

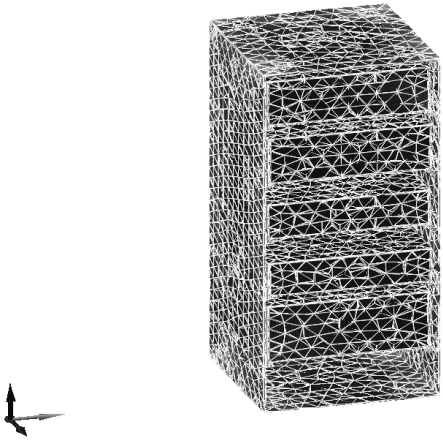
*Перемещения, прогибы, ускорения и напряжения участков конструкции блоков и шкафов*

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА ТИПОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШКАФОВ И СТОЕК РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

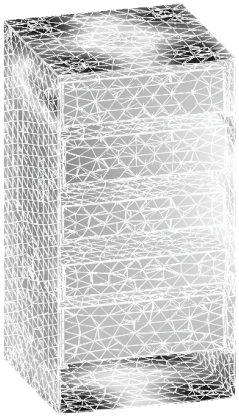
## АСОНИКА-М-ШКАФ

Подсистема предназначена для расчета механических характеристик типовых конструкций шкафов и стоек РЭС при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Графический интерфейс ввода-вывода информации позволяет осуществить ввод конструкции по имеющемуся сборочному чертежу, а также отобразить результаты расчета механических характеристик конструкций. В качестве расчетного ядра используется ANSYS14. Реализована локальная база данных, содержащая физико-механические параметры конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик.





Ускорения в модели шкафа

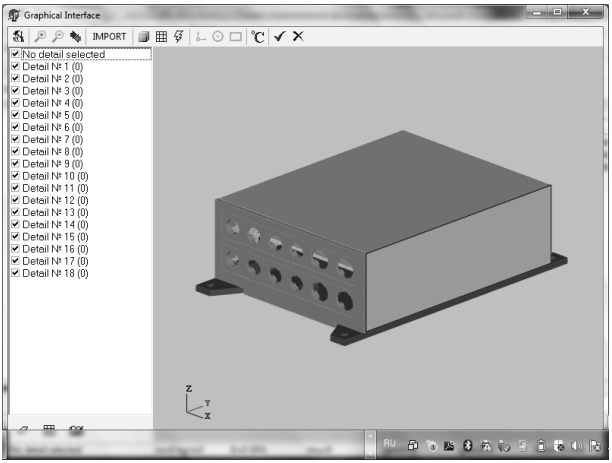


Напряжения в модели шкафа

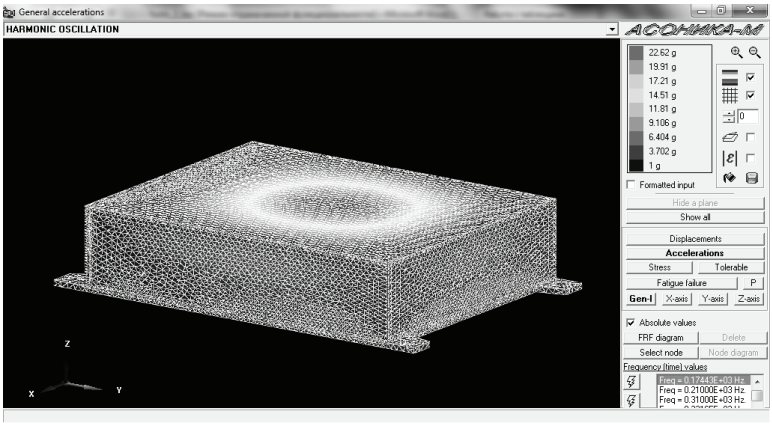
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ ПРОИЗВОЛЬНЫХ ОБЪЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ РЭС, СОЗДАННЫХ В СИСТЕМАХ PROENGINEER, SOLIDWORKS И ДРУГИХ CAD-СИСТЕМАХ В ФОРМАТАХ IGES И SAT, К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

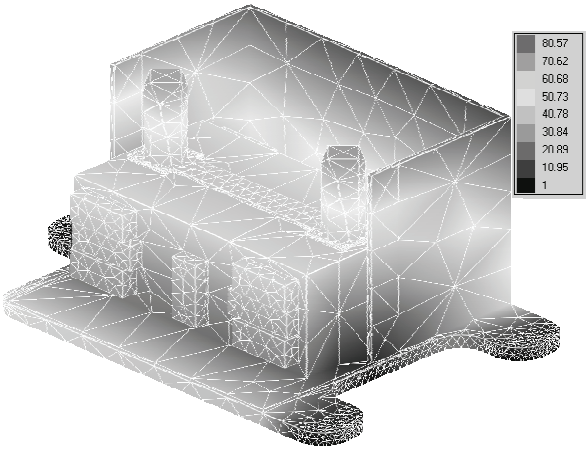
## АСОНИКА-М-3D

Подсистема предназначена для расчета механических характеристик произвольных объемных конструкций РЭС (шкафов, стоек, блоков и др.) при воздействии гармонической и случайной вибраций, одиночных и многократных ударов, линейных ускорений. Подсистема имеет конвертор из 3D-модели (форматы IGES, SAT), созданной в ProEngineer, SolidWorks, Autodesk Inventor. В качестве расчетного ядра используется ANSYS 14. Реализована локальная база данных, содержащая физико-механические параметры конструкционных материалов, необходимые для расчета механических характеристик.




