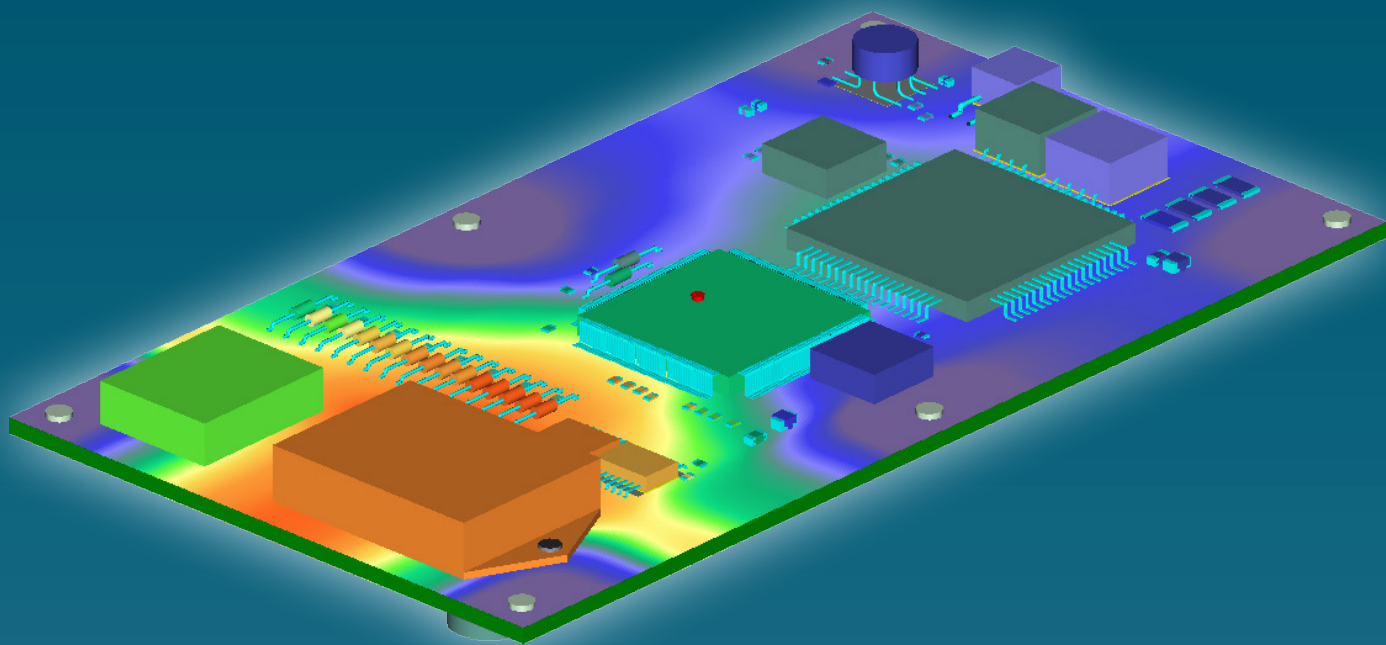

САПР электроники



ISSN 2949-4966

№ 1 (5)
2024

САПР электроники

Научно-практический журнал

№ 1 (5), 2024

Издается с 2023 г.

Главный редактор

Шалумов Александр Славович – д.т.н., проф., акад. Международной академии информатизации, Генеральный директор ООО «НИИ «АСОНИКА», председатель технического комитета по стандартизации ТК 165 «САПР электроники»

Адрес редакции:

600017, Владимирская обл., г. Владимир, ул. Луначарского, д. 16А
Тел.: +7 (916) 581-25-77
E-mail: als@asonika-online.ru
<https://asonika-online.ru/journal/>

Учредитель:

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ОГРН 1093332002312)

Языки: русский, английский

Территория распространения:

Российская Федерация, зарубежные страны

ISSN 2949-4966

Журнал зарегистрирован в Роскомнадзоре 29 декабря 2022 г. (Эл № ФС77-84458)

Дизайн и верстка: Шалумов М.А.

© Издательство ООО «НИИ «АСОНИКА», «САПР электроники», 2024

Дата выхода журнала: 22 ноября 2024 г.

Перепечатка материалов из журнала «САПР электроники» возможна только при письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «САПР электроники» обязательна. За содержание материалов ответственность несут авторы.

СОДЕРЖАНИЕ

От главного редактора.....	3
Шалумов А.С. Искусство моделирования в САПР электроники: тепловые воздействия...	6
Рафилович М.И. Государственный Центр «САПР электроники»	31
Ильин С.А. Первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной компонентной базы на внешние механические и тепловые воздействия.....	37
Шеховцов Д.В. Функциональная структура облачной платформы	45
Шохрин Р.С., Капкин И.Д., Медведев К.А., Иванов В.В., Рябинин А.Д., Московцев А.Ф. Программный комплекс для автоматизации подготовки управляющей информации для производства фотошаблонов	49
Лучин Д.В., Трофимов А.П., Филиппов Д.В., Юдин В.В. Современные подходы построения цифровой платформы в области электромагнитного моделирования ...	55
Блинков Н.Д. Проектирование и моделирование интегральных синтезаторов частот СВЧ диапазона в САПР Cadence Virtuoso ...	63
Иванов Д.А. Что такое ЗИП, и нужен ли он нам?	69
Ботуз С.П. Проектное управление основными процессами автоматизированного сетевого синтеза патентоспособных технических решений ..	72
Ботуз С.П. Экстремальная экономика проектного управления САПР предпринимательством ..	85
Бурова А.Ю., Малютин Н.В., Кофанов Ю.Н. Ретроспектива и перспективы автоматизации контроля надёжности и качества авиационной электронной аппаратуры	93
Малютин Н.В., Афанасьев А.С., Посысаев Е.И. Применение методов виртуальной инженерии в ходе работ по обеспечению стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов. Часть 3. Применение САПР АСОНИКА при испытании аппаратуры, стойкой к воздействию специальных факторов	104
Смирнов А.О. Фитоосвещение ТМ РАТЕП ..	110

CAD electronics

Scientific and practical journal

№ 1 (5), 2024

Published since 2023

Editor-in-chief

Shalumov Alexander Slavovich – Doctor of Technical Sciences, Prof., Acad. International Informatization Academy, General Director of Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD, Chairman of the Technical Committee for Standardization TC 165 «CAD electronics»

Editorial address:

600017, Vladimir region, Vladimir, st. Lunacharskogo, 16A
Tel.: +7 (916) 581-25-77
E-mail: als@asonika-online.ru
<https://asonika-online.ru/journal/>

Founder:

Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD (OGRN 1093332002312)

Languages: Russian, English

Distribution area:

Russian Federation, foreign countries

ISSN 2949-4966

The journal was registered in the Roskomnadzor on December 29, 2022 (EI No. FS77-84458)

Design and layout: Shalumov M.A.

© Scientific-Research Institute «ASONIKA» LTD Publishers, «CAD electronics», 2024

Journal release date: November 22, 2024

Reprinting materials from the journal «CAD electronics» is possible only with the written consent of the editors of the journal. When reprinting materials, a reference to the «CAD electronics» magazine is required. The authors are responsible for the content of the materials.

CONTENTS

From the editor-in-chief	3
Shalumov A.S. The art of modeling in CAD electronics: thermal influences	6
Rafilovich M.I. State Center for CAD electronics	31
Ilyin S.A. The first national standards in the field of virtual testing of electronic component base for external mechanical and thermal influences	37
Shekhovtsov D.V. Functional structure of the cloud platform	45
Shokhrin R.S., Kapkin I.D., Medvedev K.A., Ivanov V.V., Ryabinin A.D. Software package for automation of preparation of control information for photomask production	49
Luchin D.V., Trofimov A.P., Filippov D.V., Yudin V.V. Modern approaches to building a digital platform in the field of electromagnetic modeling	55
Blinkov N.D. Design and Simulation of Integrated Microwave Frequency Synthesizers in Cadence Virtuoso CAD System	63
Ivanov D.A. What is a spare part kit and do we need it?	69
Botuz S.P. Project management of the main processes of automated network synthesis of patentable technical solutions	72
Botuz S.P. The extreme economics of project management CAD entrepreneurship	85
Burova A.Yu., Malyutin N.V., Kofanov Yu.N. Retrospective and Prospects of Automation of Reliability and Quality Control of Aviation Electronic Equipment	93
Malyutin N.V., Afanasiev A.S., Posysaev E.I. Application of virtual engineering methods in the course of work to ensure the resistance of equipment to the effects of special factors. Part 3: The use of CAD ASONICS in the design of equipment resistant to the effects of special factors	104
Smirnov A.O. Phytolighting TM RATEP ...	110

От главного редактора журнала «САПР электроники»

Уважаемые авторы, читатели и коллеги!

Сегодня вышел уже 5-й номер журнала. До этого в 2023 году вышло 4 номера. Практически все профильные предприятия и вузы скачали четыре номера журнала с сайта журнала <https://asonika-online.ru/journal/>

Информация о всех номерах журнала направляется **всем профильным предприятиям, корпорациям, министерствам России.**

Бумажные версии журнала направляются:

- Президенту РФ В.В. Путину;
- Председателю Правительства РФ М.В. Мишустину;
- членам Правительства РФ;
- главам госкорпораций.

Ранее были направлены бумажные версии журнала № 3 и № 4. Администрация Президента РФ незамедлительно подтвердила их получение ответными письмами, направленными на имя главного редактора по почтовому адресу редакции.

Таким образом, журнал «САПР электроники» за два года стал массовым и единственным российским научно-практическим журналом в области САПР электроники, бесплатный доступ к которому имеют все желающие. И все желающие могут бесплатно опубликовать в журнале свои статьи

без цензуры.

Все цели достигнуты, все задачи выполнены. Журнал наглядно показал реальное положение дел с САПР электроники в России и выявил истинных российских разработчиков САПР электроники. Все, кто что-то сделал в этом направлении, опубликовались в 5-и номерах журнала.

В 2024 году были направлены официальные приветствия Председателя технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» Шалумова А.С. участникам следующих мероприятий в области САПР электроники:

1. I Научно-технической конференции Союзного государства «**Электронное Машиностроение – 2024**», запланированной к проведению в период 30-31 мая 2024 года в г. Минск Республики Беларусь, а также пленарного заседания № 1 по теме: «**Развитие САПР электроники** в парадигме Комплексной программы развития электронного машиностроения».

2. Международной конференции «**Цифровая индустрия промышленной России**», запланированной к проведению в период 21-24 мая 2024 года в городе Нижнем Новгороде, а также отраслевой сессии Минпромторга России «**САПР электроники и микроэлектроники**».

3. Российского форума «**Микроэлек-**



АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УПРАВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН
И ОРГАНИЗАЦИЙ

ул. Ильинка, д. 23, Москва, Российская Федерация, 103132

« 21 » декабря 20 23 г.

№ А26-02-НО-143400971

ШАЛУМОВ А.С.
ул. Луначарского, 16А, ТК 165 "САПР
электроники"
г. Владимир
Владимирская область,
600017



НО-
1434009

Ваше письмо на имя Президента Российской Федерации получено 21.12.2023 г. в письменной форме и зарегистрировано 21.12.2023 г. за № НО-1434009.

Консультант департамента
письменных обращений граждан и
организаций

Е.Афанасьева



АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УПРАВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН
И ОРГАНИЗАЦИЙ

ул. Ильинка, д. 23, Москва, Российская Федерация, 103132

« 21 » декабря 20 23 г.

№ А26-02-НО-143405071

ШАЛУМОВ А.С.
ул. Луначарского, 16А, ТК 165 "САПР
электроники"
г. Владимир
Владимирская область,
600017



НО-
1434050

Ваше письмо на имя Президента Российской Федерации получено 21.12.2023 г. в письменной форме и зарегистрировано 21.12.2023 г. за № НО-1434050.

Консультант департамента
письменных обращений граждан и
организаций

Е.Афанасьева

троники 2024», запланированного к проведению в период 23-28 сентября 2024 года на Федеральной территории «Сириус», а также круглого стола «Актуальные вопросы создания **отечественных САПР** и маршрутов проектирования ЭКБ и электронных модулей» (секция № 3, № 6).

4. Международного технологического конгресса, запланированного к проведению в период 17-19 сентября 2024 года в КВЦ «Патриот». В прикладной секции **«Доверенные средства проектирования»** был запланирован доклад Генерального директора ООО «НИИ «АСОНИКА», профессора Шалумова А.С. на тему: **«Экосистема «АСОНИКА» для автоматизации проектирования высокотехнологичной электроники в свете реализации стратегии научно-технологического развития России»**. Примечательно, что руководителем оргкомитета конгресса являлся Андрей Безруков, заместитель руководителя Аппарата Совета Федерации ФС РФ. Тот самый разведчик-нелегал, который явился прототипом главного героя фильма «Русские», демонстрировавшегося на канале «НТВ» этой осенью.

Во всех приветственных письмах было предложено доклады участников данных мероприятий, посвященные САПР электроники, бесплатно опубликовать в 5-м номере журнала «САПР электроники».

24 июня 2024 года я выступил на заседании ИЦК «Электроника и микроэлектроника» с презентацией программных решений ООО «НИИ «АСОНИКА». В своём выступлении я уделил особое внимание деятельности журнала «САПР электроники». С презентацией можно ознакомиться по ссылке: <https://disk.yandex.ru/d/2VrXfh7vY4AaxQ> По итогам рабочего совещания ИЦК «Электроника и микроэлектроника» принял решение:

1. Рекомендовать организациям-участникам ИЦК в срок до 17 июля 2024 года направить письма о заинтересованности в программных решениях ООО «НИИ «АСОНИКА» в адрес Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, с направлением копии в ИЦК «Электроника и микроэлектроника».

2. Рекомендовать в срок до 1 августа 2024 года рассмотреть на применимость САПР АСОНИКА на Межведомственном Совете главных технологов и главных конструкторов по ЭКБ.

Подробный разбор реального положения дел в области САПР электроники во всех вышеперечисленных мероприятиях показывает, что мы до сих пор находимся только в начале пути импортозамещения САПР электроники. Впереди очень много работы. А это требует создания, наконец, на базе реальных разработчиков **Единого координационного центра САПР электроники** для регулирования разработок отечественных средств проектирования и использования импортных средств САПР при выполнении Государственных программ. Прототип такого Центра фактически сегодня действует на **базе журнала «САПР электроники»** в инициативном порядке и при моральной поддержке Президента РФ В.В. Путина. Однако надо в срочном порядке прототип преобразовать в реально действующий Центр с привлечением **талантливых разработчиков САПР электроники**, имеющих существенные результаты в данной области не на словах, а на деле. Более подробно о таком Центре читайте в статье М.И. Рафиловича «Государственный центр САПР электроники».

Журнал «САПР электроники» своевременно выполнил свои функции. Из **фазы активного наступления** он перешёл в **фазу активного ожидания** новых реальных результатов в области отечественных САПР электроники. По мере появления таких результатов выходят очередные номера журнала.

На недавнем заседании президиума Дальневосточного отделения РАН президент РАН академик Геннадий Красников заявил: «Мы считаем, что в 2035 году на одной микросхеме разместятся **более трёх триллионов транзисторов**» (еженедельная газета научного сообщества «ПОИСК», №34-35 от 30 августа 2024 года, стр. 4). И это прекрасные перспективы! Ведь это означает, что лет за 5 до этого знаменательного события мирового значения (к 2030 году) в России должна появиться мощная

САПР микроэлектроники, которая позволит создать такие микросхемы. Ведь без САПР такие сложные микросхемы в принципе нельзя создать. А это в свою очередь означает, что уже сейчас идёт разработка такой САПР. Думаю, что разработчики этой САПР обязательно направят серию статей в наш журнал (а Геннадий Красников этому поспособствует), чтобы наши читатели, занятые разработкой микросхем, уже сейчас представляли, с каким инструментом им предстоит работать.

Только опора на реальных (а не мнимых) разработчиков позволит нам в обозримом будущем достичь технологического суверенитета России, курс на который обо-

значил Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин.

С уважением,
Шалумов Александр Славович,
Главный редактор журнала
«САПР электроники»,
Председатель технического комитета по
стандартизации
ТК 165 «САПР электроники», профессор



УДК 621.865:8:007.52:006.354

Искусство моделирования в САПР электроники: тепловые воздействия

Шалумов Александр Славович

Главный редактор журнала «САПР электроники», Генеральный директор ООО «НИИ «АСОНИКА», Председатель технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» (Росстандарт), академик Международной академии информатизации, профессор, доктор технических наук, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники, Почетный работник науки и техники РФ
<https://asonika-online.ru/>
als@asonika-online.ru

Аннотация

В статье рассмотрены: роль автоматизированного моделирования на тепловые воздействия в проектировании электроники; порядок проведения виртуальных испытаний и моделирования электронной аппаратуры на тепловые воздействия в САПР электроники; методика и примеры идентификации теплофизических параметров материалов; методика подготовки 3D-модели в САД-системе для последующего моделирования; примеры моделирования тепловых процессов в электронике с помощью системы АСОНИКА; примеры интеграции САПР электроники АСОНИКА с отечественными САПР; вопросы национальной стандартизации. В заключении определены дальнейшие шаги научного коллектива «АСОНИКА».

Ключевые слова: моделирование, тепловые воздействия, электроника, идентификация, национальная стандартизация, САПР.

The art of modeling in CAD electronics: thermal influences

Shalumov A.S.

Abstract

The article considers: the role of automated modeling for thermal effects in electronics design; procedure for conducting virtual tests and modeling electronic equipment for thermal effects in CAD electronics; methods and examples of identification of thermophysical parameters of materials; methods for preparing a 3D model in a CAD system for subsequent modeling; examples of modeling thermal processes in electronics using the ASONIKA system; examples of integrating ASONIKA CAD electronics with domestic CAD systems; issues of national standardization. In conclusion, further steps of the ASONIKA research team are defined.

Keywords: modeling, thermal influences, electronics, identification, national standardization, CAD.

Введение

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) и элект-

ронной аппаратуры (ЭА) на тепловые воздействия на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов ЭКБ и ЭА или их

значительно сократить на этапе испытаний опытного образца, сокращая тем самым количество испытаний опытного образца, возможные итерации по доработке схем и конструкций, затраты на разработку ЭКБ и ЭА при одновременном повышении качества и надёжности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭКБ и ЭА конкурентоспособными на отечественном и международном рынке [1-9].

Использование только натуральных испытаний ЭКБ и ЭА на внешние воздействующие факторы без применения моделирования малоинформативно и неэффективно, так как на этапе проектирования не отслеживается большинство возможных отказов ЭКБ и ЭА; при испытаниях не проверяются критические режимы (либо технически невозможно, либо дорого из-за возможных отказов испытуемых ЭКБ и ЭА); из-за недоработок проектирования ЭКБ и ЭА, вскрытых путем испытаний, возможно множество итераций: доработка проекта – испытания опытного образца – доработка проекта и т.д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки; при натуральных испытаниях практически невозможно воспроизвести комплексные (одновременно действующие) воздействия; невозможно установить датчики во всех точках конструкции ЭКБ и ЭА и контролировать их поведение, выбор контрольных точек при испытаниях субъективен и опирается в основном на опыт и интуицию.

Традиционная технология проектирования, где предпочтение отдавалось стендовым испытаниям, устарела. **По оценкам специалистов до 50% летательных аппаратов приземляются с отказами аппаратуры. При этом 50% отказов вызвано несоответствием стендовых испытаний и реальных условий эксплуатации.** Испытания, не интегрированные с расчетными экспериментами, являются малоинформативными из-за невозможности установить датчики во многих точках конструкции, не позволяют провести исследования в критических режимах работы изделия из-за его разрушения, не позволяют распространить результаты испытаний отдельных образцов на все другие экземпляры изделия данного

типа из-за случайных значений разбросов параметров.

1 Роль автоматизированного моделирования на тепловые воздействия в проектировании электроники

Повышение температуры ЭКБ и ЭА происходит под воздействием **внешних и внутренних факторов**, причем это воздействие может быть непрерывным (стационарным), периодическим и аperiodическим.

Действие внешних факторов определяется климатическими условиями, местом установки (на самолете, корабле, автомобиле и т. д.) и назначением ЭА. Климатические условия характеризуются, в частности, температурой окружающей среды и интенсивностью солнечной радиации, которые могут изменяться в широких пределах. Температура и скорость нагрева ЭА под действием солнечной радиации зависят от размеров и цвета поверхности изделий, теплопроводности и теплоёмкости материалов конструкций. Указанные факторы определяют **предельную температуру нагрева**, по достижении которой поверхность изделий начинает переизлучать принятую теплоту. В зависимости от места установки ЭА на температуру и скорость нагрева может оказывать влияние скорость ветра.

Действие внутренних факторов определяется схемой и конструкцией ЭА.

Непрерывному тепловому воздействию подвергается ЭА, эксплуатирующаяся или хранящаяся в стационарных температурных условиях (в помещении). Длительность установления стационарного режима определяется назначением ЭА и принятым схемно-конструкторским решением и составляет 0,5...2,5 ч.

Периодическому тепловому воздействию подвергается транспортируемая ЭА или ЭА, эксплуатируемая на открытом воздухе. Такой вид воздействия связан с быстрыми изменениями условий эксплуатации (взлет и посадка самолета, работа в полевых условиях и т. д.), а также при суточном изменении температуры (циклическое воздействие температуры). Периодические

изменения температуры приводят к многократным деформациям различных элементов.

Причем интенсивность воздействия тем больше, чем больше перепад между повышенной и пониженной температурами, а также чем больше скорость и частота их изменений. Для ЭА, эксплуатирующейся в наземных условиях на открытом воздухе, перепады температуры за время их прогрева могут превышать 60 °С. Продолжительность прогрева зависит от назначения ЭА и её схемно-конструкторского решения и колеблется в диапазоне 10 мин...3 ч. При эксплуатации ЭА авиационной техники перепады температуры могут достигать 80 °С при скорости изменения температуры до 50°С/мин.

Апериодическому тепловому воздействию подвергается ЭА, устанавливаемая на ракетах (в моменты запуска и вхождения в плотные слои атмосферы) и в ряде других случаев. Резкое изменение температуры может приводить к внезапному возникновению отказов, вызванному изменением электрофизических, физико-химических и механических свойств материалов и элементов.

Таким образом, повышение температуры ЭА при эксплуатации, хранении и транспортировании может вызывать появление постепенных и внезапных отказов ЭА. Поскольку повышение температуры происходит под воздействием внешних и внутренних факторов, то важное значение приобретает состояние ЭА. Состояние ЭА определяется тем, является ли оно **тепловыделяющим (теплорассеивающим)** или **нетепловыделяющим (нетеплорассеивающим)**. Температура тепловыделяющей ЭА зависит не только от условий окружающей среды, но и от количества рассеиваемой ей теплоты, что следует учитывать при испытании.

Различают следующие механизмы теплообмена:

- конвекция (свободный обмен воздуха или принудительная циркуляция воздуха);
- излучение;
- теплопроводность.

Поскольку тепловые характеристики

ЭА являются одной из наиболее важных составляющих эксплуатационно-технических характеристик и процесс обеспечения требований к ним при проектировании имеет свои специфические особенности, большое внимание уделяется в последнее время разработке и внедрению **методов теплофизического проектирования**, которое определяется как процесс поиска структуры и характеристик параметров ЭА и системы охлаждения для обеспечения определенных требований к тепловым характеристикам. Причем задача должна быть решена так, чтобы проектируемая ЭА была в определенном смысле оптимальной для заданных условий. При этом, если требования к тепловым характеристикам элементов проектируемой ЭА получены не только из анализа требований технических условий (ТУ) на ЭКБ, но также из условия обеспечения заданной стабильности электрических характеристик ЭА (т.е. с точки зрения параметрических отказов) и условия минимизации показателей безотказности (с точки зрения внезапных отказов), можно говорить о реализации **комплексного подхода к процессу проектирования**.

В качестве тепловых характеристик ЭА могут рассматриваться, например, значения температур ЭКБ ЭА в установившемся тепловом режиме, время выхода ЭА на установившийся тепловой режим, время достижения ЭКБ ЭА предельно допустимых значений температур и т.п. Требования к тепловым характеристикам могут быть получены на основе использования тех или иных критериев оптимальности, выбор которых обычно определяется спецификой решаемой задачи.

Из практики проектирования известно, что неправильно спроектированная конструкция может свести на нет все преимущества, достигнутые в процессе разработки электрической схемы. В то же время, рядом специальных конструктивных мероприятий можно значительно улучшить электрические характеристики ЭА и в некоторых случаях скомпенсировать схемные решения, нецелесообразные в смысле надёжности. В самом деле, **основными задачами при проектировании ЭА**, в том числе в микро-

электронном исполнении, являются:

- обеспечение заданных в техническом задании требований к номинальным значениям электрических характеристик;
- обеспечение требований по стабильности электрических характеристик как в нормальных, так и в экстремальных условиях эксплуатации;
- минимизация показателей безотказности ЭА с точки зрения внезапных отказов.

Причем ясно, что при выбранной схеме, элементной базе и параметрах элементов показатели безотказности ЭА и стабильности электрических характеристик в заданных условиях эксплуатации будут определяться, в основном, конструктивным исполнением.

Для ЭА влияние конструктивного исполнения на электрические характеристики и безотказность определяется, в первую очередь, влиянием тепловых режимов работы ЭКБ.

Так, например, относительное изменение интенсивности отказов ЭКБ при изменении температуры их рабочей зоны на 100 С лежит в пределах 8...65% в зависимости от типа ЭКБ и режимов их работы (см. таблицу 1.1).

Т.е. в смысле снижения безотказности проектируемой ЭА необходимо не только обеспечение попадания значений темпера-

Таблица 1.1 – Относительное изменение интенсивности отказов ЭРИ при изменении их температуры на 10° С

Наименование элементов	Относительное изменение интенсивности отказов, %
Резисторы	8...25
Полупроводниковые диоды кремниевые	65 28
Транзисторы германиевые	22
Транзисторы кремниевые	13
Конденсаторы	22...52
Трансформаторы и дроссели	27

тур ЭКБ в экстремальных режимах эксплуатации в определенный ТУ диапазон, но и перераспределение этих значений с точки зрения минимизации соответствующего критерия безотказности.

Причем в плане реализации комплексного подхода к процессу схемотехнического проектирования целесообразно решение этой задачи следующим образом:

- на основе выбранной (разработанной) принципиальной электрической схемы и анализа чувствительности и стабильности её электрических характеристик выделить элементы схемы, тепловые характеристики которых наиболее существенно влияют на электрические характеристики ЭА;

- определить предельно возможный диапазон изменения температур этих элементов из условия обеспечения заданных допусков на выходные характеристики;

- полученные отсюда ограничения на температуры ЭКБ должны быть совмещены с ограничениями, заданными в ТУ.

Недостаточно полный учёт влияния тепловых характеристик при проектировании ЭА приводит к большим затратам на доработку проектируемой ЭА. Причем решение возникающих при этом вопросов только лишь за счет схемотехнических мероприятий не всегда удается, либо приводит к значительному усложнению электрической схемы ЭА, что, во-первых, снижает её надёжность по отношению к внезапным отказам, и, во-вторых, вследствие необходимости проведения усложнения схем во всех каналах ЭА, приводит к резкому ухудшению массогабаритных и энергетических показателей ЭА.

Это лишний раз говорит о необходимости реализации комплексного подхода к проектированию ЭА на основе средств и методов автоматизации проектирования. Причем заслуживает отдельного внимания выбор соответствующего критерия качества ЭА, на основе которого целесообразно решать задачу комплексного проектирования.

2 Порядок проведения виртуальных испытаний и моделирования ЭА на тепловые воздействия в

САПР электроники

Многолетняя (более 40 лет) практика работы с предприятиями по решению задач моделирования электроники на тепловые воздействия показывает, что умение решать эти задачи в САПР электроники является настоящим **искусством**. В машиностроении нет тех проблем, которые возникают в электронике. Поэтому ранее созданные на предприятиях расчётные центры не справились с поставленной задачей. Как правило, там работали знатоки теории тепломассообмена, но абсолютные дилетанты в области электроники. Для них электроника – это просто сборка, состоящая из деталей. На самом деле электроника – это живая конструкция, внутри которой протекает множество физических процессов, которая состоит из материалов с особыми свойствами с точки зрения моделирования тепловых процессов.

Порядок проведения виртуальных испытаний:

1. Проводят поиск (идентификацию) теплофизических параметров материалов ЭА.

2. Найденные параметры материалов ЭА заносят в базу данных для использования в процессе моделирования и виртуальных испытаний.

3. Идеализация (упрощение) процессов теплопередачи в конструкциях шкафов и блоков ЭА, для которых отсутствуют 3D-модели.

4. Проводят подготовку 3D-моделей:

– в формате STEP конструкций шкафов и блоков ЭА в CAD-системах, отвечающих требованиям по устранению ошибок, упрощению и сохранению модели;

– типовых конструкций шкафов и блоков ЭА в специализированных интерфейсах.

5. Проводят импорт моделей в формате STEP конструкций в подсистеме виртуальных испытаний ЭА на тепловые воздействия.

6. Проводят виртуальные испытания ЭА на стационарные и нестационарные тепловые воздействия с применением моделирования тепловых процессов в ЭА на стационарные и нестационарные тепловые

воздействия.

Для стационарного теплового процесса определяют температуры во всех узлах модели тепловых процессов, по которым рассчитывают возможные тепловые перегрузки, то есть превышения расчетных температур над максимально допустимыми, заданными в технических условиях на элементы конструкции ЭА.

Для нестационарного теплового процесса определяют температуры в зависимости от времени во всех узлах модели тепловых процессов, по которым рассчитывают возможные тепловые перегрузки, то есть превышения расчетных температур над максимально допустимыми, заданными в технических условиях на элементы конструкции ЭА.

7. По результатам виртуальных испытаний составляют отчет, в котором приводят информацию об оцениваемых характеристиках.

3 Методика идентификации теплофизических параметров материалов

Математическое моделирование процессов теплообмена в теплонагруженных элементах конструкций невозможно без наличия достаточно полных и надёжных данных о теплофизических свойствах материалов. Для большинства материалов в справочной литературе отсутствуют необходимые для моделирования теплофизические параметры и их зависимости от температуры. Идентификация позволяет определить неизвестные справочные параметры, например, коэффициент черноты, теплопроводности и теплоёмкость, на основе полученных экспериментальных температур частей или элементов конструкции.

В широком смысле **идентификация – это установление соответствия между объектом, представленным некоторой совокупностью экспериментальных данных о его свойствах, и моделью объекта**. В данном случае требуется сопоставлением экспериментальных данных и данных математического моделирования определить неизвестные теплофизические

параметры материалов конструкций. Наиболее плодотворными и перспективными являются методы идентификации, построенные на принципе настраиваемой модели. Основная идея этого подхода сводится к схеме, представленной на рисунке 3.1.

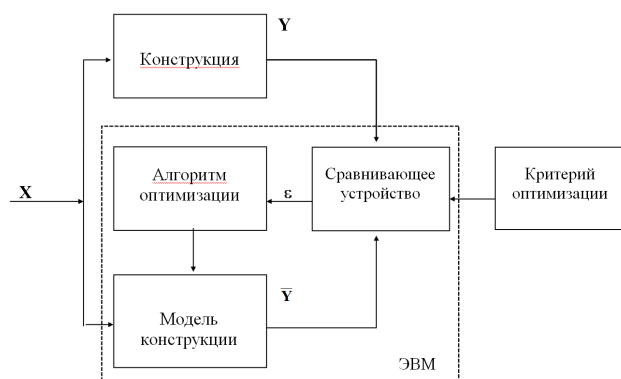


Рисунок 3.1 – Структурная схема идентификации на основе настраиваемой модели

Здесь X – тепловое воздействие на конструкцию; $Y, \bar{Y}$ – соответственно экспериментальная и расчетная (полученная моделированием на ЭВМ) зависимости температуры в контрольной точке конструкции от времени; $\varepsilon = |Y - \bar{Y}|$ – ошибка. Эта общая схема включает в себя довольно широкий набор вариантов, которые различаются в основном организацией процесса настройки модели в смысле принятого критерия идентификации. Выбор такого критерия – сложная задача, во многом определяющая алгоритмы и техническую реализацию подобных схем. Наиболее распространены выражения критериев в виде интеграла квадрата ошибки:

$$U = \int_0^{t_1} \varepsilon^2(t) dt,$$

где t_1 – длительность теплового воздействия; t – текущее значение времени.

Задача идентификации формулируется в следующем виде: необходимо найти такие значения параметров математиче-

ской модели, которые удовлетворяют минимуму функции цели и лежат в области допустимых значений параметров, т.е. задача идентификации сводится к задаче оптимизации. Функция цели имеет вид

$$H(\bar{Q}) = \sum_{i=1}^m (t_{э,i} - t_{р,i})^2,$$

где m – количество точек измерения по времени; $t_{э,i}, t_{р,i}$ – экспериментальное и расчетное значения температуры в i -й момент времени.

4 Примеры идентификации теплофизических параметров материалов

4.1. Пример идентификации коэффициента черноты материала

Дано: пластина размером 10x10x1 мм из материала с неизвестным коэффициентом черноты.

Требуется: идентифицировать коэффициент черноты.

Решение.

1. Предположим, реализована электрическая схема, в которой на поверхности материала рассеивается 0.15 Вт (например, установлен полупроводник).

2. Измерим температуру материала. Пусть получили температуру 70 °С.

3. Построим тепловую модель в подсистеме АСОНИКА-Т (стационарный режим). Модель представлена на рисунке 4.1.1.

4. Введем в параметры соответствующих узлов измеренную на шаге 2 температуру (см. рисунок 4.1.2).

5. Проводим тепловой расчёт. Температура в узле 1 (84.4 °С) отличается от экспериментальной (70 °С).

6. С помощью пункта меню «Идентификация» – «Стационарная» переходим к соответствующему диалоговому окну (см. рисунок 4.1.3).

7. На вкладке «Параметры идентификации» выбираем идентифицируемый параметр и корректируем его возможное минимальное и максимальное значение в соответствии с известными ограничениями. В данном случае мы идентифицируем коэффициент черноты, и он может изме-

няться в диапазоне от 0.01 до 1 отн.ед. (см. рисунок 4.1.4).