1. Импорт геометрии конструкции (IGES, SAT)
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

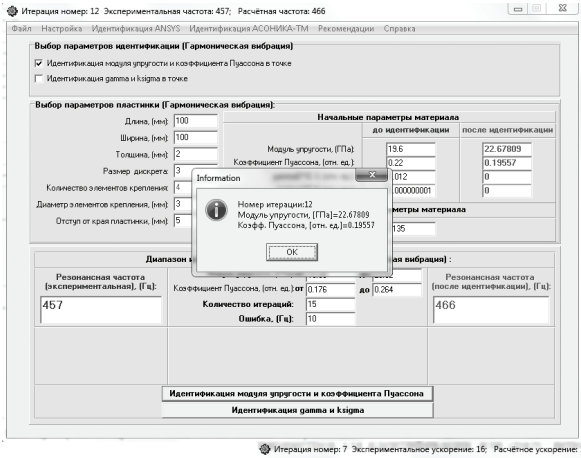

General accelerations
HARMONIC OSCILLATION
АСОНИКА-М
22.62 g
19.91 g
17.21 g
14.51 g
11.81 g
9.106 g
6.404 g
3.702 g
1 g
Formatted input
Hide a plane
Show all
Displacements
Accelerations
Stress
Tolerable
Fatigue failure
P
Gen-l
X-axis
Y-axis
Z-axis
Absolute values
FRF diagram
Delete
Select node
Node diagram
Frequency (time) values
Freq = 0.17443E+03 Hz
Freq = 0.21000E+03 Hz
Freq = 0.31000E+03 Hz
Z
X
Y

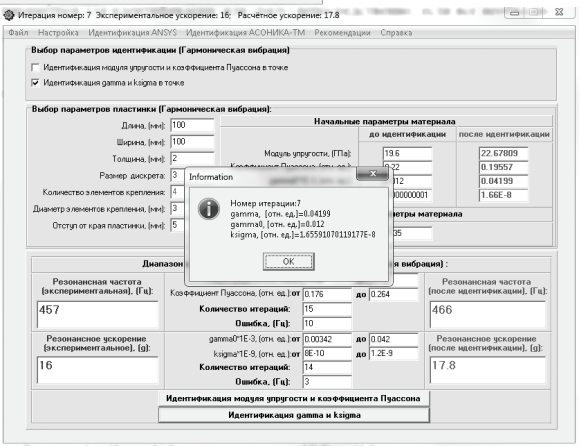

80.57
70.62
60.68
50.73
40.78
30.84
20.89
10.95
1

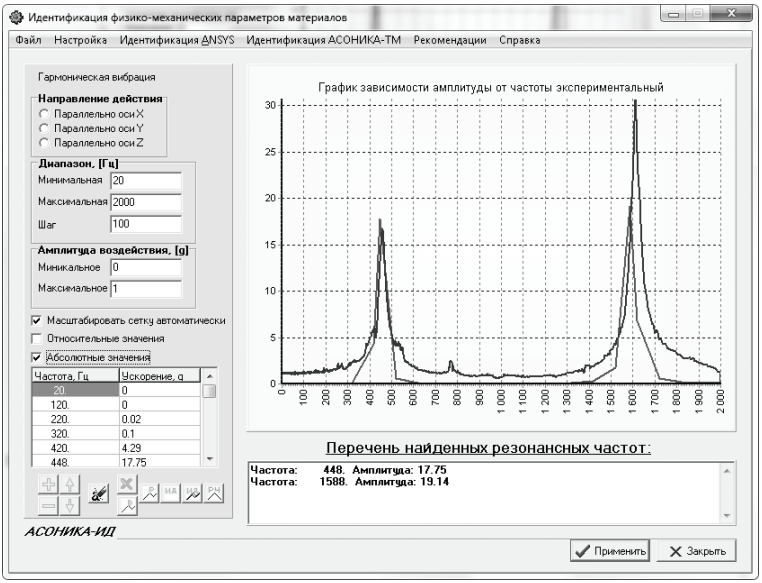
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА ИДЕНТИФИКАЦИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ РЭС

# АСОНИКА-ИД

Подсистема предназначена для идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей РЭС и прежде всего: модуля упругости материала, коэффициента Пуассона материала; коэффициента механических потерь (КМП) в начальной точке; коэффициента зависимости КМП от механического напряжения.



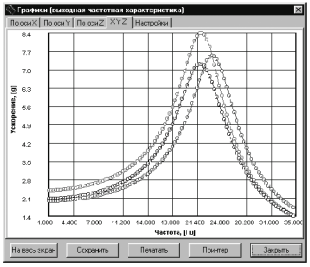



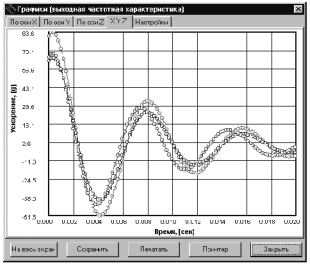

Идентификация физико-механических параметров материалов
Файл
Настройка
Идентификация ANSYS
Идентификация АСОНИКА-ТМ
Рекомендации
Справка
Гармоническая вибрация
Направление действия
Параллельно оси X
Параллельно оси Y
Параллельно оси Z
Диапазон, [Гц]
Минимальная 20
Максимальная 2000
Шаг 100
Амплитуда воздействия, [g]
Миникальное 0
Максимальное 1
Масштабировать сетку автоматически
Относительные значения
Абсолютные значения
Частота, Гц
Ускорение, g
20. 0
120. 0
220. 0.02
320. 0.1
420. 4.29
448. 17.75
График зависимости амплитуды от частоты экспериментальный
Перечень найденных резонансных частот:
Частота: 448. Амплитуда: 17.75
Частота: 1588. Амплитуда: 19.14
АСОНИКА-ИД
Применить
Закрыть

# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ К МЕХАНИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ КОНСТРУКЦИЙ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ВИБРОИЗОЛЯТОРАХ

## АСОНИКА-В

*Зависимости ускорений конструкции от частоты и времени*

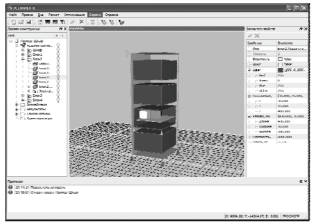


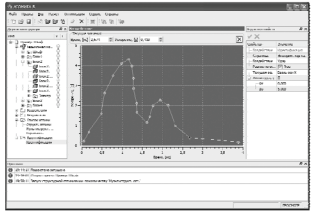

Подсистема предназначена для анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков радиоэлектронных средств (РЭС), установленных на виброизоляторах, при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, ударных нагрузок, линейного ускорения, при воздействии акустических шумов и для принятия решения на основе полученных механических характеристик с целью обеспечения стойкости РЭС при механических воздействиях.