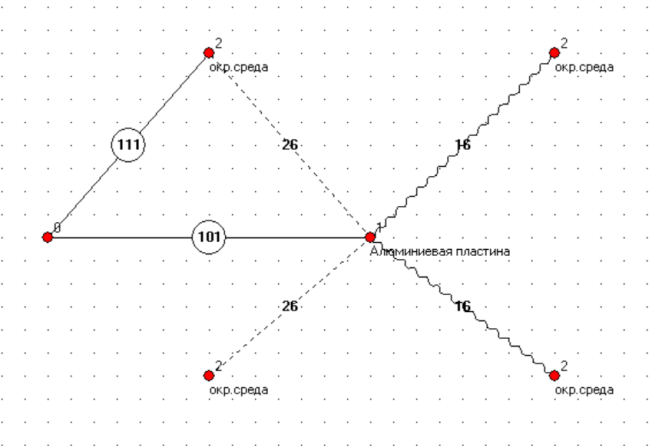


Рисунок 4.1.1 – Тепловая модель в подсистеме АСОНИКА-Т

АСОНИКА

Параметры узла

Номер узла : 1

Имя узла : Алюминиевая пластина

Температура, [Град. Ц]

Экспериментальная: 70.0

Максимально допустимая:

OK Отмена

Рисунок 4.1.2 – Ввод экспериментальных температур в узлы модели

АСОНИКА

Стационарная идентификация

Экспериментальные температуры

№ Узла	Температура узла
1	70

Импорт Рассчитать Применить Закрыть

Рисунок 4.1.3 – Вкладка «Экспериментальные температуры» диалогового окна «Стационарная идентификация»

АСОНИКА

Стационарная идентификация

Параметры идентификации

Список ветвей

1	2	16	Теплообмен излучением с неровной поверхностью
1	2	26	Естественная конвекция с плоской неровной поверхностью в окружающую среду
1	2	16	Теплообмен излучением с плоской неровной поверхностью
1	2	26	Естественная конвекция с плоской неровной поверхностью в окружающую среду
1	0	101	Источник мощности
2	0	111	Источник постоянной температуры

Параметры ветви

Длина поверхности	Мин. значение	Макс. значение
Ширина поверхности	0.02 отн.ед.	1 отн.ед.
Коэффициент излученности		

Импорт Рассчитать Применить Закрыть

Рисунок 4.1.4 – Вкладка «Параметры идентификации» диалогового окна «Стационарная идентификация»

8. Далее нажмем кнопку «Рассчитать». В результате будет выведено окно с результатом (см. рисунок 4.1.5). После этого будет доступна кнопка «Применить», которая позволит скопировать рассчитанное значение в соответствующие параметры ветвей модели.

Степень черноты поверхности: 0.720394899490717 отн.ед.

OK

Рисунок 4.1.5 – Сообщение с результатом расчета

9. Можно также проверить корректность результата, выполнив расчёт тепловой модели в подсистеме АСОНИКА-Т (см. рисунок 4.1.6).

АСОНИКА

Температура в узлах модели

№ узла	Имя узла	Температура, °C
1	Алюминиевая пластина	70
2	окр. среда	25

Рисунок 4.1.6 – Результаты теплового расчёта с учетом идентифицированного параметра

4.2. Пример идентификации коэффициента теплопроводности материала
Дано: пластина размером 10x10x1 мм

из материала с неизвестным коэффициентом теплопроводности.

Требуется: идентифицировать коэффициент теплопроводности.

Решение.

1. Предположим, реализована электрическая схема, в которой на поверхности материала рассеивается 0.15 Вт (например, установлен полупроводник), преимущественно, на левой половине пластины.

2. Измерим температуру материала. Пусть получили средние температуры 67 °С для левой половины и 54 °С для правой половины.

3. Построим тепловую модель в АСОНИКА-Т (стационарный режим). Для определения коэффициента теплопроводности мысленно разобьём пластинку пополам, соединив ветвью теплопроводности (см. рисунок 4.2.1).

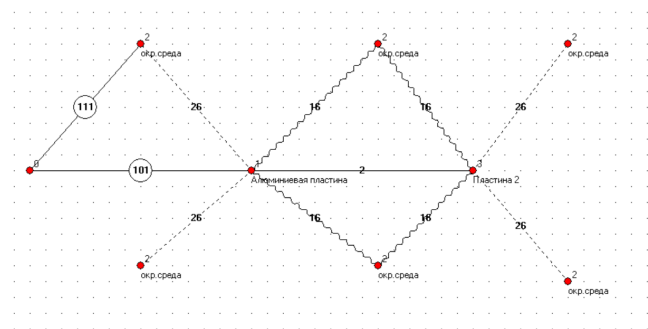


Рисунок 4.2.1 – Тепловая модель в подсистеме АСОНИКА-Т

4. Введём экспериментальные температуры.

5. Проводим тепловой расчёт. Температура в узле 1 отличается от экспериментальной (67 °С).

6. С помощью пункта меню «Идентификация» – «Стационарная» переходим к соответствующему диалоговому окну.

7. На вкладке «*Параметры идентификации*» выбираем идентифицируемый параметр и корректируем его возможное минимальное и максимальное значение в соответствии с известными ограничениями. В данном случае мы идентифицируем коэффициент теплопроводности. Диапазон его изменений может быть широким, т.е. оставляем значения по умолчанию для диапазона изменений параметра (см. рисунок

4.2.2).

8. Далее нажмем кнопку «Рассчитать». В результате будет выведено окно с результатом (см. рисунок 4.2.3). После этого будет доступна кнопка «Применить», которая позволит скопировать рассчитанное значение в соответствующие параметры ветвей модели.

9. Можно также проверить корректность результата, выполнив расчёт тепловой модели в подсистеме АСОНИКА-Т.

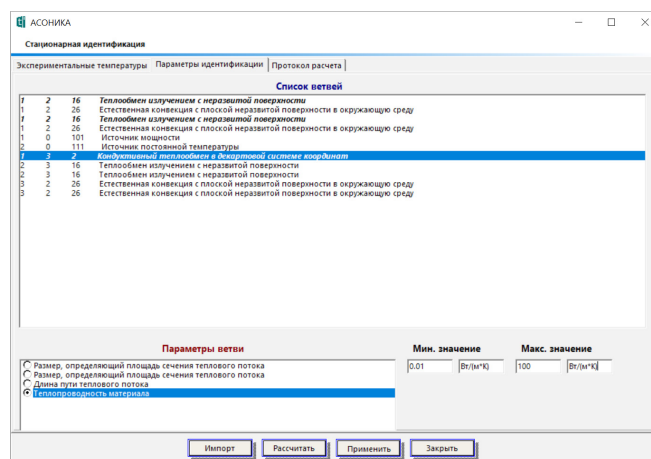


Рисунок 4.2.2 – Вкладка «Параметры идентификации» диалогового окна «Стационарная идентификация»

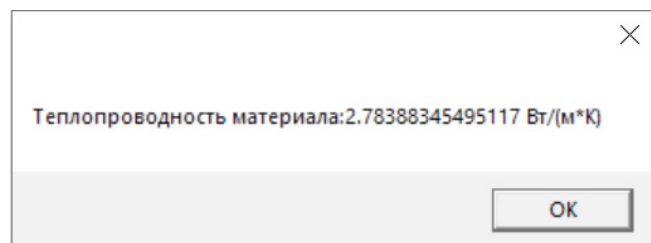


Рисунок 4.2.3 – Сообщение с результатом расчета

4.3. Пример идентификации теплоемкости

Дано: пластина размером 10x10x1 мм из материала с неизвестной теплоемкостью.

Требуется: идентифицировать теплоёмкость материала.

Решение.

1. Предположим, реализована электрическая схема, в которой на поверхности материала рассеивается 0.15 Вт (например, установлен полупроводник).

2. Осуществим замеры температуры на протяжении 500 сек. каждые 30 сек на

поверхности материала. Получаем следующие данные:

Время, секунды	Температура, °C
0	25
30	36.95
60	46.78
90	54.59
120	60.7
150	65.42
180	69.02
210	71.76
240	73.92
270	75.49
300	76.72
330	77.62
360	78.33
390	78.86
420	79.25
450	79.53
480	79.7

3. Построим тепловую модель в АСОНИКА-Т (нестационарный режим) (см. рисунок 4.3.1).

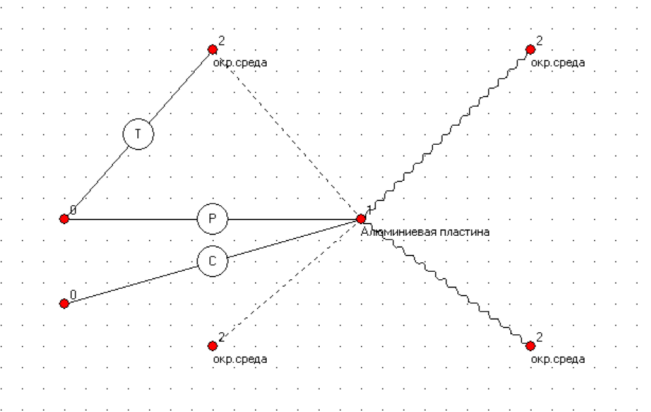


Рисунок 4.3.1 – Тепловая модель в подсистеме АСОНИКА-Т

4. Проводим тепловой расчёт. Температура в узле 1 отличается от экспериментальной (см. рисунок 4.3.2).
5. Задаём переменную экспериментальную температуру в узле 1 модели.
6. С помощью пункта меню «Идентификация» – «Нестационарная» переходим

к соответствующему диалоговому окну. Вкладка «Экспериментальные температуры» открывается по умолчанию. В ней отображаются введенные ранее экспериментальные температуры узлов (см. рисунок 4.3.3).

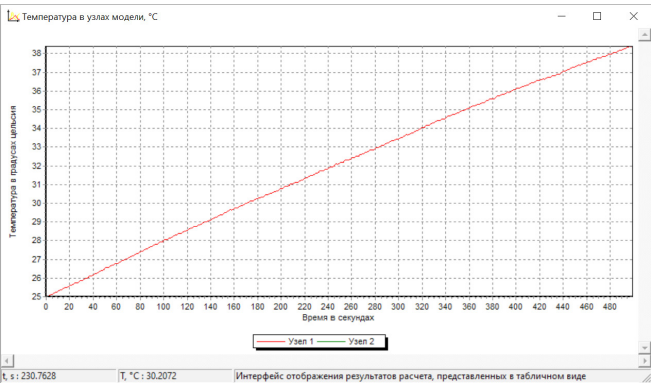


Рисунок 4.3.2 – Результаты теплового расчёта до идентификации

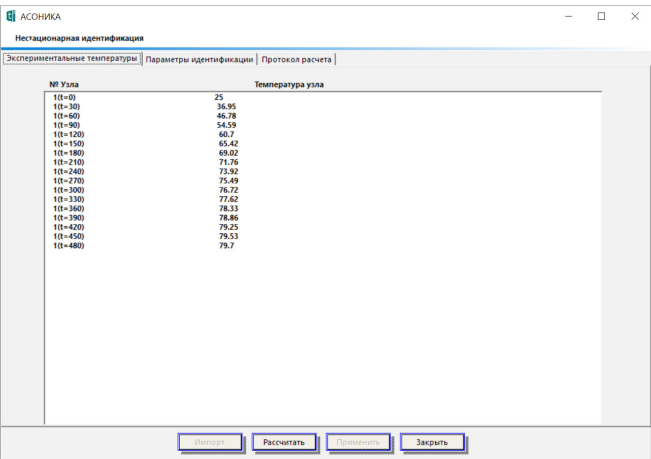


Рисунок 4.3.3 – Вкладка «Экспериментальные температуры» диалогового окна «Нестационарная идентификация»

7. На вкладке «Параметры идентификации» выбираем идентифицируемый параметр и корректируем его возможное минимальное и максимальное значение в соответствии с известными ограничениями. В данном случае мы идентифицируем теплоемкость. Диапазон её изменений задаём от 0.001 до 1 (см. рисунок 4.3.4).
8. Далее нажмем кнопку «Рассчитать». В результате будет выведено окно с результатом (см. рисунок 4.3.5). После этого будет доступна кнопка «Применить», которая позволит скопировать рассчитанное значение в соответствующие параметры ветвей модели.

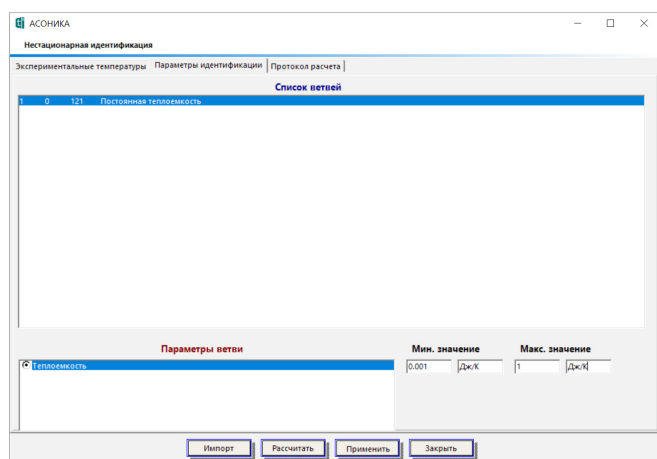


Рисунок 4.3.4 – Вкладка «Параметры идентификации» диалогового окна «Нестационарная идентификация»

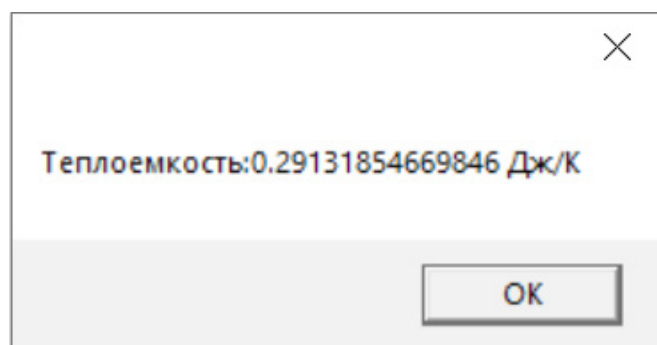


Рисунок 4.3.5 – Сообщение с результатом расчёта

9. Можно также проверить корректность результата, выполнив расчёт тепловой модели в подсистеме АСОНИКА-Т (см. рисунок 4.3.6).

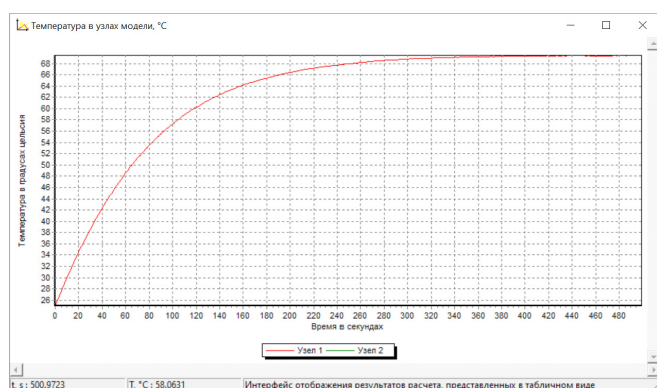


Рисунок 4.3.6 – Результаты теплового расчёта с учетом идентифицированного параметра

5 Методика подготовки 3D-модели в САД-системе для последующего моделирования

Данная методика подробно рассмотрена в п.6 «Методика подготовки 3D-модели

в САД-системе для последующего моделирования» [10]. При проведении тепловых расчётов, при создании расчётной модели сложной конструкции становится актуальным использование идеализации её геометрии, которая в дальнейшем оказывает влияние на достоверность результатов, полученных при расчёте. Это связано с тем, что часто модель непригодна для расчёта ввиду наличия элементов, её усложняющих. В данной методике представлены способы упрощения 3D-модели конструкции, применение которых позволяет подготовить её к расчёту в САЕ-системе.

6 Примеры моделирования тепловых процессов в ЭКБ и ЭА с помощью системы АСОНИКА

6.1. Моделирование тепловых характеристик печатных узлов

Исходные данные.

Фотография печатного узла представлена на рис. 6.1.1. Также имеются перечень ЭКБ, файл печатного узла, созданный в САПР печатных плат (импортируется в АСОНИКА-ТМ с помощью специального конвертора).

АСОНИКА-ТМ по перечню ЭКБ автоматически считывает все необходимые геометрические, физико-механические и теплофизические параметры ЭКБ из базы данных подсистемы АСОНИКА-БД.

АСОНИКА-ТМ по марке материала автоматически считывает все необходимые физико-механические и теплофизические параметры материалов из базы данных подсистемы АСОНИКА-БД.

Изображение печатного узла в графическом интерфейсе АСОНИКА-ТМ представлено на рис. 6.1.2.

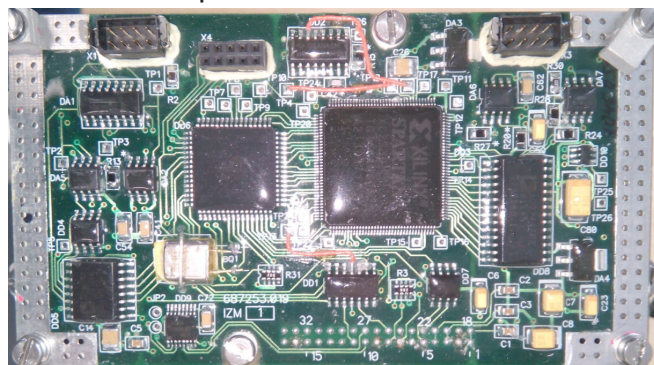


Рисунок 6.1.1 – Фотография печатного узла

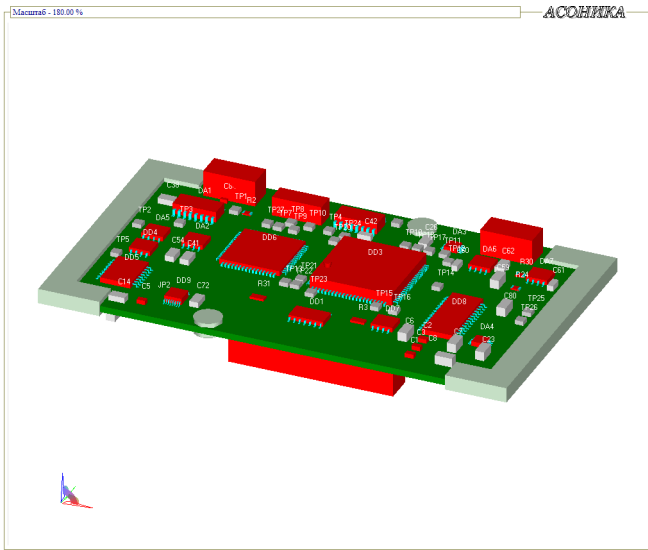


Рисунок 6.1.2 – Изображение печатного узла в графическом интерфейсе АСОНИКА-ТМ

Входные тепловые воздействия.
Максимальная температура воздуха внутри блока составляет 65 °С.
Результаты моделирования в АСОНИКА-ТМ.

Можно вывести поля максимальных температур в печатном узле (см. рисунок 6.1.3). Эти данные можно посмотреть как с первой стороны платы, так и со второй стороны.

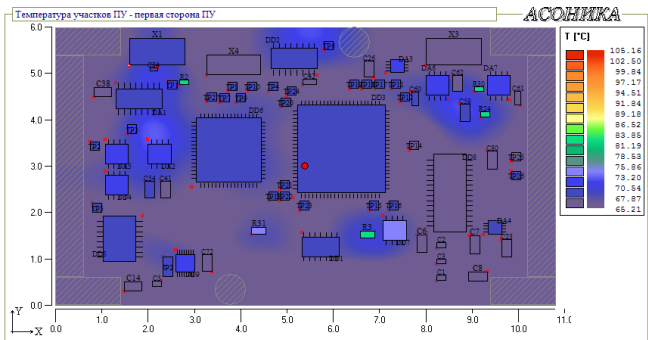


Рисунок 6.1.3 – Поля максимальных температур в печатном узле

Фрагмент карты тепловых режимов ЭКБ приведён в таблице 6.1.1.
Выводы.
Температуры ЭКБ при тепловом воздействии не превышают допустимые значения по ТУ.

6.2. Фрагменты расчёта тепловых характеристик стойки

Таблица 6.1.1 – Карта тепловых режимов работы ЭКБ (при стационарном тепловом воздействии) – фрагмент

Обозначение ЭРИ	Сторона	Температура ЭРИ		Коэффициент тепловой нагрузки, относит. единиц	Перегрев, °С
		Расчетная, °С	Максимальная допустимая по ТУ, °С		
DD7	1	73,27	85,00	0,86	-
DA2	1	72,79	85,00	0,86	-
DA5	1	72,73	85,00	0,86	-
DD9	1	72,38	85,00	0,85	-
DA6	1	72,22	85,00	0,85	-
DD4	1	72,14	85,00	0,85	-
DA7	1	71,96	85,00	0,85	-
DA3	1	70,80	85,00	0,83	-
DA4	1	70,44	85,00	0,83	-
DA1	1	70,43	85,00	0,83	-
DD2	1	69,96	85,00	0,82	-
DD1	1	69,54	85,00	0,82	-
X1	1	68,08	85,00	0,80	-
X3	1	66,72	85,00	0,78	-
X4	1	66,69	85,00	0,78	-
X2	2	65,89	85,00	0,78	-
TP6	1	73,02	100,00	0,73	-

Для выполнения расчёта была предоставлена 3D-модель стойки, выполненная в системе Pro/ENGINEER (см. рисунки 6.2.1 – 6.2.2).
Стойка представляет собой прямоугольный металлический шкаф, в котором можно выделить 6 этажей, снизу вверх – первый, второй... шестой.
Первый этаж – пустой и тепловыделяющих блоков не содержит. На шестом этаже есть небольшой тепловыделяющий блок. Один тепловыделяющий блок есть и на пятом этаже. Между вторым-третьим, третьим-четвертым этажами есть сетки. Сзади шкафа вдоль всей стойки идет короб для кабелей.
Высота каждого этажа 235 мм, кроме первого этажа (255 мм).

На объекте, в котором размещается стойка, имеется система кондиционирования и сверху к стойке подходит поток 1000 м3/ч или со скоростью 2 м/с.
Стойка имеет размеры 1435 × 660 × 540 мм.
На этажах стойки расположены блоки, в некоторых из которых установлены вентиляторы для продува их внутреннего объ-

ема. В стойке их 14 штук, все одного типа.

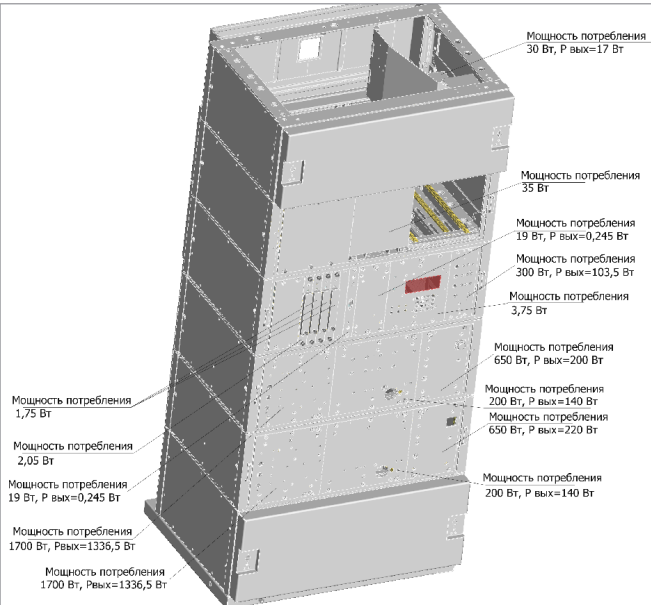


Рисунок 6.2.1 – Стойка

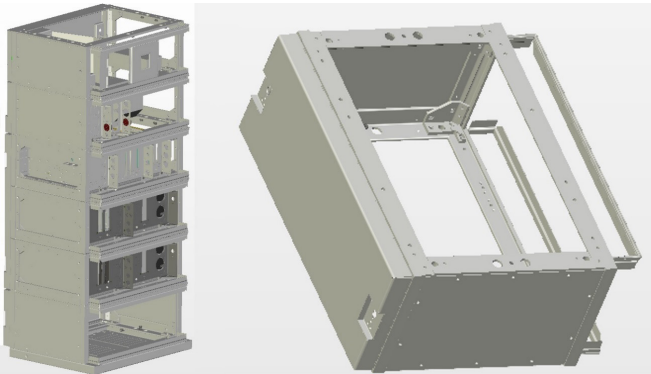


Рисунок 6.2.2 – Вид стойки сзади со снятой крышкой и вид первого этажа. Этажи считаются снизу с первого по шестой

Для температуры +50 °С провести расчёт теплового режима стойки. Мощности тепловыделения заданы, режим нагрева – стационарный (постоянный). Охлаждение стойки снаружи естественное, внутри вынужденное – продув воздухом с температурой 50 градусов и скоростью 2 м/с.

Результатом расчётов будут средние температуры блоков и самой стойки, а также температуры воздуха внутри стойки.

Для автоматизированного моделирования теплового режима стойки используется подсистема АСОНИКА-Т, предназначенная для моделирования теплового режима конструкций произвольного вида.

Сначала строится модель теплового процесса (МТП), протекающего в стойке,

в виде топологического графа. Узлы МТП моделируют элементы конструкции, воздушные объемы и пр., а ветви – виды теплообмена, присутствующие в конструкции источники тепловыделения и температуры. Затем МТП вводится в АСОНИКА-Т с помощью графического интерфейса и выполняется автоматизированный расчёт.

В таблице 6.2.1 приводятся обозначения ветвей графа МТП (отражают различные типы тепловых проводимостей), которые будут использоваться в дальнейшем при изображении моделей тепловых процессов.

Таблица 6.2.1 – Обозначение ветвей тепловых моделей

№ п/п	Тип ветви	Обозначение ветви в топологических моделях	Пояснение
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

Вследствие сложности рассматриваемой конструкции применим иерархический подход построения МТП, причем иерархия МТП будет не между конструктивными уровнями стойка – печатный узел (ПУ), а внутри конструктивного уровня стойка. Т.е. на первом этапе строится простейшая МТП

стойки (макромодель), а на следующих этапах МТП будет усложняться и уточняться.

Внутри стойки существует вынужденная конвекция. Для построения макромодели делаются следующие допущения:

- корпус стойки изотермичен (т.е. имеет одинаковую температуру);
- внутренние блоки изотермичны;
- воздух внутри стойки изотермичен;
- мощность тепловыделения равна суммарной мощности стойки.

Узлы МТП представляют следующее элементы:

- узел 1 – окружающая среда;
- узел 2 – корпус;
- узел 3 – модули;
- узел 4 – воздух входящий;
- узел 5 – воздух выходящий.

Скорость продуваемого воздуха 2 м/с, температура воздуха на входе 50 °С, температура окружающей среды 50 °С.

В результате построена макромодель стойки (см. рисунок 6.2.3) и подготовлены исходные данные для расчёта в подсистеме АСОНИКА-Т. По построенной МТП был произведен автоматизированный расчёт и получены результаты расчёта (см. таблицу 6.2.2).

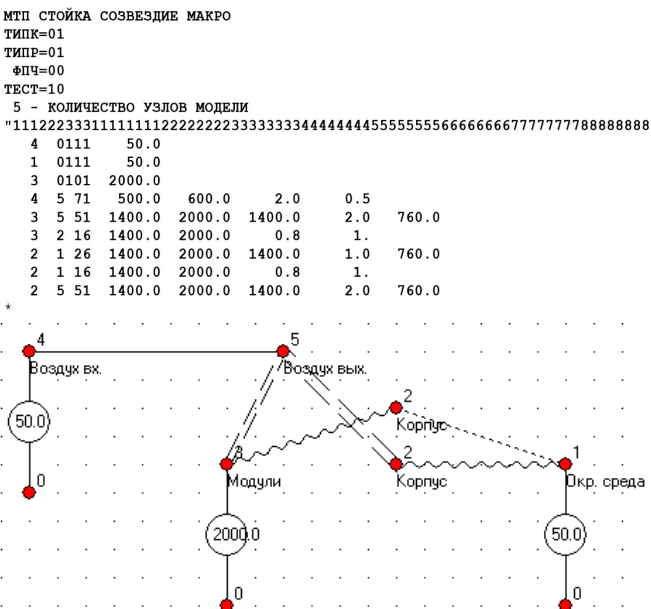


Рисунок 6.2.3 – Макро МТП стойки

Воздух нагрелся в среднем на 5 °С. Корпус нагрелся до 77,8 °С, модули до 124 °С. В макромодели не учитывалось наличие внутренних нерегулярных вентиляторов и

то, что поверхность блока более развита. Их учет будет произведён на более поздних стадиях анализа теплового режима конструкции.

Таблица 6.2.2 – Результаты расчёта теплового режима стойки

№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50
2	Корпус	77,8
3	Модули	124,7
4	Воздух вх.	50
5	Воздух вых.	54,7

Кроме того, требуется дать оценку выигрыша в том случае, если продув будет осуществляться не сверху вниз, а снизу вверх. В этом случае на протекающий воздушный поток влияет естественная тяга, создаваемая нагретым воздухом, который будет стремиться вверх.

Далее проводится оценка изменения давления при нагревании воздуха в стойке. Очевидно, изменение давления будет определяться разностью между плотностями воздуха на входе и выходе стойки при естественной конвекции, обусловленной изменением плотности воздуха при нагревании. Допустим, воздух нагреется (с запасом) на 10 °С, например, с 50 °С до 60 °С.

При 50 °С плотность воздуха равна 1,093 кг/м³, при 60 °С плотность воздуха равна 1,06 кг/м³.

Т.е. разность давления составит 1,093 – 1,06 = 0,033 кг/м³, или 3 %.

Это приводит к тому, что в условиях свободной вентиляции скорости потока воздушного теплоносителя в зазорах воздушных каналов стойки составляют 0,03-0,1 м/с, режим течения ламинарный. Очевидно, что если система кондиционирования поддерживает скорость продува 2 м/с, то влиянием естественной вентиляции можно пренебречь и реального выигрыша от смены направления продува не получится.

На втором этапе строится более подробная МТП стойки, размерность которой примерно соответствует количеству тепловыделяющих блоков в стойке, т.е. каждый блок моделируется узлом МТП (см. рисунок 6.2.4).

При этом не учитываются внутренние вентиляторы блоков, т.е. охлаждение осуществляется продуваемым воздухом из централизованной системы охлаждения и естественной конвекцией снаружи стойки.

Внутри стойки существует вынужденная конвекция. Для построения модели сделаем допущения:

- корпус изотермичен;
- блоки изотермичны;
- три одинаковых расположенных вместе блока моделируются одним макроузлом МТП;
- воздух в стойке изотермичен в пределах 1-3-го и 4-6-го этажей и движется со скоростью 2 м/с;
- мощность тепловыделения суммируется по каждому блоку (ячейке);
- окружающая среда и воздух на входе системы охлаждения моделируются источниками постоянной температуры, равными 50 °С.

Для удобства занесения параметров модели рассчитываются типичные площади некоторых блоков стойки и пересчитываются в размеры, произведение которых будет равно площади блоков. Это необходимо для ввода в программу расчёта теплового режима геометрических параметров ветвей, описывающих теплообмен с этих поверхностей.

Далее составляется таблица соответствия узлов МТП элементам объекта расчёта, мощностей и геометрических размеров (см. таблицу 6.2.3). Результаты расчета приведены в таблице 6.2.4.

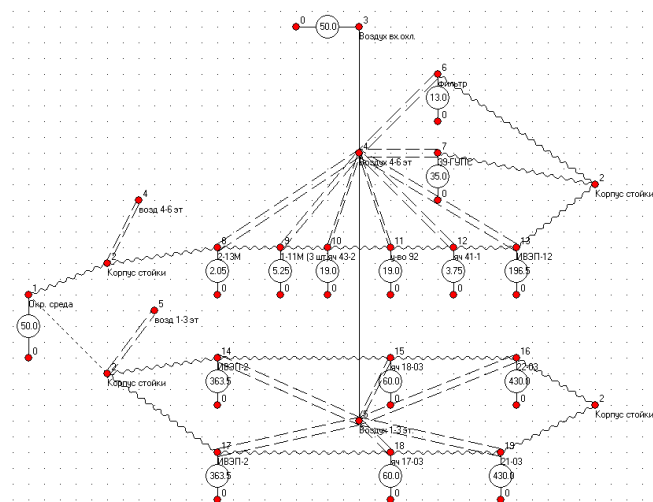


Рисунок 6.2.4 – МТП стойки

Средняя расчётная температура блоков является достаточно высокой и для блоков ИВЭП-12, ИВЭП-2, ячейки 21-03 (22-03) превышает 100 °С, что объясняется их очень высоким тепловыделением. Для ячеек 17-03 (18-03) температура получилась также достаточно высокой – 89,2 °С.

На третьем этапе необходимо доработать МТП стойки с учётом внутренних вентиляторов. Данные вентиляторы установлены в блоках 2-го и 3-го этажей.

В МТП второго этапа добавляется МТП, учитывающая внутренние вентиляторы блоков стойки, т.е. МТП, размерность которой соответствует количеству тепловыделяющих блоков в стойке. Таким образом, каждый блок моделируется узлом МТП в сумме с МТП, учитывающей внутренние вентиляторы блоков.

Задача этих вентиляторов – осуществлять принудительный обдув тепловыделяющих блоков изнутри, т.к. большое аэродинамическое сопротивление и различные обходящие каналы уменьшают расход воздуха, приходящегося на эти блоки от централизованной системы охлаждения.

В данном расчёте скорость воздуха определяется как расход воздуха, деленный на площадь поперечного сечения, через который он прокачивается.

На втором (третьем) этаже установлено 7 вентиляторов: один в среднем блоке 17-03 (18-03), четыре в правом блоке 21-03 (22-03) для охлаждения радиатора и два в левом блоке ИВЭП-2 для индивидуального продува блока.

Т.к. дополнительные вентиляторы установлены в блоках только 2-го и 3-го этажей, а продув осуществляется сверху вниз, МТП стойки 6-го, 5-го, 4-го этажей, очевидно, не изменится. Изменения только касаются части МТП 1-3-го этажей. Необходимо отметить, что второй и третий этаж продуваются воздухом, который моделируется узлом № 5 МТП (воздух 1-3-го этажей).

Далее рассчитывается расход воздуха, продуваемого вентиляторами 2ДВ0-0,7.60-367-4, через соответствующие блоки с учетом их производительности, количества и геометрических размеров блоков. Скорость продува воздуха внутри блока определяет-

Таблица 6.2.3 – Узлы МТП стойки и параметры модели

Этаж	Наименование элемента МТП	№ узла МТП	Итого, Вт	Сомнож. 1	Сомнож. 2
	Окружающая среда	1			
1-6	Корпус	2		1440	2900
	Воздух вх. сист. охл.	3			
4-6	Воздух внутри	4			
1-3	Воздух внутри	5			
6	фильтр.	6	13	240	258
5	39-ГУПС	7	35	320	870
4	2-13М	8	2,05	370	400
4	1-11М (макро 3 в 1)	9	5,25	370	515
4	ячейка 43-2	10	19	370	400
4	устройство 92	11	19	370	515
4	ячейка 41-1	12	3,75	240	408
4	ИВЭП-12	13	196,5	370	580
3	ИВЭП-2	14	363,5	370	900
3	ячейка 18-03	15	60	370	1100
3	22-03	16	430	370	700
2	ИВЭП-2	17	363,5	370	900
2	ячейка 17-03	18	60	370	1100
2	21-03	19	430	370	700

Таблица 6.2.4 – Результаты расчёта теплового режима стойки

№ узла	Имя узла	Температура, °С	№ узла	Имя узла	Температура, °С
1	Окр. среда	50	11	у-во 92	65,8
2	Корпус стойки	57,8	12	яч. 41-1	72,8
3	Воздух вх. охл.	50	13	ИВЭП-12	111,7
4	Воздух 4-6 эт.	56,9	14	ИВЭП-2	133,5
5	Воздух 1-3 эт.	64,1	15	яч. 18-03	89,2
6	фильтр	66,1	16	22-03	160,6
7	39-ГУПС	65,3	17	ИВЭП-2	133,5
8	2-13М	58,2	18	яч. 17-03	89,2
9	1-11М (3 шт.)	59,7	19	21-03	160,6
10	Яч. 43-2	65,7			

ся как объем продуваемого этими вентиляторами через блоки воздуха, деленный на сечение блока (с учётом заполнения) в соответствующем направлении.