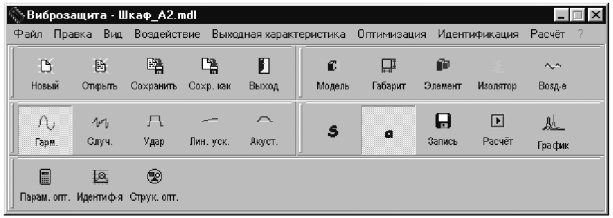
Подсистема позволяет осуществлять идентификацию параметров виброизоляторов, а также оптимизацию их параметров с целью снижения нагрузок на конструкцию.

*Графический ввод конструкции*

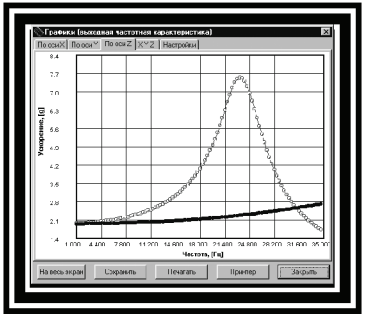


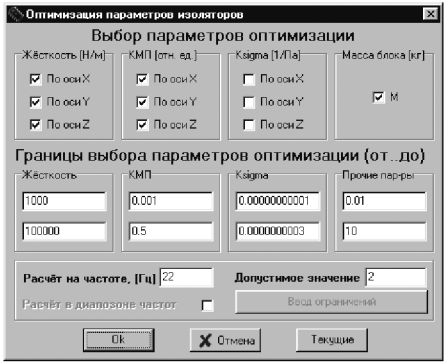
*Графический ввод механического воздействия*





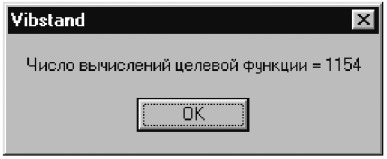

*Результаты оптимизации параметров виброизоляторов*









# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА КОНСТРУКЦИЙ ПЕЧАТНЫХ УЗЛОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ НА ТЕПЛОВЫЕ И МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

## АСОНИКА-ТМ

Подсистема позволяет анализировать печатные узлы радиоэлектронных средств и рассчитывать:

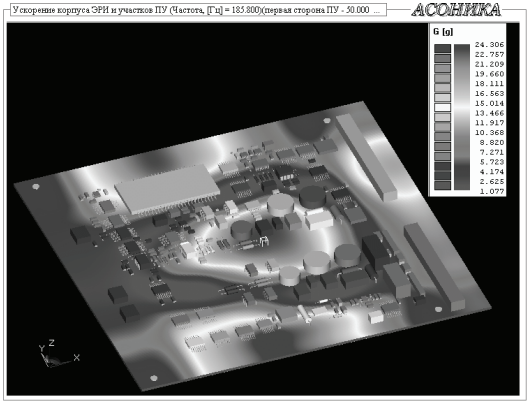
√ стационарный и нестационарный тепловые режимы как при нормальном, так и при пониженном давлении;

√ следующие виды механических воздействий: гармоническая вибрация; случайная вибрация; удар одиночный и многократный; линейное ускорение; акустический шум.

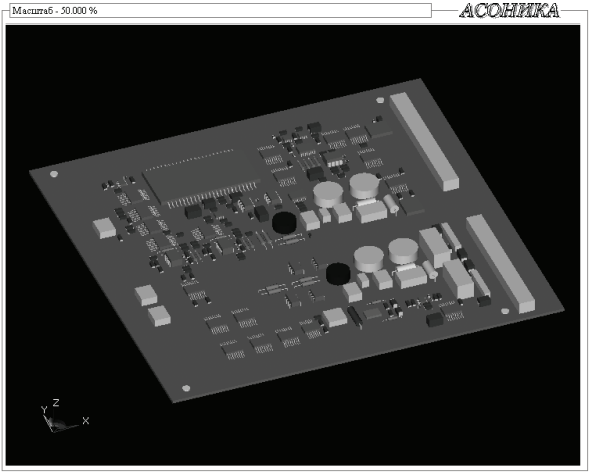
*Зависимости ускорений от частоты и времени в контрольных точках конструкции*




Подсистема включает в себя следующие конверторы с известными САПР печатных плат: PCAD, Mentor Graphics, Altium Designere, OrCAD. Автоматически считываются координаты расположения всех электрорадиоизделий на плате.



*Максимальные температуры, ускорения и напряжений участков печатных узлов и электрорадиоизделий*




*Карты тепловых и механических режимов электрорадиоизделий*

КАРТА МЕХАНИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭРИ
(при гармонической вибрации) для ПУ ШС10-01Е

| 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 | C1 | 1 | 499.500 | 8.064 | 40.000 | 0.202 | |
| 2 | C10 | 1 | 499.500 | 12.525 | 40.000 | 0.313 | |
| 3 | C11 | 1 | 452.000 | 17.256 | 40.000 | 0.431 | |
| 4 | C16 | 1 | 345.800 | 24.178 | 40.000 | 0.604 | |
| 5 | C17 | 1 | 499.500 | 8.064 | 40.000 | 0.202 | |
| 6 | C18 | 1 | 499.500 | 12.525 | 40.000 | 0.313 | |

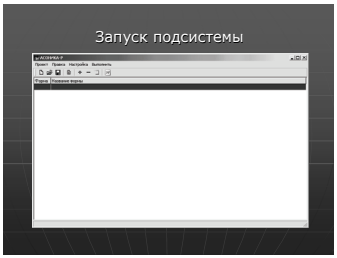
Подсистема включает в себя базу данных со справочными геометрическими, теплофизическими и физико-механическими параметрами электрорадиоизделий и конструкционных материалов.

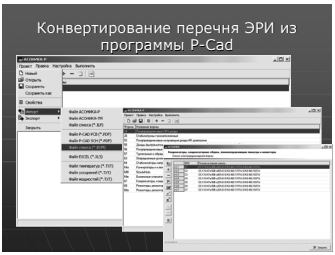
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЗАПОЛНЕНИЯ КАРТ РАБОЧИХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

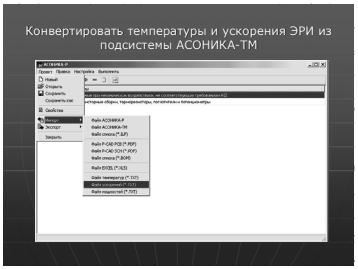
## АСОНИКА-Р

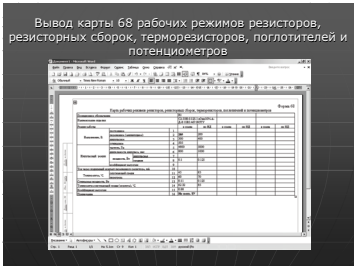
Подсистема предназначена для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов электрорадиоизделий (ЭРИ). В подсистему заложены все возможные формы карт рабочих режимов последней редакции РДВ.319.01.09-94 (2000 г.).