Необходимо отметить, что в блоке 21-03 (22-03) воздух четырьмя внутренними вентиляторами продувается через пластинчатый вентилятор с параметрами – толщина пластины 4 мм, высота 40 мм, а длина пластины 120 мм. Количество пластин – 34

штуки. Также необходимо отметить, что между радиатором и стенкой есть щель. Поэтому не весь воздух, продуваемый вентиляторами, пройдет через пластины.

Допущения при построении МТП, как и в предыдущем случае, но добавлены узлы, моделирующие продуваемый в каждом блоке воздух (см. таблицу 6.2.5). МТП, введенная с помощью графического интерфейса АСОНИКА-Т, представлена на

Таблица 6.2.5 – Узлы МТП стойки и параметры модели с учетом внутренних вентиляторов

Этаж	Наименование элемента МТП	№ узла МТП	Итого, Вт	Сомножитель 1	Сомножитель 2
	Окружающая среда	1			
1-6	Корпус	2		1440	2900
	Воздух вх. сист. охл.	3			
4-6	Воздух внутри	4			
1-3	Воздух внутри	5			
6	фильтр.	6	13	240	258
5	39-ГУПС	7	35	320	870
4	2-13М	8	2,05	370	400
4	1-11М (макро 3 в 1)	9	5,25	370	515
4	ячейка 43-2	10	19	370	400
4	устройство 92	11	19	370	515
4	ячейка 41-1	12	3,75	240	408
4	ИВЭП-12	13	196,5	370	580
3	ИВЭП-2	14	363,5	370	900
3	ячейка 18-03	15	60	370	1100
3	22-03	16	430	370	700
2	ИВЭП-2	17	363,5	370	900
2	ячейка 17-03	18	60	370	1100
2	21-03	19	430	370	700
3	Воздух в ИВЭП-2	20			
3	Воздух в ячейке 18-03	21			
3	Воздух в 22-03	22			
2	Воздух в ИВЭП-2	23			
2	Воздух в ячейке 17-03	24			
2	Воздух в 21-03	25			

рисунке 6.2.5. Результаты моделирования приведены в табл. 6.2.6.

Из сравнения результатов расчёта теплового режима с учетом и без учета внутренних вентиляторов видно, что их использование снижает температуру блоков, причем не всегда одинаково. Наиболее эффективно в блоке ИВЭП-2, хуже в 21-03 (22-03) и 17-03 (18-03).

Тепловой режим ИВЭП-12 не изменился, т.к. для его охлаждения вентиляторы не использовались.

Дальнейшее уточнение результатов может быть получено и путем уточнения истинных параметров тепловыделения блоков и геометрических параметров конструкции, т.к. при построении МТП используется

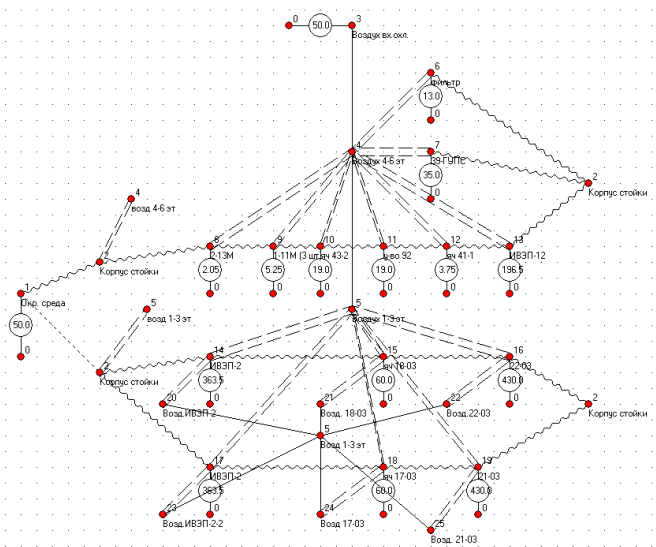


Рисунок 6.2.5 – МТП стойки с внутренними вентиляторами

Таблица 6.2.6 – Результаты расчёта теплового режима стойки с учетом и без учета внутренних вентиляторов

№ узла	Имя узла	Температура без вентил., С	Температура с вентил., С
1	Окр. среда	50	50
2	Корпус стойки	57,8	57,1
3	Воздух вх. охл.	50	50
4	Воздух 4-6 эт.	56,9	57
5	Воздух 1-3 эт.	64,1	64,4
6	Фильтр	66,1	66,2
7	39-ГУПС	65,3	65,3
8	2-13М	58,2	58,2
9	1-11М (3 шт.)	59,7	59,8
10	Яч. 43-2	65,7	65,8
11	У-во 92	65,8	65,9
12	Яч. 41-1	72,8	72,9
13	ИВЭП-12	111,7	111,8
14	ИВЭП-2	133,5	106
15	Яч. 18-03	89,2	82,4
16	22-03	160,6	155
17	ИВЭП-2	133,5	106
18	Яч. 17-03	89,2	82,4
19	21-03	160,6	155
20	Возд. ИВЭП-2		69,5
21	Возд. 18-03		65,7
22	Возд. 22-03		64,8
23	Возд. ИВЭП-2-2		69,5
24	Возд. 17-03		65,7
25	Возд. 21-03		64,8

определенная идеализация конструкции, о которой говорится в начале построения каждой МТП.

Вывод о практически неизменном тепловом режиме стойки при смене направления централизованного продува со сверху вниз на снизу вверх остаётся, т.к. изменением расхода воздуха можно пренебречь в силу большой мощности системы охлаждения.

6.3. Фрагменты расчета тепловых характеристик блоков

На этапе эскизного проектирования электроники (до создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-Т: подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик произвольных конструкций ЭА (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

АСОНИКА-М: подсистема анализа типовых конструкций блоков ЭА и ЭКБ на механические и тепловые воздействия (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

АСОНИКА-М-ШКАФ: подсистема анализа типовых конструкций шкафов ЭА на механические и тепловые воздействия (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

На этапе технического проектирования (после создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-М-3D: подсистема анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭА и ЭКБ к механическим и тепловым воздействиям с возможностью импорта геометрии из различных CAD-систем.

На всех этапах проектирования электроники используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-ИД: подсистема идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей ЭА и ЭКБ;

АСОНИКА-БД: подсистема управления базами данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надёжностным параметрам.

Результаты работы подсистем АСОНИКА-Т представлены на рисунках 6.3.1 – 6.3.3.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 6.3.4 – 6.3.11.

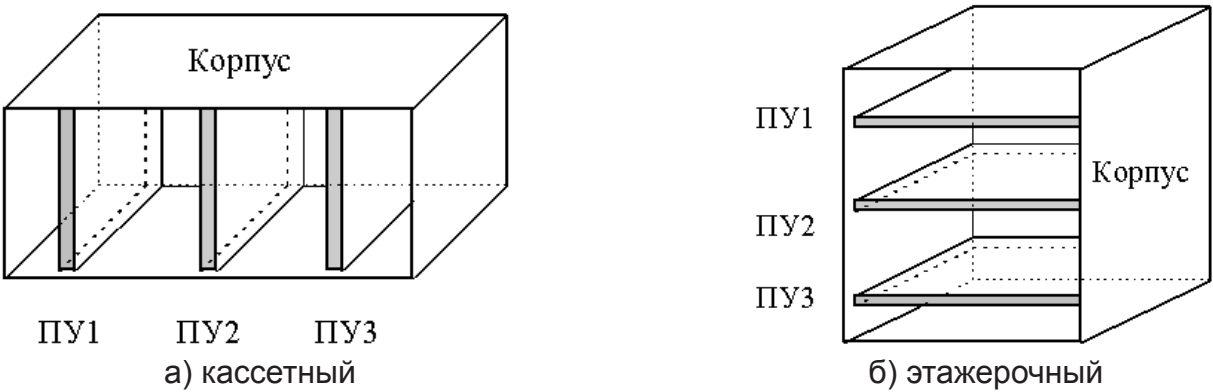
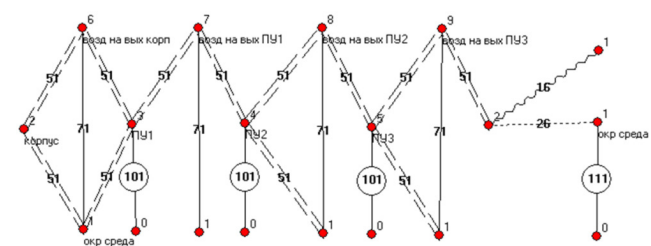


Рисунок 6.3.1 – Блок ЭА (передняя стенка условно не показана)
Примечание: ПУ – печатный узел



Номер узла	Имя узла	Номер узла	Имя узла
1	Окружающая среда, воздух на входе	6, 7, 8, 9	Воздух на выходе соответствующих объемов
2	Корпус	10	Воздух из внешней системы охлаждения
3, 4, 5	Печатные узлы ПУ1, ПУ2, ПУ3		

Рисунок 6.3.2 – Модель тепловых процессов кассетного блока с продувом

Номер узла	Имя узла	Температура, °C
1	окр среда	20
2	корпус	20,5
3	ПУ1	24,2
4	ПУ2	24,9
5	ПУ3	24,2
6	возд на вых корп	22,4
7	возд на вых ПУ1	24,6

8	возд на вых ПУ2	24,6
9	возд на вых ПУ3	22,4

Рисунок 6.3.3 – Температуры в узлах модели тепловых процессов кассетного блока с продувом

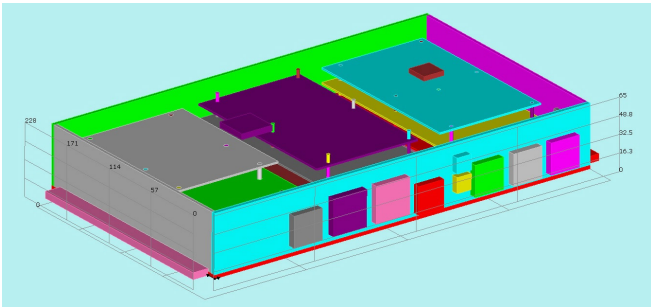


Рисунок 6.3.4 – Конструкция блока ЭА, импортированная из CAD-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

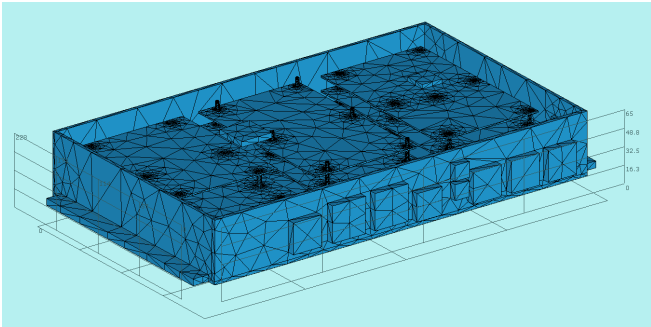


Рисунок 6.3.5 – Автоматическое разбиение на конечные элементы

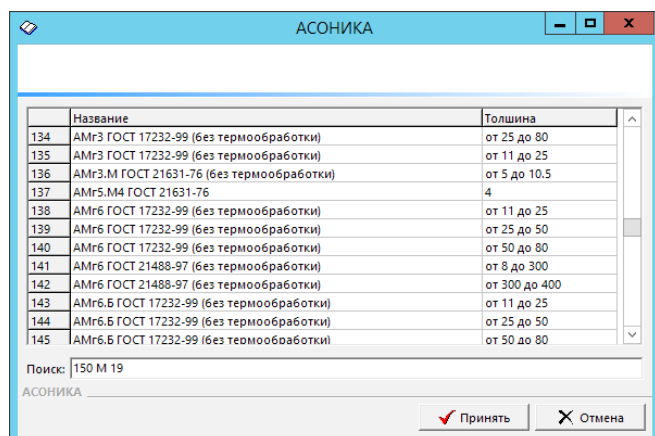


Рисунок 6.3.6 – Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

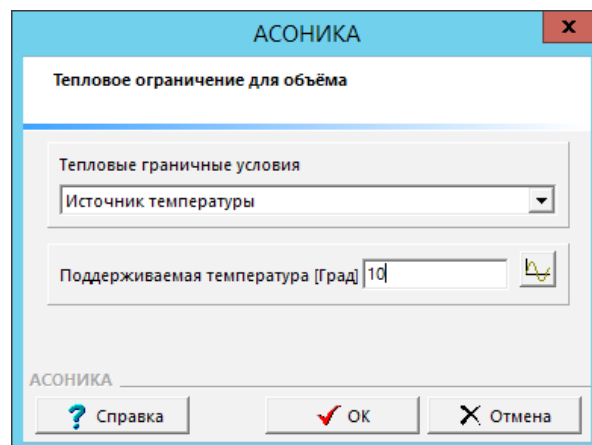


Рисунок 6.3.9 – Задание источника постоянной температуры

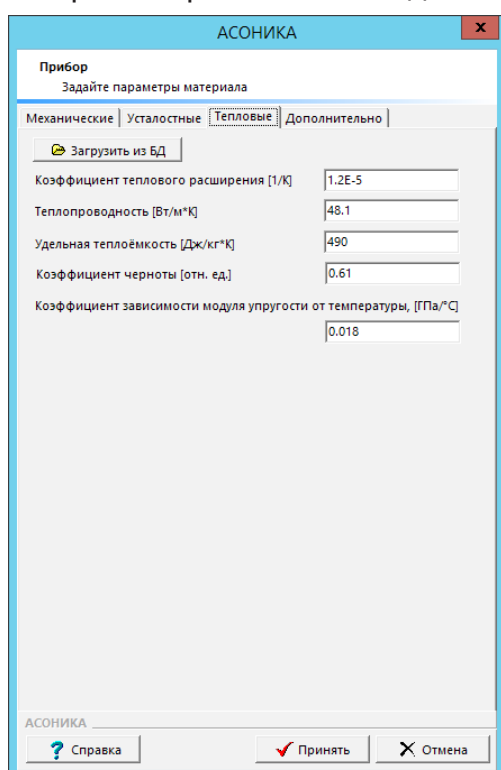


Рисунок 6.3.7 – Диалоговое окно для задания параметров материала

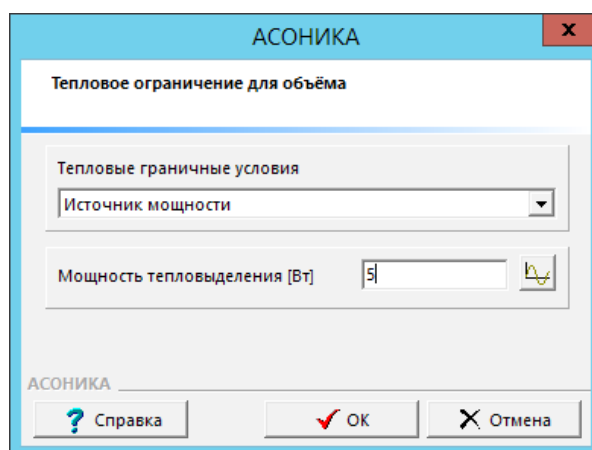


Рисунок 6.3.10 – Задание источника постоянной мощности

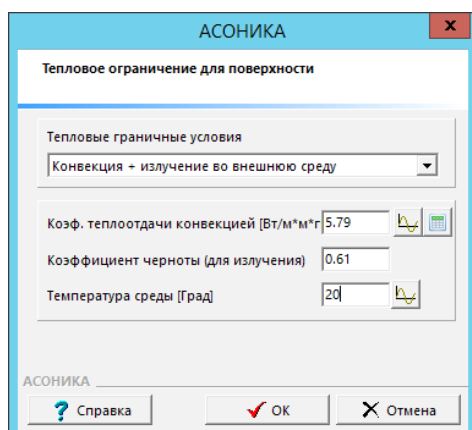


Рисунок 6.3.8 – Задание тепловых граничных условий

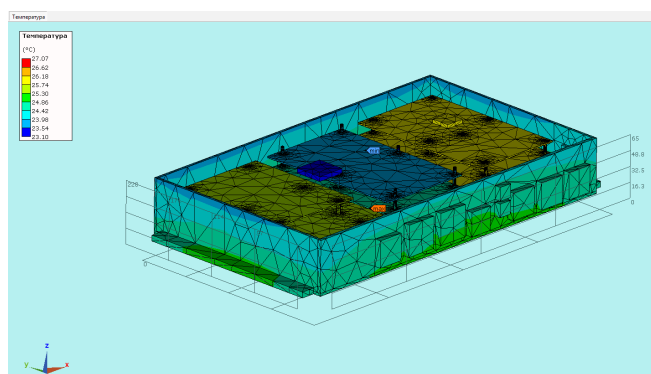


Рисунок 6.3.11 – Температуры во всех точках конструкции блока ЭА

6.4. Фрагменты расчета тепловых характеристик микросхемы

На этапе эскизного проектирования электроники (до создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют подсистему АСОНИКА-Т анализа и обеспечения тепловых характеристик произвольных конструкций ЭКБ (3D-модель которых

еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе).

На этапе технического проектирования (после создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют подсистему АСОНИКА-М-3D анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭКБ к механическим и тепловым воздействиям с возможностью импорта геометрии из различных CAD-систем.

На всех этапах проектирования электроники используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-ИД: подсистема идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей ЭКБ;

АСОНИКА-БД: подсистема управления базами данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надежностным параметрам.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 6.4.1 – 6.4.7.

Результаты работы подсистем АСОНИКА-Т представлены на рисунках 6.4.8 – 6.4.9.

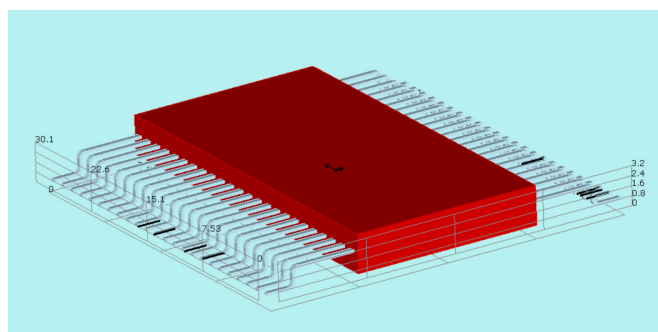


Рисунок 6.4.1 – Конструкция ЭКБ, импортированная из CAD-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

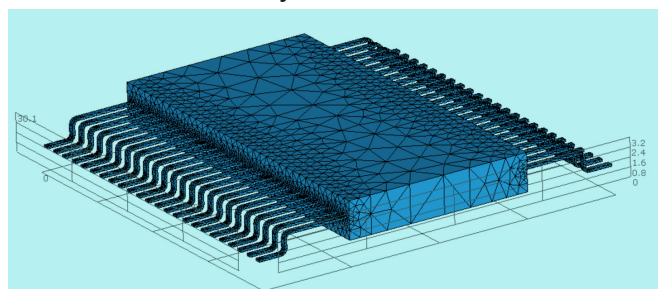


Рисунок 6.4.2 – Автоматическое разбиение на конечные элементы

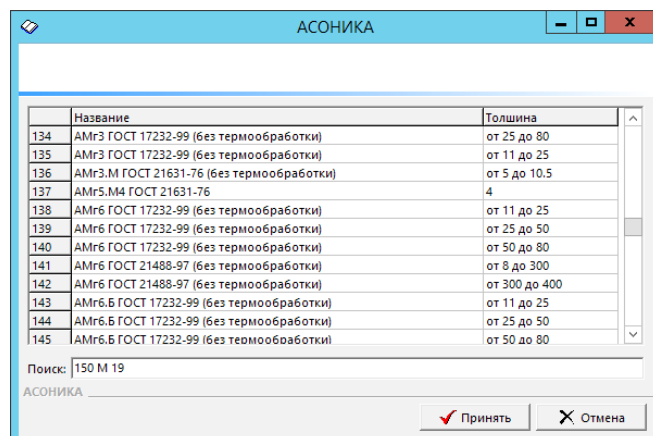


Рисунок 6.4.3 – Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

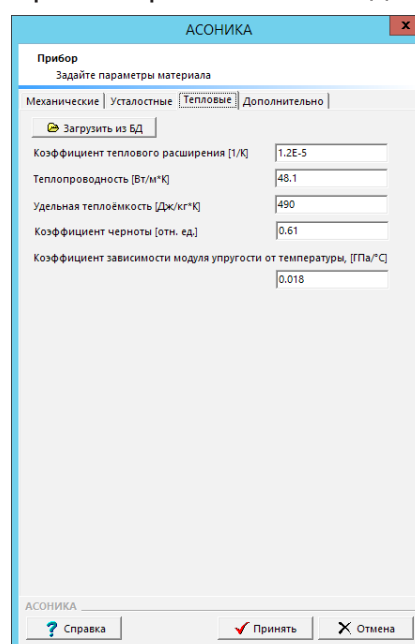


Рисунок 6.4.4 – Диалоговое окно для задания параметров материала

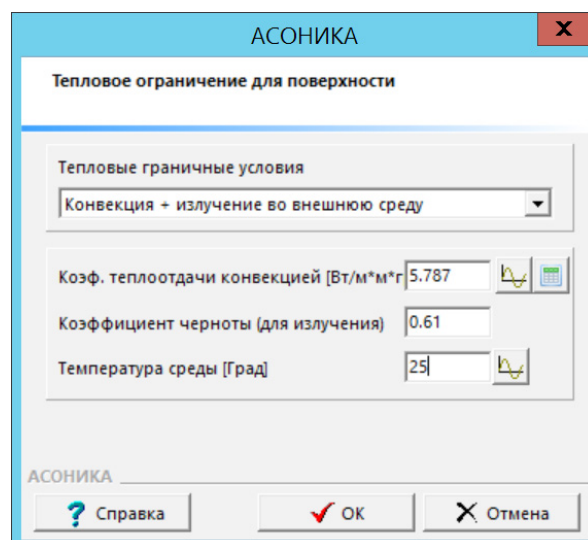


Рисунок 6.4.5 – Задание тепловых граничных условий

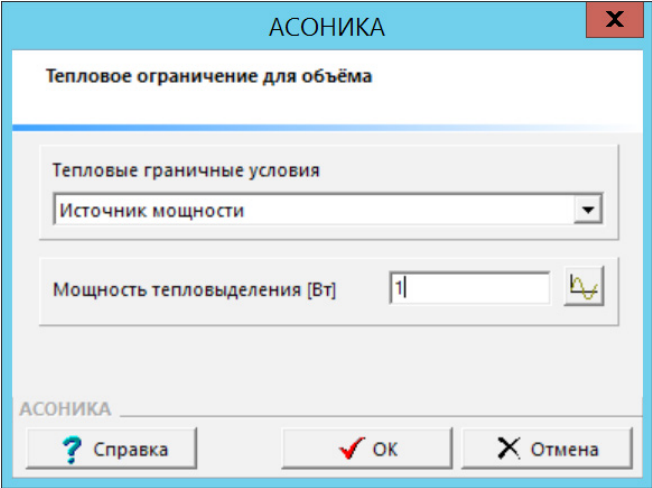


Рисунок 6.4.6 – Задание источника постоянной мощности

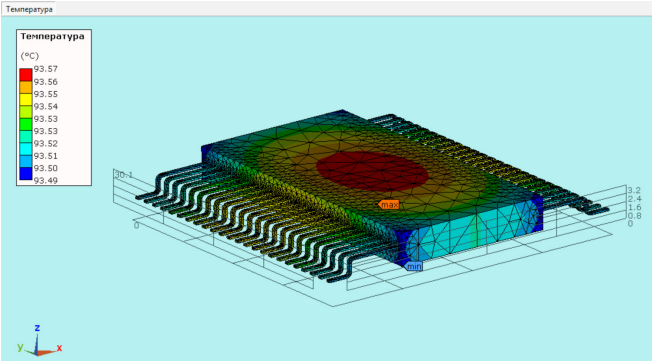
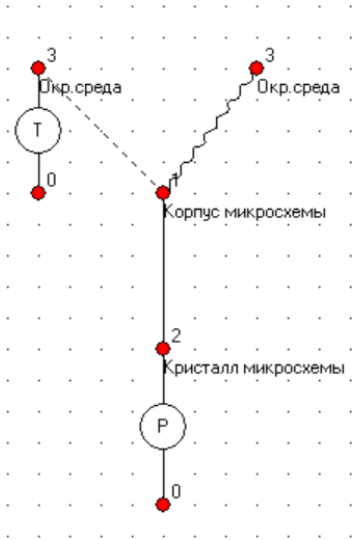


Рисунок 6.4.7 – Температуры во всех точках конструкции блока ЭКБ



Номер узла	Имя узла
1	Корпус микросхемы
2	Кристалл микросхемы
3	Окружающая среда (воздух)

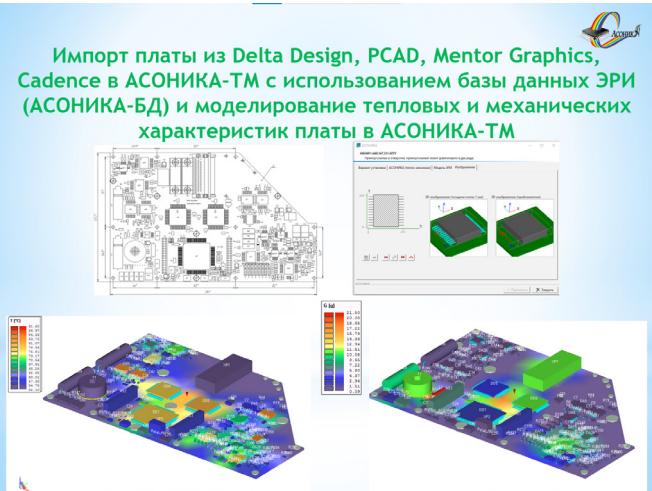
Рисунок 6.4.8 – Модель тепловых процессов ЭКБ

Номер узла	Имя узла	Температура, °C
1	Корпус микросхемы	95,4
2	Кристалл микросхемы	115,4
3	Окружающая среда (воздух)	25

Рисунок 6.4.9 – Температуры в узлах модели тепловых процессов ЭКБ

7 Примеры интеграции САПР электроники АСОНИКА с отечественными САПР

7.1. Моделирование на тепловые воздействия в системе АСОНИКА печатной платы, созданной в IDF в Delta Design, PCAD, Mentor Graphics, Cadence, Altium Designer, создание карт рабочих режимов, анализ надёжности.



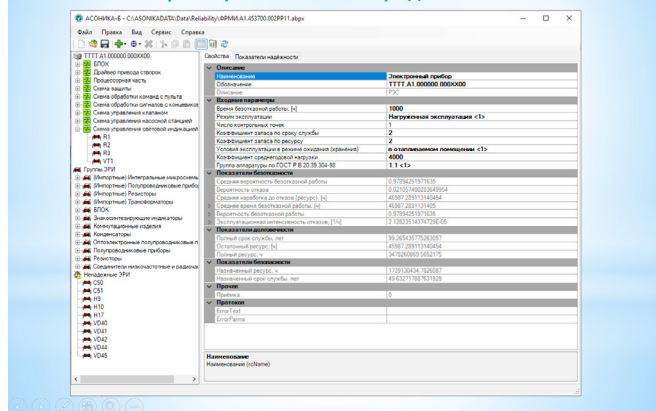
Карты рабочих режимов ЭРИ (АСОНИКА-P) - ускорения и температуры ЭРИ автоматически передаются из АСОНИКА-TM

Формат 5

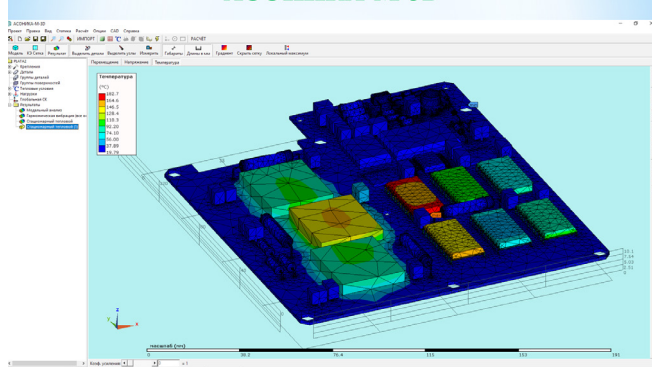
Карта ЭРИ, применяемая при автоматическом моделировании, соответствующая требованиям ГОСТ

Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10			
Параметры ЭРИ		Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10 M10 – M10 (M10) – M10				Код ЭРИ (номер ЭРИ) – M10 M10 –			

Показатели надёжности (АСОНИКА-Б) - электрические и тепловые характеристики ЭРИ передаются из АСОНИКА-Р

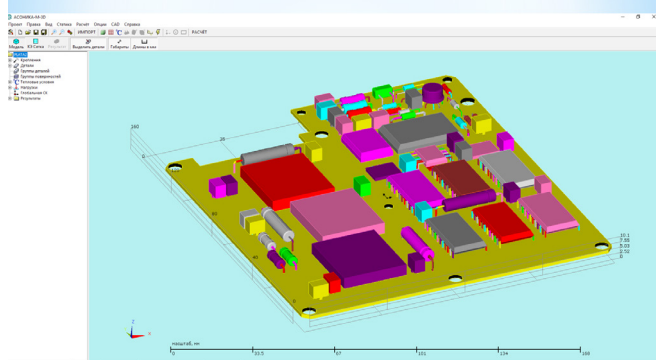


Моделирование тепловых процессов в АСОНИКА-М-3Д

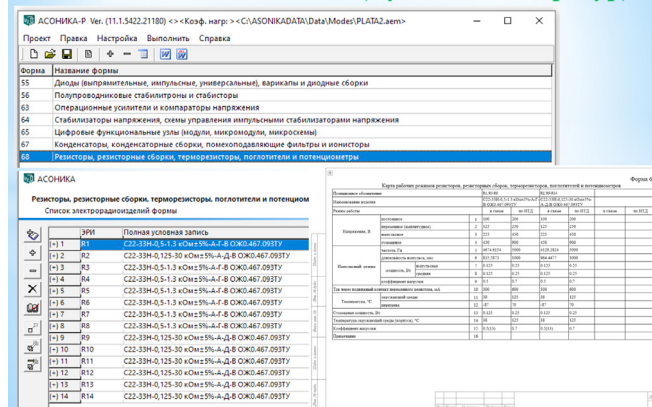


7.2. Интеграция Т – FLEX CAD (КОМ-ПАС) и АСОНИКА для электроники.

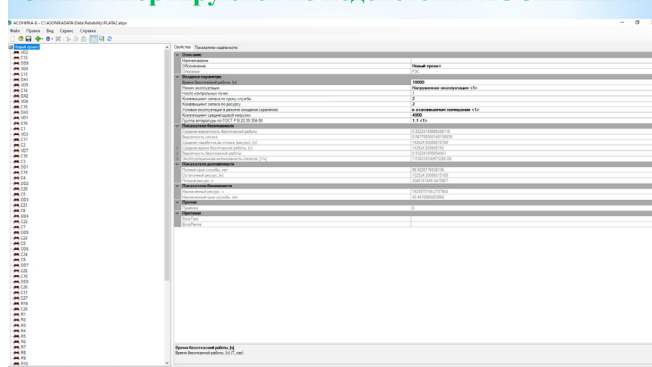
Импорт 3D-модели в формате STEP, созданной в T-FLEX (КОМПАС), в АСОНИКА-М-3Д



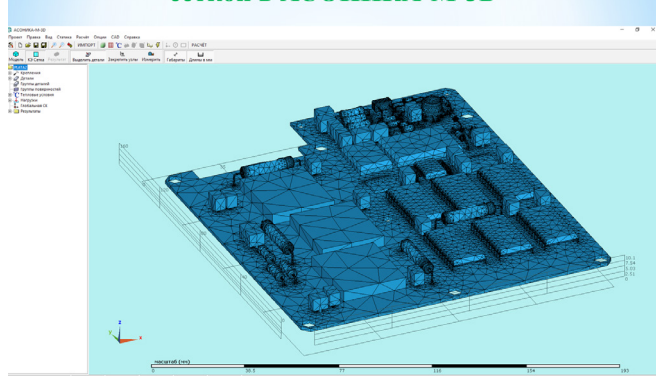
Создание карт рабочих режимов ЭРИ в подсистеме АСОНИКА-Р (с учётом температур)



Анализ показателей надёжности в подсистеме АСОНИКА-Б. Данные из карт рабочих режимов ЭРИ импортируются из подсистемы АСОНИКА-Р



Автоматическое разбиение конечно-элементной сеткой в АСОНИКА-М-3Д



Автоматическое формирование отчёта в подсистеме АСОНИКА-Б

3. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ									
Показатели надёжности:									
• Интенсивность отказов (λ) - 10^{-6} , 10^{-7} : 7016.3163									
• Среднее время безотказной работы (T_B) - φ : 142525									
• Вероятность безотказной работы (P_B) - φ : 0.9322									
Показатели безопасности:									
• Плотный срок службы ($C_{пл}$) - φ : 86.922									
Показатели безопасности:									
• Интенсивный ресурс ($T_{инт}$) - φ : 152287740.2738 ч									
• Плотный срок службы ($C_{пл}$) - φ : 86.922									
Параметры элементов, входящих в состав, и их интенсивности отказов:									
Таблица 3.1. Построение модели									
Позиционные обозначения	Наименование и тип элемента	Кг	Вд	А - 10 ⁴ , 3 м	Кг	Вд	А - 10 ⁴ , 3 м	Кг	Вд
Класс СВЧ элементов, диоды кремниевые, диоды германиевые									
VD2	1247.126	15.000000090464	0.09605	1.5223					
VD4	1247.126	15.000000090464	0.09605	1.5223					
VD5	1247.126	15.000000090464	0.09605	1.5223					
VD6	1247.126	15.000000090464	0.09605	1.5223					
Класс СВЧ элементов, стабилизаторы									
VD1	2C43A1	3	0.2511	1.0753					
VD3	2C43A1	4.1	0.2511	1.0295					
VD7	2C43A1	4.1	0.2511	1.0295					
Кг - Коэффициент риска									
Постоянной емкости, конденсаторы на номинальное напряжение менее 1600 В									
C1	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C10	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C11	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C12	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C13	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C14	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C15	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C16	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C17	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C18	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C19	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C20	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C21	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C22	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C23	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C24	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C25	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					
C7	K10-17A-HE50-1000 pBx5 14-B	33	0.8406	1.254198					

8 Национальные стандарты

Моделирование и виртуальные испытания на тепловые воздействия в САПР электроники АСОНИКА в настоящее время осуществляется в соответствии с национальными стандартами. АСОНИКА является уже сегодня реализацией в области электроники Распоряжения Правительства РФ от 6 ноября 2021 г. № 3142-р, подписанного Председателем Правительства РФ М. Мишустиним, в котором утверждено стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности, в соответствии с которым запланировано создание к 2030 году национальной системы **стандартизации** и сертификации, базирующейся на технологиях **виртуальных испытаний**, в рамках проекта цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности «Цифровой инжиниринг». АСОНИКА является также реализацией Указа Президента РФ № 166 от 30 марта 2022 года «О мерах по обеспечению **технологической**

независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».