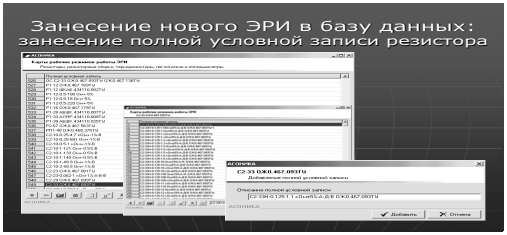
Подсистема позволяет осуществлять автоматическое заполнение карт рабочих режимов ЭРИ на основе перечня ЭРИ, введенного пользователем, и базы данных, содержащей предельно-допустимые значения параметров ЭРИ согласно техническим условиям, в том числе в виде графических и аналитических зависимостей. При этом перечень ЭРИ вводится как вручную, так и автоматически из специально подготовленных файлов.



# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ С УЧЕТОМ РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ

## АСОНИКА-Б

Подсистема позволяет анализировать шкафы, блоки, печатные узлы, электрорадиоизделия (ЭРИ) и решать следующие задачи:

√ определение показателей безотказности всех ЭРИ;

√ обоснование необходимости и оценка эффективности резервирования радиоэлектронных средств (РЭС).

Поддерживает следующие виды резервирования:

√ пассивное резервирование с неизменной нагрузкой;

√ активное нагруженное резервирование;

√ активное ненагруженное резервирование;

√ активное облегченное резервирование.

В результате моделирования могут быть получены: эксплуатационные интенсивности отказов, вероятности безотказной работы и среднее время безотказной работы РЭС.

Сервисное обеспечение подсистемы включает:

√ базу данных (БД) с математическими моделями для расчета значений эксплуатационной интенсивности отказов ЭРИ и значениями коэффициентов, входящих в модели;

√ редактор базы данных, позволяющий пополнять номенклатуру ЭРИ, а также изменять все значения коэффициентов и математические модели.

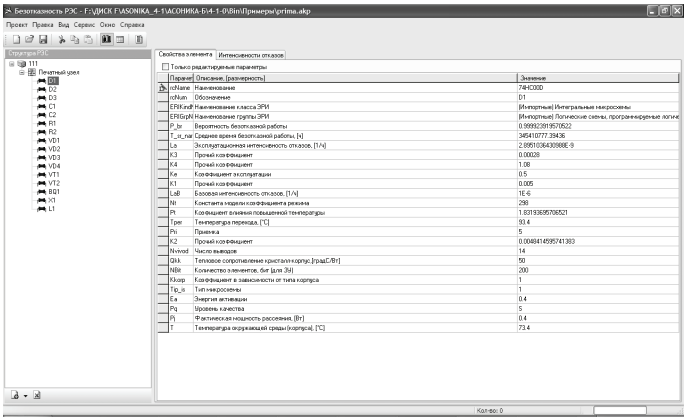
Возможности и преимущества подсистемы АСОНИКА-Б:

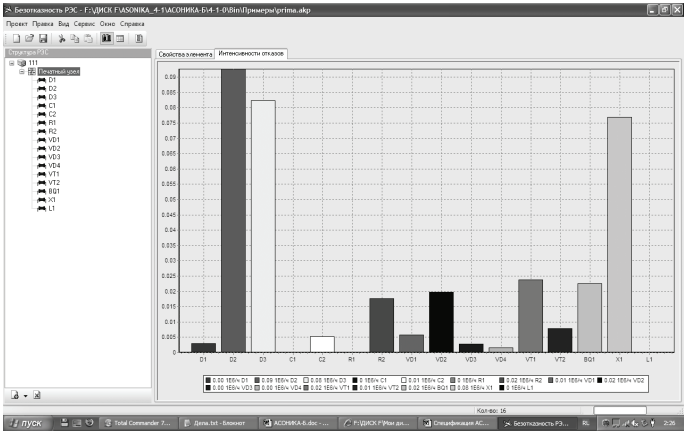
√ подсистема позволяет импортировать данные о составе конструкции из других САПР электроники;

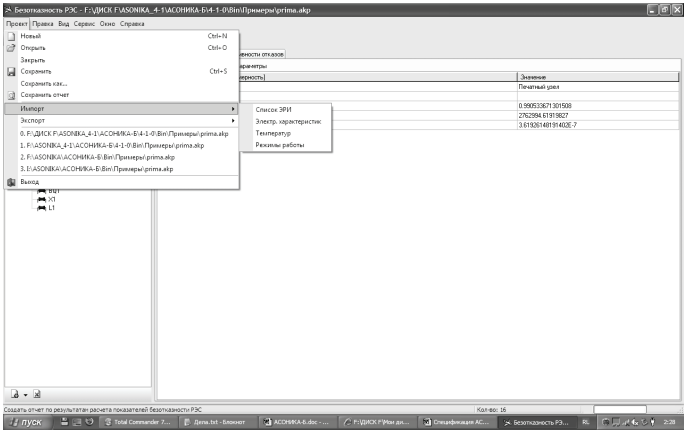
√ подсистема позволяет импортировать тепловые и электрические характеристики ЭРИ из других подсистем системы АСОНИКА;

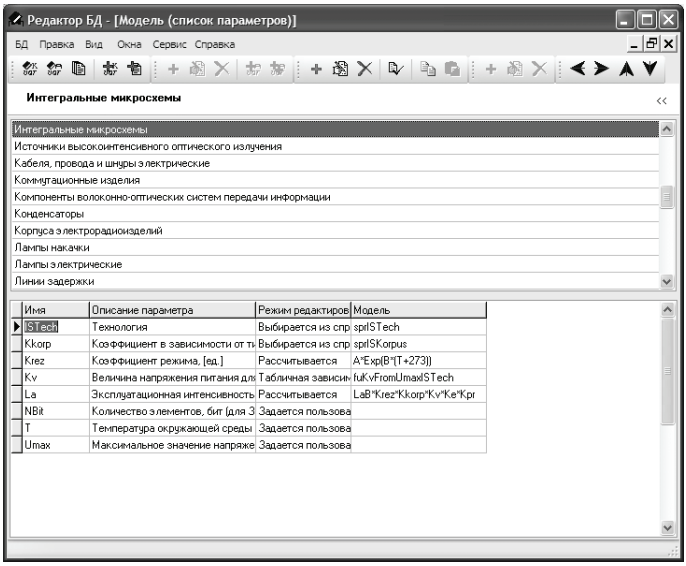
√ подсистема использует БД, общую для всей системы АСОНИКА и содержащую данные, необходимые не только для расчета надежности, но и для теплового и механического анализа;

√ математические модели, по которым производится расчет надежности, не являются частью программного кода, а хранятся в символьном виде в базе данных подсистемы. Это позволяет конечному пользователю редактировать и создавать математические модели, используя редактор БД.


Безопасность РЭС - F:\ДИСК F\ASONIKA_4-1\ACONИКА-Б\4-1-0\Bin\Примеры\prima.akp
Проект Правка Вид Сервис Окно Справка
Структура РЭС
Свойства элемента
Интенсивности отказов
Только редактируемые параметры
Параметр
Описание, [размерность]
Значение
Печатный узел
D1
D2
D3
C1
C2
R1
R2
VD1
VD2
VD3
VD4
VT1
VT2
BG1
X1
L1
Кол-во: 0


Безопасность РЭС - F:\ДИСК F\ASONIKA_4-1\ACONИКА-Б\4-1-0\Bin\Примеры\prima.akp
Проект Правка Вид Сервис Окно Справка
Структура РЭС
Свойства элемента
Интенсивности отказов
Печатный узел
D1 D2 D3 C1 C2 R1 R2 VD1 VD2 VD3 VD4 VT1 VT2 BG1 X1 L1
Кол-во: 16
пуск

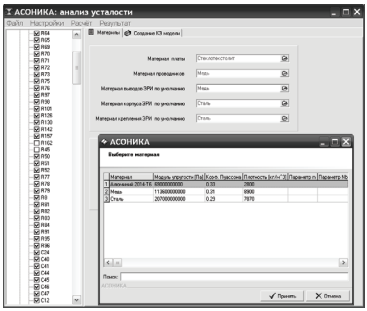

Безопасность РЭС - F:\ДИСК F\ASONIKA_4-1\ACONИКА-Б\4-1-0\Bin\Примеры\prima.akp
Проект Правка Вид Сервис Окно Справка
Новый Ctrl+N
Открыть Ctrl+O
Закрыть
Сохранить Ctrl+S
Сохранить как...
Сохранить отчет
Импорт
Экспорт
0. F:\ДИСК F\ASONIKA_4-1\ACONИКА-Б\4-1-0\Bin\Примеры\prima.akp
1. F:\ASONIKA_4-1\ACONИКА-Б\4-1-0\Bin\Примеры\prima.akp
2. F:\ASONIKA\ACONИКА-Б\Bin\Примеры\prima.akp
3. E:\ASONIKA\ACONИКА-Б\Bin\Примеры\prima.akp
Выход
Список ЭРИ
Электр. характеристик
Температур
Режимы работы
Значение
Печатный узел
0.9905336713015038
2762994.61919827
3.619261481914102E-7
Создать отчет по результатам расчета показателей безопасности РЭС
Кол-во: 16
пуск

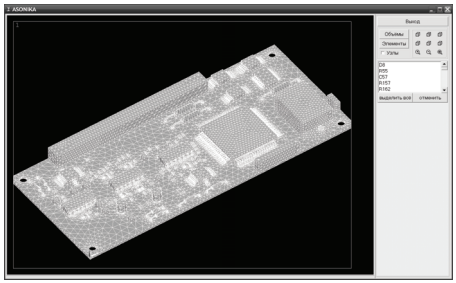

Редактор БД - [Модель (список параметров)]
БД Правка Вид Окна Сервис Справка
Интегральные микросхемы
Интегральные микросхемы
Источники высокоинтенсивного оптического излучения
Кабеля, провода и шнуры электрические
Коммутационные изделия
Компоненты волоконно-оптических систем передачи информации
Конденсаторы
Корпуса электрорадиоизделий
Лампы накачки
Лампы электрические
Линии задержки
Имя
Описание параметра
Режим редактиров
Модель
STech
Технология
Выбирается из спр
sprISTech
Kkorp
Коэффициент в зависимости от т
Выбирается из спр
sprISKorpus
Krez
Коэффициент режима, [ед.]
Рассчитывается
A*Exp(B*(T+273))
Kv
Величина напряжения питания дл
Табличная зависим
fuKvFromUmaxISTech
La
Эксплуатационная интенсивность
Рассчитывается
LaB*Krez*Kkorp*Kv*Ke*Kpr
NBit
Количество элементов, бит (для З
Задается пользова
T
Температура окружающей среды
Задается пользова
Umax
Максимальное значение напряже
Задается пользова

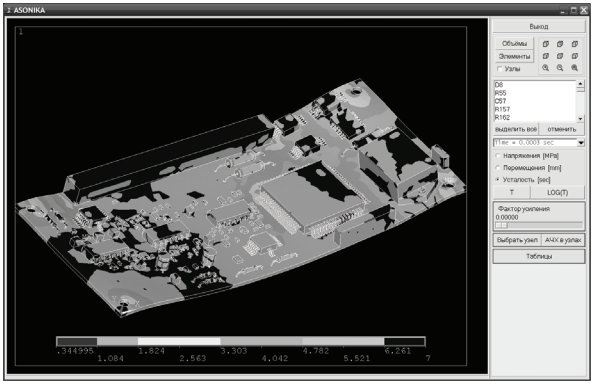
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ И ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

## АСОНИКА-УСТ

Подсистема позволяет рассчитывать время до усталостного разрушения печатных плат и электрорадиоизделий при воздействии гармонической вибрации, случайной вибрации, одиночных и многократных ударов. Результаты моделирования содержат собственные формы и частоты печатных узлов, а также перемещения, напряжения и ускорения в узлах конструкции. В качестве расчетного ядра используется ANSYS 14. Все параметры ЭРИ и материалов считываются из АСОНИКА-БД. Все параметры печатного узла конвертируются из подсистемы АСОНИКА-ТМ. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода. Реализована локальная база данных, содержащая усталостные параметры конструкционных материалов.



# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА АНАЛИЗА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ

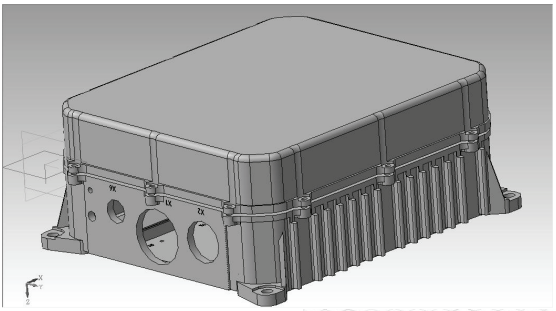
## АСОНИКА-ЭМС

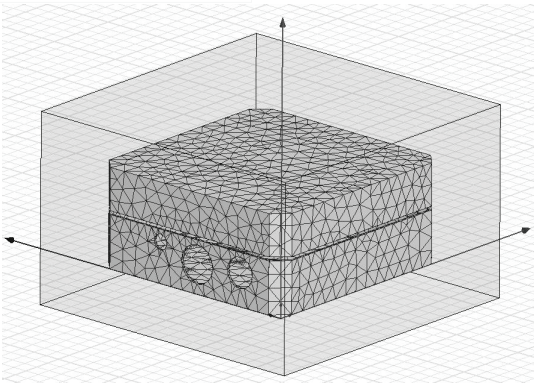
Подсистема позволяет рассчитывать:

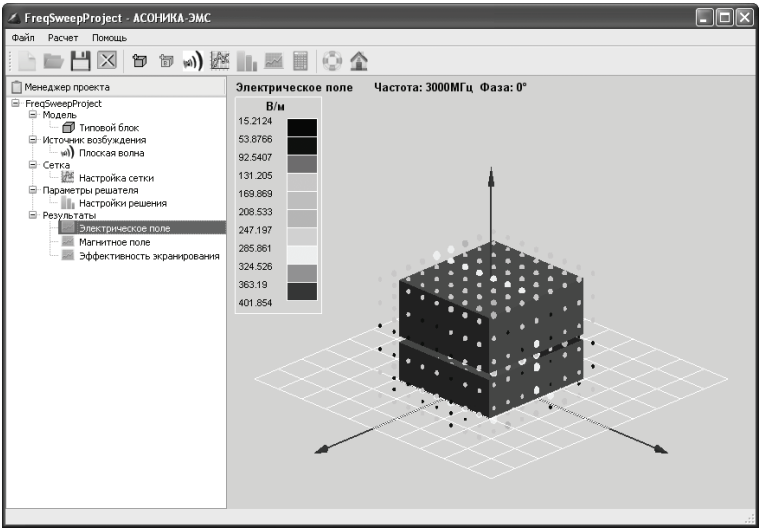
√ напряженности электрического и магнитного полей в трех измерениях внутри типового и произвольного корпуса электронного блока (импорт файлов моделей из CAD-систем в форматах IGES и SAT) при воздействии электромагнитных волн;

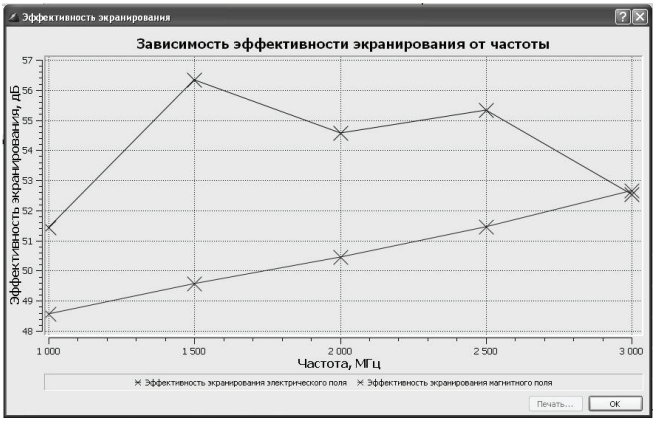
√ эффективность экранирования электрического и магнитного полей корпусом типового и произвольного блока.

В качестве расчетного ядра используется ANSOFT HFSS. Подсистема имеет удобный пользовательский графический интерфейс ввода-вывода и локальную базу данных, содержащую электромагнитные параметры конструкционных материалов.





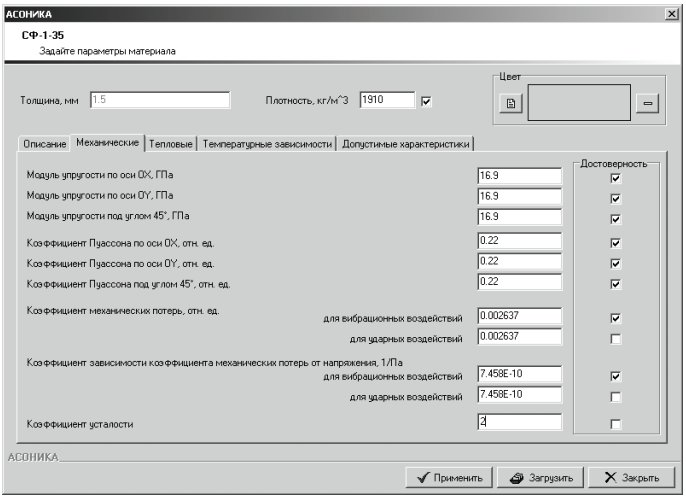

FreqSweepProject - АСОНИКА-ЭМС
Файл Расчет Помощь
Менеджер проекта
FreqSweepProject
Модель
Типовой блок
Источник возбуждения
Плоская волна
Сетка
Настройка сетки
Параметры решателя
Настройки решения
Результаты
Электрическое поле
Магнитное поле
Эффективность экранирования
Электрическое поле
Частота: 3000МГц Фаза: 0°
В/м
15.2124
53.8766
92.5407
131.205
169.869
208.533
247.197
285.861
324.526
363.19
401.854


Эффективность экранирования
Зависимость эффективности экранирования от частоты
Эффективность экранирования, дБ
57
56
55
54
53
52
51
50
49
48
1 000
1 500
2 000
2 500
3 000
Частота, МГц
Эффективность экранирования электрического поля
Эффективность экранирования магнитного поля
Печать...
OK