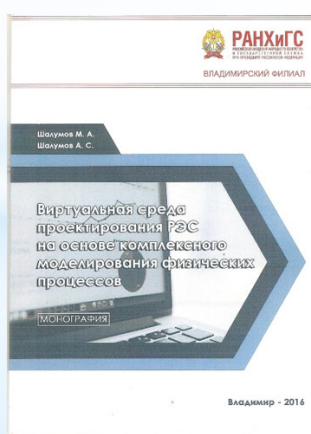
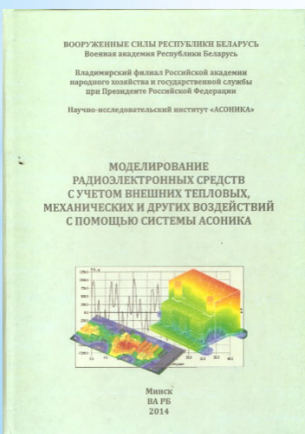
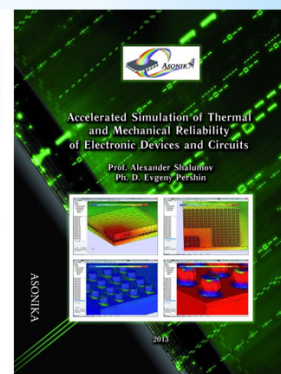
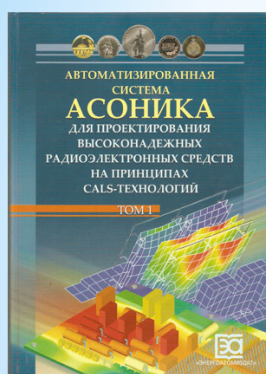
27.04.2023 на совещании по вопросам развития беспилотной авиации **Президент России Владимир Владимирович Путин** призвал шире внедрять созданные с применением российского программного обеспечения цифровые платформы, которые позволят радикально упростить, ускорить **использование цифровых двойников вместо натурных испытаний**. Уже сегодня это делает АСОНИКА.

ООО «НИИ «АСОНИКА» – первая и единственная организация в России, которая в настоящее время разработала и продолжает разрабатывать национальные стандарты в области виртуальных испытаний электроники на внешние воздействия и надёжность.

В связи с отсутствием в России государственной дорожной карты развития отечественных САПР электроники именно ООО «НИИ «АСОНИКА» разработана соб-

По системе АСОНИКА выпущено множество книг:

<https://asonika-online.ru/books/>



ственная ДОРОЖНАЯ КАРТА РАЗВИТИЯ «САПР ЭЛЕКТРОНИКИ ВЫШЕ МИРОВОГО УРОВНЯ», которая в настоящее время успешно реализуется (<https://asonika-online.ru/news/432/>) и которая включает в себя национальную стандартизацию. В развитие этой дорожной карты в настоящее время на базе системы АСОНИКА создана единственная в России экосистема в области САПР электроники в части виртуальных испытаний на внешние воздействия и надёжность, включающая:

1. Среду разработки Автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА и БД ЭКБ и материалов.

2. Технический комитет по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники».

3. Центр компетенций «АСОНИКА» в области моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ и электронной аппаратуры на внешние воздействия.

4. Российский научно-практический журнал «САПР электроники».

В рамках данной экосистемы ООО «НИИ «АСОНИКА» разработаны и введены в действие следующие национальные стандарты, регламентирующие виртуальные испытания электронной аппаратуры и электронной компонентной базы на тепловые воздействия:

1. ГОСТ Р 70201-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Оптимальное сочетание натуральных и **виртуальных испытаний электроники на надёжность и внешние воздействующие факторы**. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР.

2. ГОСТ Р 70913-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема **виртуальных испытаний электронной аппаратуры на стационарные тепловые воздействия** (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 811-ст Введен в действие с 01.10.23)

3. ГОСТ Р 70915-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема **виртуальных испытаний электронной аппаратуры на нестационарные тепловые воздействия** (Утвер-

жден 06 сентября 2023 г. Приказ № 813-ст Введен в действие с 01.10.23)

4. ГОСТ Р 71131-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема **виртуальных испытаний электронной компонентной базы на стационарные тепловые воздействия** (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1505-ст Введен в действие с 01.01.24)

5. ПНСТ 535-2021 Умное производство. Методы математического моделирования и **виртуализации испытаний изделий на тепловые воздействия** при проектировании. Общие требования (Утвержден 9 февраля 2021 г. Приказ № 19-пнст Введен в действие с 01.07.21)

9 Дальнейшие шаги научного коллектива «АСОНИКА»

Планируется дальнейшее активное внедрение в соответствии с национальными стандартами САПР электроники АСОНИКА на российских предприятиях, разрабатывающих электронику, прежде всего оборонно-промышленного комплекса. Опора будет сделана на более, чем 30-летний опыт научного коллектива «АСОНИКА», описанный в книге «Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации».

Продолжится разработка национальных стандартов в ТК 165 «САПР электроники». Продолжится подготовка национальных кадров в области моделирования и виртуальных испытаний электроники на внешние воздействия в Центре компетенций «АСОНИКА».

Вся деятельность научного коллектива «АСОНИКА» и дальше будет направлена на **достижение технологического суверенитета России**, курс на который обозначил Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин.

Библиография

[1] ГОСТ Р 70201-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Оптимальное сочетание натуральных и виртуальных испытаний электроники на

надежность и внешние воздействующие факторы. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР

[2] Распоряжение Правительства РФ от 6 ноября 2021 г. № 3142-р «Стратегическое направление в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности»

[3] Шалумов А.С. Дорожная карта развития «САПР электроники выше мирового уровня». Ковров: ООО «НИИ «АСОНИКА», 2020. 24 с. – Режим доступа: <https://asonika-online.ru/news/432/>

[4] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий/ Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

[5] Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. – Владимир: Влади-

мирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.

[6] ГОСТ Р 70290-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Термины и определения

[7] ГОСТ Р 70291-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной аппаратуры

[8] ГОСТ Р 70292-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема автоматизированного создания карт рабочих режимов электронной компонентной базы

[9] ГОСТ Р 70293-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема автоматизированного анализа показателей надёжности электронной аппаратуры

[10] Шалумов А.С. Искусство моделирования в САПР электроники: механические воздействия // САПР электроники, 2023. № 4 (4). С.7 – 34.

Государственный Центр «САПР электроники»

Рафилович Михаил Исаакович

Профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник
ООО «НТЦ «Энергомодель» (член технического комитета по стандартизации ТК 165
«Системы автоматизированного проектирования электроники» (Росстандарт)
energo@energomodel.com

Аннотация

В статье рассмотрены текущая ситуация в области САПР электроники, выход из сложившейся критической ситуации, а также цель и задачи Государственного Центра «САПР электроники». Рассмотрена текущая работа Центра.

Ключевые слова: САПР электроники, Государственный Центр, организационные вопросы, финансовые вопросы, база данных.

State Center for CAD electronics

Rafilovich M.I.

Abstract

The article examines the current situation in the field of CAD electronics, a way out of the current critical situation, as well as the goal and tasks of the State Center for CAD electronics. The current work of the Center is considered.

Keywords: CAD electronics, State Center, organizational issues, financial issues, database.

1. Текущая ситуация в области САПР электроники

Сегодня особенно необходимо активно работать над обеспечением высокой надёжности электроники, которая применяется на всех жизненно важных объектах, в том числе военных, космических, авиационных. Электроника, создаваемая без систем автоматизированного проектирования (САПР) **обречена на низкую надёжность и отказы в процессе эксплуатации**. Без надёжной электроники сегодня невозможно обеспечить обороноспособность государства.

Проектирование электроники уже невозможно без САПР. Если у вас нет собственной САПР электроники, то у вас, скорее всего, нет и собственной полноценной разработки [1] – самолёта, вертолёт, беспилотной авиационной системы, космического корабля, ракеты, подводной лодки, танка, автомобиля, атомной электростанции, компьютера, системы искусственно-

го интеллекта и т.д. Поэтому государство должно уделять пристальное внимание САПР электроники, составляющим особый класс информационных технологий, который требует самостоятельного подхода к решению проблем его импортозамещения и импортонезависимости.

С учётом того, что в России по данным АНО «Цифровая экономика» осталось всего 2 организации – разработчика САПР электроники – ООО «ЭРЕМЕКС» и ООО «НИИ «АСОНИКА», ситуацию можно **признать критической**. Это подтверждается словами **Заместителя министра промышленности и торговли Российской Федерации Василия Шпака** на форуме «Микроэлектроника 2023»: **«Доля российского ПО в области САПР всего 3%»** [2].

В течение длительного времени ведущие российские разработчики САПР электроники, которые уже работают десятки лет, провели личные встречи по данному вопросу с представителями Минпромторга,

Минцифры, АНО «ЦКИТ», практически всех государственных фондов (ФПИ, РНФ, Сколково, Фонд содействия инновациям и др.). Их вывод: **там не видно ни одного человека, компетентного в области САПР электроники. Более того, там не видно ни одного патриота отечественной промышленности, который бы душой болел за российские САПР электроники.** Если бы они были, то давно бы возглавили решение данной проблемы. Так называемые эксперты на самом деле не являются экспертами в области САПР электроники. Часто они не имеют не только образование в области САПР электроники, а просто базовое техническое образование. У них нет ни научных степеней и учёных званий в области САПР электроники, ни опыта их разработки. Как правило, организацией различных кулуарных мероприятий в области САПР электроники, в том числе финансовых, занимаются «эффективные» менеджеры, имеющие экономическое, юридическое или управленческое образование, не разработавшие в жизни ни одной программы. Правила предоставления грантов и субсидий являются неприемлемыми для настоящих разработчиков САПР электроники. Они приемлемы для тех, у кого уже есть большие деньги. Профессиональные достижения особого значения не имеют. Выручка до, выручка после. Вот что для них самое главное! Так проще определять победителя конкурса по формальным признакам, по цифрам, если не разбираешься в теме. Никто при сдаче проекта не демонстрирует в присутствии предприятий-заказчиков живой программный продукт.

15 отраслевых комитетов и 33 индустриальных центра компетенций за всё время своего существования ничего не сделали для поддержки отечественных САПР электроники. Прежде всего это касается ИЦК «Электроника и микроэлектроника». **Субсидии и гранты не работают в области САПР электроники! Они расходуются впустую!** Ведущие российские разработчики САПР электроники, которые уже работают десятки лет, за последние годы не получили ни одного гранта и ни одной субсидии! С ними даже не разговаривают,

их не слушают. Все вопросы решают самовлюблённые дилетанты и **поэтому результат ноль.**

2. Выход из сложившейся критической ситуации

В связи с вышесказанным формулирую предложение:

«Для сохранения и дальнейшего развития отечественных САПР электроники предлагается Правительству РФ создать **Государственный Центр «САПР электроники»** с привлечением **талантливых разработчиков САПР электроники**, имеющих существенные результаты в данной предметной области и реальные внедрения в промышленности РФ».

06.05.2024 из открытых источников стало известно, что **США открыли финансирование технологии цифровых двойников чипов** – это ускорит разработку микросхем [3]. **Цифровые двойники – это виртуальные модели** реальных физических чипов, которые упрощают исследование поведения чипа при увеличении нагрузки или изменении конфигурации данных. Это помогает исследователям тестировать новые процессоры перед запуском их в производство. **Администрация США** финансирует в рамках «Закона о чипах и науке» компании, работающие над цифровыми двойниками, а также **создала институт по проектированию** и производству чипов.

Принятый в 2022 году в США «Закон о чипах и науке» предусматривает целевое финансирование национальной полупроводниковой отрасли в общей сложности на **\$280 млрд.** «Технология цифровых двойников может помочь стимулировать инновации в исследованиях, разработках и производстве полупроводников по всей стране – но только если мы будем инвестировать в понимание и способность Америки использовать эту новую технологию», – считает министр торговли Джина Раймондо.

Задачей созданного института CHIPS Manufacturing USA является развитие региональных связей для обмена ресурсами между компаниями, разрабатывающими и производящими как физические полупроводники, так и цифровые двойники. Пред-

ставители администрации США уже в мае 2024 года провели совещания о перспективах финансирования с заинтересованными сторонами. Правительство США инвестирует в оперативную деятельность института, исследования в области цифровых двойников, физических и цифровых объектов, таких как доступ к облачным средам, а также обучение персонала.

Таким образом, наш противник уже создал собственный **Государственный Центр «САПР электроники»**, аналогичный предлагаемому нами. Важно было нам не опоздать, а пойти на опережение. Известно, что на протяжении последних 30-и лет подобные предложения направляли в Правительство РФ, Совет безопасности РФ, государственные научные фонды ведущие российские разработчики САПР электроники, которые уже работают десятки лет. К сожалению, ни одно такое предложение не было принято и реализовано. На их пути всегда возникает жёсткий буфер, который не позволяет довести информацию до лиц, принимающих решение.

3. Цель и задачи Центра

Цель:

Собрать воедино оставшихся в России ведущих разработчиков САПР электроники и направить их талант, достижения и усилия на решение актуальных задач в области САПР электроники.

Задачи:

1. Учредить Государственный Центр «САПР электроники».
2. Назначить руководителем Центра грамотного и патриотичного человека, имеющего большой жизненный опыт и болеющего душой за российские САПР электроники.
3. Помочь руководителю собрать на организационное собрание ведущих российских разработчиков САПР электроники.
4. Провести собрание и дать возможность высказаться всем разработчикам.
5. Обсудить проблемы применения САПР электроники и баз данных ЭКБ и материалов в отечественной электронной промышленности и вузах.
6. Сформировать план развития рос-

сийских САПР электроники с обозначением компаний-разработчиков.

7. Обсудить варианты финансирования, приемлемые для разработчиков.

Все другие задачи должны оперативно формулироваться и решаться Центром в режиме реального времени без бюрократических проволочек в тесной взаимосвязи с ведущими российскими разработчиками САПР электроники, которые должны составить костяк Центра.

4. Текущая работа Центра

Центр не разрабатывает САПР электроники. Центр решает организационные и финансовые вопросы разработки САПР электроники.

Гранты и субсидии не только не применимы, а вредны, так как создают иллюзию, что в стране идет разработка САПР электроники. А на самом деле деньги расходуются впустую. Фонды непрерывно выделяют государственное финансирование. А полноценных российских САПР электроники всё нет и нет. До сих пор нет полноценного электрического анализа, нет Spice-моделей отечественных компонентов, нет единой государственной базы данных ЭКБ и материалов.

Те, кто должен получать финансирование, его не получает. А тот, кто получает, часто ничего не делает для развития и внедрения отечественных САПР электроники, так как просто не способен это сделать в силу своих умственных способностей, отсутствия знаний, опыта и таланта. А это наносит колоссальный вред отечественной промышленности, прежде всего военно-промышленному комплексу России. При этом часто желаемое выдаётся за действительное, что вводит в заблуждение руководство страны. Выдаются ничем не обоснованные анонсы (к 2035 году будут разработаны ...), чтобы получить финансирование для узких групп, рассчитывая на то, что к указанной дате все забудут об обещаниях. Сами обещающие могут не дожить до этих дат. И не с кого будет даже спросить. Например, в 2006 году до руководства страны было доведено, что у нас реализованы CALS-технологии. А на самом деле ничего

не сделано, просто все выделенные деньги были истрачены. И надо было срочно закрывать тему. В результате сегодня многие инженеры и студенты даже не знают, что такое CALS-технологии. Теперь все говорят о цифровых двойниках электроники, чтобы получить бюджетное финансирование. К сожалению, цифровых двойников может ждать судьба CALS, ведь цифровые двойники являются составной частью CALS.

Важнейшей задачей является постоянное наполнение баз данных ЭКБ и материалов актуальной информацией. Центр должен обеспечить разработчиков всей необходимой нормативной документацией для баз данных, организовать постоянно действующие группы, пополняющие базы данных в режиме реального времени. Эти базы должны быть доступны всем предприятиям оборонно-промышленного комплекса. И именно Центр должен всё это организовать в интересах всей страны, а не отдельных узких групп. Сегодня это никто не делает. В основном идут десятилетиями непрерывные лозунги. А сквозной САПР электроники как не было, так и нет. И на предприятиях продолжают пользоваться импортными программами. Результатом деятельности разработчиков САПР электроники должны быть не статьи в журналы Скопус (сегодня это просто не допустимо) или ВАК, а реальные программные продукты, применяемые в электронной промышленности.

5. Намерения Минпромторга

Как стало известно 31.10.24, Минпромторг планирует начать разработку систем проектирования процессоров 16 нм [4]. В 2030 году Минпромторг рассчитывает начать разработку программного обеспечения (ПО) для проектирования процессоров с топологией 16 нм, которая еще не освоена в РФ. Участники рынка заинтересованы в подобном софте, но отмечают, что для его создания необходимо взаимодействие с действующими производствами – как для тестирования ПО, так и получения необходимых параметров техпроцессов. Они также сомневаются в реалистичности сроков, заложенных министерством.

Минпромторг намерен с 2030 до 2032 года разработать системы автоматизированного проектирования (САПР, используются для проектирования процессоров, печатных плат и т. д.) для разработки процессоров с топологией 16 нм. Это отражено в «дорожной карте» Минпромторга по развитию российских САПР электроники и микроэлектроники до 2030 года, представленной директором департамента цифровых технологий министерства Владимиром Дождевым на конференции «Микроэлектроника-2024» в конце сентября.

К сожалению, ведущие российские специалисты в области САПР электроники, которые уже работают десятки лет, эту дорожную карту не видели и не участвовали в её разработке.