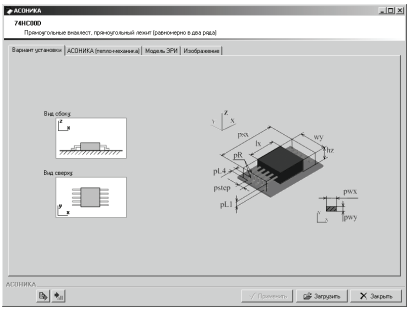
# СПРАВОЧНАЯ БАЗА ДАННЫХ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ И МАТЕРИАЛОВ ПО ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИМ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИМ, ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И НАДЕЖНОСТНЫМ ПАРАМЕТРАМ

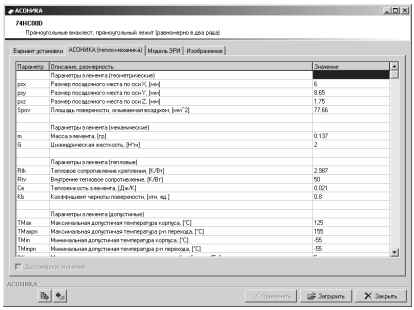
## АСОНИКА-БД

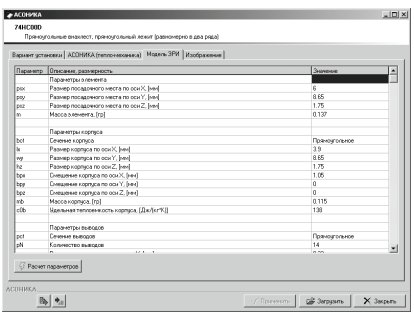
*Параметры материалов:*

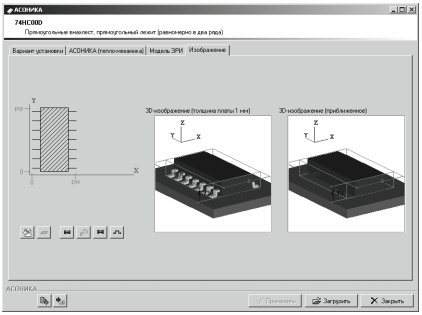



*Геометрические, физико-механические и теплофизические параметры электрорадиоизделий (ЭРИ):*

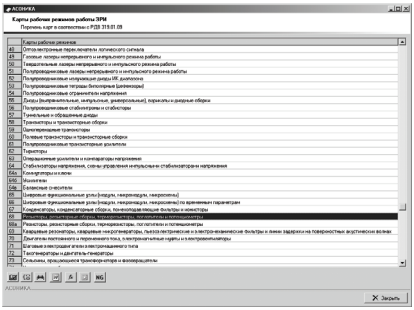


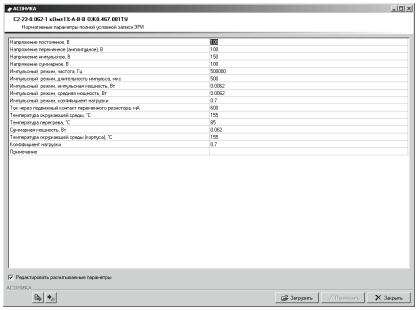


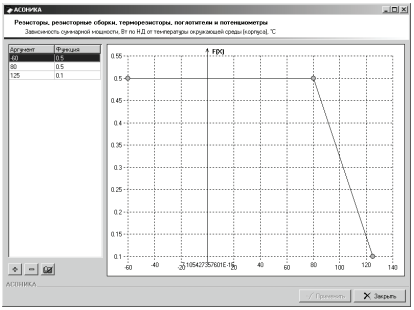


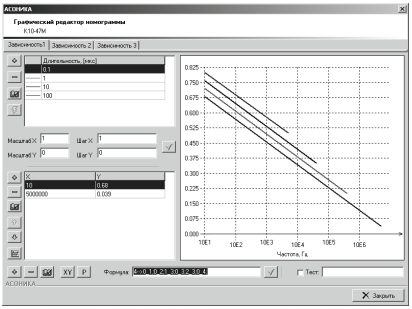


*Электрические параметры ЭРИ:*

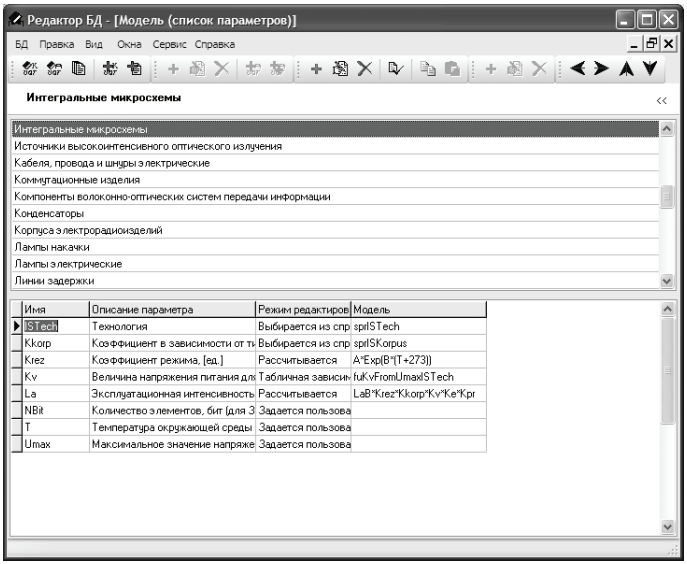








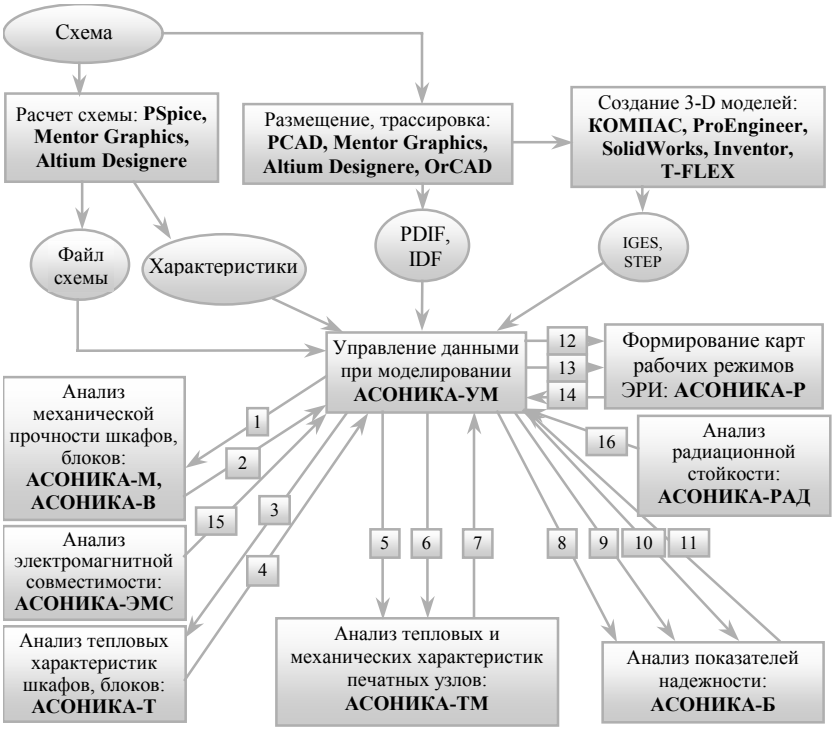
*Надежностные параметры ЭРИ:*



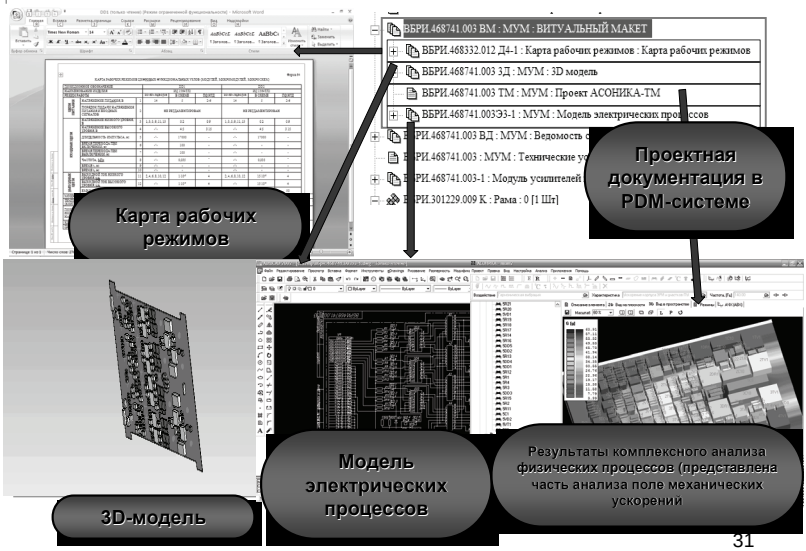
# АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛИРОВАНИЕМ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ

## АСОНИКА-УМ

Подсистема позволяет осуществить интеграцию с САПР, внедренных на предприятии (P-CAD, АСОНИКА, T-FLEX, Pro/ENGINEER, SolidWorks, КОМПАС, AutoCAD, PSpice и др.), и управлять передачей данных между подсистемами при моделировании в процессе конструкторского проектирования радиоэлектронных средств (РЭС). а также интегрируется с любой используемой на предприятии PDM-системой. В ходе проектирования позволяет сформировать комплексную электронную модель РЭС в рамках математических моделей тепловых, электрических, аэродинамических, электромагнитных, механических процессов и математической модели надежности и качества РЭС.



## ПРИМЕР ВИРТУАЛЬНОГО МАКЕТА



**Шалумов Александр Славович** – основатель Научной школы моделирования, информационных технологий и автоматизированных систем (НШ МИТАС), Генеральный директор ООО Научно-исследовательского института «АСОНИКА» и ООО «CALS-технологии», заведующий кафедрой информационных технологий Владимирского филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, профессор МИЭМ НИУ «Высшая школа экономики», доктор технических наук, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, Почетный работник науки и техники Российской Федерации, академик Международной академии информатизации.

**Увайсов Сайгид Увайсович** – руководитель направления диагностического моделирования в Научной школе «АСОНИКА®», академик Российской академии надёжности, лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Радиоэлектроника и телекоммуникации» МИЭМ Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

**Кофанов Юрий Николаевич** – основатель и руководитель Научной школы «АСОНИКА®», 15 членов которой (разработчики системы АСОНИКА®) получили в 2001 г. Премию Правительства РФ в области науки и техники; академик РАЕН, основатель и президент Российской академии надежности; доктор технических наук, профессор МИЭМ Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики».

**Малютин Николай Васильевич –** заместитель Генерального директора ОАО «НПЦ «САПСАН» по инновациям и научной работе, руководитель Центра моделирования радиоэлектронных приборов, комплексов и систем, доктор технических наук, профессор, академик Российской академии естественных наук, академик Российской академии надёжности.

Научное издание

**Серия «АСОНИКА»**

**под редакцией д.т.н., проф. А.С. Шалумова**

**Авторы:**

Александр Славович Шалумов, Юрий Николаевич Кофанов,
Сайгид Увайсович Увайсов, Николай Васильевич Малютин,
Владимир Николаевич Носков, Илья Сергеевич Урюпин, Роман Леонидович Желтов,
Максим Викторович Тихомиров, Дмитрий Борисович Соловьев,
Евгений Олегович Першин, Антон Владимирович Малов,
Наталья Александровна Шалумова, Сергей Валерьевич Чабриков,
Александр Иванович Манохин, Олег Евгеньевич Куликов,
Дмитрий Николаевич Травкин, Алексей Викторович Савельев,
Максим Юрьевич Ловушкин, Анатолий Александрович Соловкин,
Максим Александрович Шалумов, Петр Олегович Попов,
Александр Николаевич Семененко

# Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий

Коллективная монография

Под редакцией
д.т.н., проф. Александра Славовича Шалумова

Изд. № 3. Сдано в набор 15.01.2013
Подписано в печать 17.03.2013. Формат 60×90 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Печать офсетная
Печ. л. 26,5. Тираж 1000 экз. Зак. №

Издательство «Радиотехника»
107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6
тел./факс: (495)621-48-37; 625-78-72, 625-92-41
e-mail: info@radiotec.ru; www. radiotec.ru

Отпечатано в типографии ООО «Галлея-Принт»