Как сообщили «Ъ» в Минпромторге, первоочередная задача «дорожной карты» – освоение инструментов проектирования для технологических процессов, освоенных в РФ. Однако «базовые инструменты, которые будут разработаны на первых этапах выполнения «дорожной карты», возможно будет адаптировать для работы со средствами проектирования не только существующих отечественных производств, но также и других фабрик с техпроцессами ниже 28 нм», – говорят в Минпромторге.

Общие затраты на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по «дорожной карте» должны составить 54,6 млрд руб. до 2030 года, а ожидаемая выручка достичь 7,2 млрд руб., из них 3,6 млрд руб. от программ для разработки микросхем (см. «Ъ» от 26 сентября).

На данный момент в РФ доступно производство процессоров с топологией 180 нм и 90 нм, обе линии освоены фабрикой «Микрон» (принадлежит ГК «Элемент»). Отечественные дизайн-центры сейчас используют софт зарубежных Synopsys и Cadence для проектирования чипов. Среди международных фабрик с освоенным техпроцессом на 16 нм работает тайваньская TSMC. До начала конфликта на Украине все отечественные разработчики, такие как «Байкал Электроникс», МЦСТ, НПЦ «Элвис» и др., производили свои изделия на этой фабрике. Также топология 16 нм осво-

ена на фабриках Intel в США и китайской SMIC.

Гендиректор «Байкал Электроникс» (разработчик процессоров «Байкал») Андрей Евдокимов заявил, что их компания заинтересована в разработке ПО для проектирования процессоров 16 нм. «Подобное ПО в теории может быть востребовано в дружественных странах, где делают ставку на альтернативное западному программное и аппаратное обеспечение», – подчеркивает он. Но, несмотря на имеющиеся разработки, компании придется «заново проектировать процессоры», так как каждая фабрика имеет собственные уникальные технологические процессы, добавляет он. В 2021 году «Байкал Электроникс» получил от Минпромторга 5,6 млрд руб. на разработку серверного процессора Baikal-S2 (12 нм) для тайваньской TSMC (см. “Ъ” от 16 ноября 2021 года). Там производились серверные чипы первого поколения Baikal-S с топологией 16 нм. После отказа тайваньской фабрики сотрудничать с РФ «Байкал Электроникс» заморозил выпуск этих процессоров (см. “Ъ” 16 июня 2022 года).

Использование новых САПР может повлечь за собой необходимость изменений в дизайне процессоров, признает заместитель гендиректора по маркетингу компании МЦСТ (разрабатывает процессор «Эльбрус») Константин Трушкин. «Но считаем, что развитие САПР подобного класса необходимо поддерживать независимо от того, где будут находиться сами фабрики для производства», – добавляет он.

Для проектировки САПР для процессоров необходим физический доступ на фабрики с соответствующей топологией как для тестирования софта, так и получения необходимых параметров техпроцессов, напоминает заместитель гендиректора по научной работе АО «СиСофт девелопмент» Михаил Бочаров. Сейчас российские разработчики в основном работают на иностранных САПР, говорит собеседник “Ъ” на рынке микроэлектроники. По его оценке, в перспективе ближайших лет долю использования отечественных решений можно увеличить примерно в два раза.

Планы Минпромторга по разработ-

ке САПР на 16 нм за два года (2030-2032) выглядят сомнительно, так как на проектировку подобного софта нужно минимум пять лет, отмечает основатель НПЦ «Элвис» Ярослав Петричкович. Он также добавил, что современные САПР усложняются ежегодно за счет технологического прогресса.

Заключение

Какие бы фантастические лозунги не выдвигали чиновники, очень далёкие от САПР и от электроники, решить все вышеуказанные проблемы в области САПР электроники могут только талантливые профессионалы, которых в России сегодня осталось очень мало. Государственный Центр «САПР электроники» должен их объединить и направить их деятельность в нужное русло. При этом финансирование должно быть исключительно прямым, то есть разработчики должны финансироваться не через фонды и министерства, а напрямую. Нужно доверять талантам, имеющим многолетний опыт успешной работы, и чиновникам не надо их контролировать. Это люди высочайшей ответственности, настоящие патриоты своей страны и своего дела. Как Королёв и Курчатов.

Сегодня без САПР, виртуальных испытаний и цифровых двойников электроники невозможно достижение технологического суверенитета России, курс на который обозначил Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин, который 27.04.2023 на совещании по вопросам развития беспилотной авиации призвал шире внедрять созданные с применением российского программного обеспечения цифровые платформы, позволяющие радикально упростить, ускорить использование цифровых двойников вместо натурных испытаний.

Библиография

[1] Стемковский А.Л. Микроэлектронный САПР: вчера, сегодня, завтра // Эксперт. 2015. №26-27 (950). – Режим доступа: <https://expert.ru/expert/2015/27/mikroelektronnyj-sapr-vchera-segodnya-zavtra/>

[2] Василий Шпак: Национальная электроника – основа технологического суверенитета – Режим доступа: https://rg.ru/2023/10/10/vasilij-shpak-nacionalnaia-elektronika-osnova-tehnologicheskogo-suvereniteta.html?utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fdzen.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D

[3] США профинансируют техноло-

гию цифровых двойников чипов – это ускорит разработку микросхем – Режим доступа: <https://3dnews.ru/1104365/ssha-profinansiruyut-issledovaniya-poluprovodnikovih-tsifrovih-dvoynikov>

[4] Минпромторг планирует начать разработку систем проектирования процессоров 16 нм – Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/7267319?query=ЭЛЕКТРОНИКА>

УДК 621.3:8:004.656:007.52:006.74:006.354

Первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной компонентной базы на внешние механические и тепловые воздействия

Ильин Сергей Александрович

Ответственный секретарь технического комитета по стандартизации ТК 165
«Системы автоматизированного проектирования электроники» (Росстандарт),
Генеральный директор ООО «АСКМ «Прогресс»
ilyin@askm-progress.com

Аннотация

В статье описаны новые и первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной компонентной базы на внешние механические и тепловые воздействия, разработанные в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники». Рассмотрены следующие механические воздействия: случайная вибрация, многократный механический удар, акустический шум. Рассмотрены стационарные тепловые воздействия.

Ключевые слова: виртуальные испытания, электронная компонентная база, механические воздействия, тепловые воздействия, случайная вибрация, многократный механический удар, акустический шум, стационарные.

The first national standards in the field of virtual testing of electronic component base for external mechanical and thermal influences

Ilyin S.A.

Abstract

The article describes new and first national standards in the field of virtual testing of electronic component base for external mechanical and thermal influences, developed within the framework of the technical committee on standardization TC 165 «Computer-aided design of electronics». The following mechanical influences are considered: random vibration, multiple mechanical shock, acoustic noise. Stationary thermal influences are considered.

Keywords: virtual tests, electronic component base, mechanical influences, thermal influences, random vibration, multiple mechanical shock, acoustic noise, stationary.

Введение

В декабре 2023 года – январе 2024 года введены в действие национальные стандарты, разработанные Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА») в рамках техни-

ческого комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»:

1. **ГОСТ Р 71134-2023** Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздей-

ствие случайной вибрации (*Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1508-ст Введен в действие с 10.12.23*)

2. **ГОСТ Р 71135-2023** Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие многократного механического удара (*Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1509-ст Введен в действие с 01.01.24*)

3. **ГОСТ Р 71130-2023** Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие акустического шума (*Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1504-ст Введен в действие с 01.01.24*)

4. **ГОСТ Р 71131-2023** Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на стационарные тепловые воздействия (*Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1505-ст Введен в действие с 01.01.24*)

Это первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной компонентной базы (ЭКБ) на внешние механические и тепловые воздействия. В стандартах рассматриваются следующие механические воздействия: случайная вибрация, многократный механический удар, акустический шум. В стандартах рассматриваются стационарные тепловые воздействия.

Стандарты распространяются на показатели стойкости ЭКБ к внешним механическим и тепловым воздействиям. Его целью является автоматизация анализа показателей стойкости ЭА к внешним механическим и тепловым воздействиям с применением математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на внешние механические и тепловые воздействия, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний ЭКБ на внешние механические и тепловые воздействия на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит

избежать отказов ЭКБ или значительно сократить их на этапе испытаний опытного образца, сокращая тем самым количество испытаний опытного образца, возможные итерации по доработке схем и конструкций, затраты на разработку ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭКБ конкурентоспособной на отечественном и международном рынке.

Использование при анализе стойкости ЭКБ к внешним механическим и тепловым воздействиям натурных испытаний ЭКБ на внешние механические и тепловые воздействия невозможно, так как анализ проводится еще до изготовления опытного образца. Виртуализация испытаний ЭКБ на внешние механические и тепловые воздействия при анализе стойкости ЭКБ к внешним механическим и тепловым воздействиям является безальтернативной. Без применения математического моделирования нельзя определить показатели стойкости ЭКБ к внешним механическим и тепловым воздействиям. Такой подход является информативным, так как благодаря ему на этапе проектирования отслеживается большинство возможных отказов ЭКБ по механическим и тепловым характеристикам, и эффективным, так как из-за недоработок проектирования ЭКБ, вскрытых уже путем натурных испытаний, возможно множество итераций: доработка проекта – испытания опытного образца – доработка проекта и т. д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки.

Объектами виртуальных испытаний являются произвольные конструкции ЭКБ, 3D-модели которых созданы в CAD-системах в формате STEP.

Примером подсистем виртуальных испытаний ЭКБ на внешние механические и тепловые воздействия является совокупность подсистем российской САПР электроники в части виртуальных испытаний – автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры (АСОНИКА) (<https://asonika-online.ru/>), предназначенной для анализа и обеспечения стойкости ЭКБ к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздей-

ствиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, для создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надёжности ЭКБ и создания цифровых двойников ЭКБ.

АСОНИКА – это замена натурных испытаний опытных образцов ЭКБ и ЭКБ виртуальными испытаниями на внешние механические, тепловые, электромагнитные и другие воздействия еще до их изготовления. Это значительная экономия денежных средств и сокращение сроков создания ЭКБ при одновременном повышении качества и надёжности за счет сокращения количества натурных испытаний.

При внешних механических воздействиях на этапе эскизного проектирования ЭКБ используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-Т: подсистема анализа и обеспечения тепловых характеристик произвольных конструкций ЭКБ (3D-модель которых еще не создана, с возможностью ускоренного создания модели в специализированном интерфейсе);

АСОНИКА-М-3D: подсистема анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭКБ к механическим и тепловым воздействиям с возможностью импорта геометрии из различных CAD-систем;

АСОНИКА-ИД: подсистема идентификации физико-механических и теплофизических параметров моделей ЭКБ;

АСОНИКА-БД: подсистема управления базами данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надёжностным параметрам.

1 ГОСТ Р 71134-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие случайной вибрации.

Оцениваемыми характеристиками являются среднеквадратические ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ, время до усталостного разрушения.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.9.

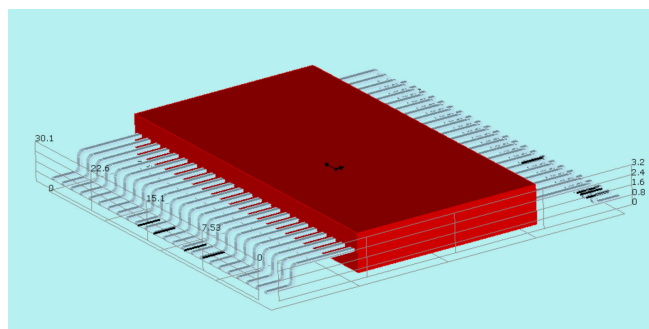
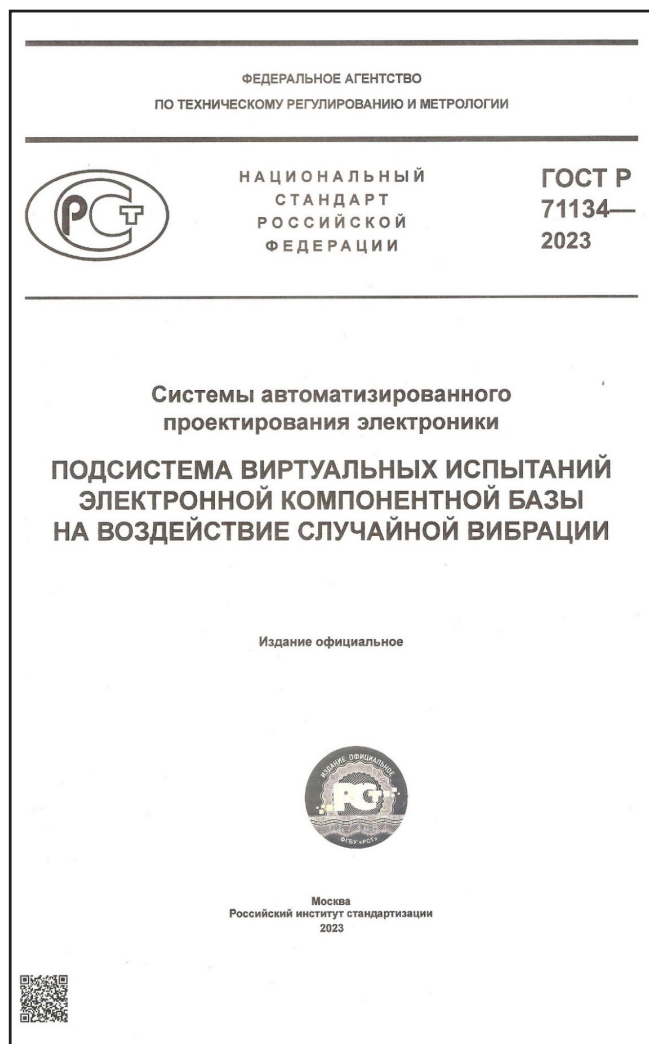


Рисунок 1.1 – Конструкция ЭКБ, импортированная из CAD-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

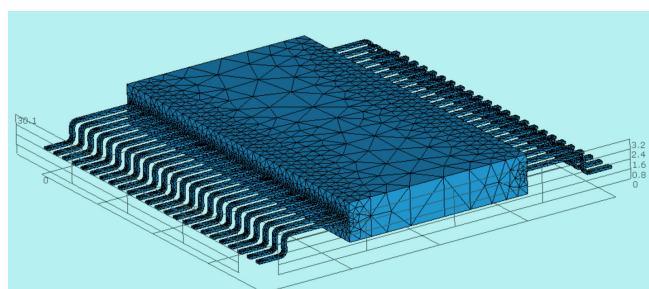


Рисунок 1.2 – Автоматическое разбиение на конечные элементы

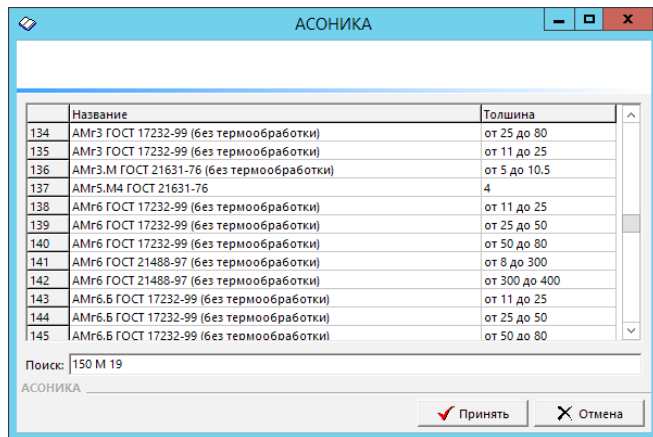


Рисунок 1.3 – Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

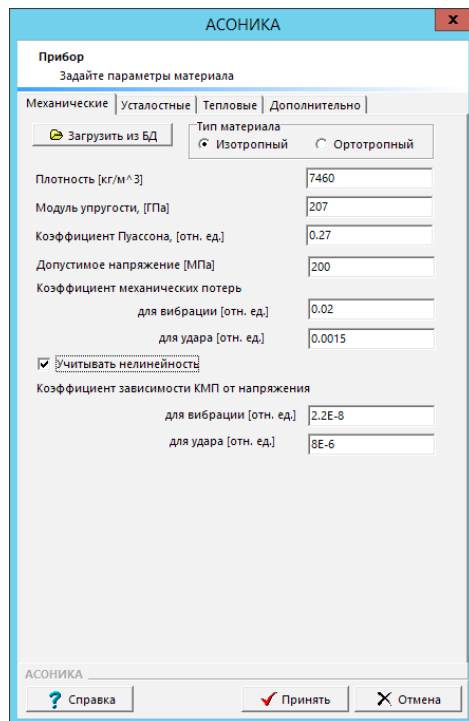


Рисунок 1.4 – Диалоговое окно для задания параметров материала

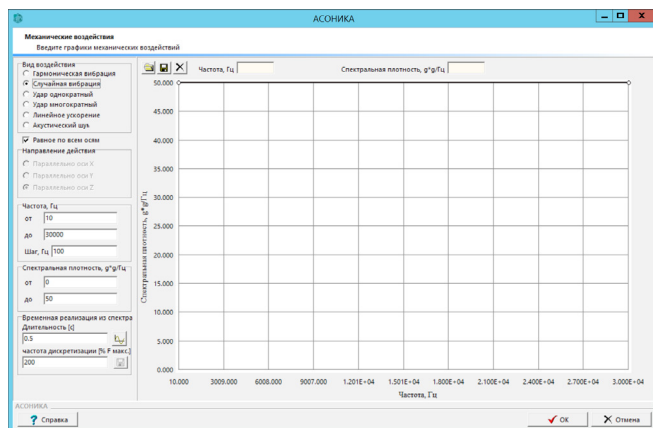


Рисунок 1.5 – График зависимости входной спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты

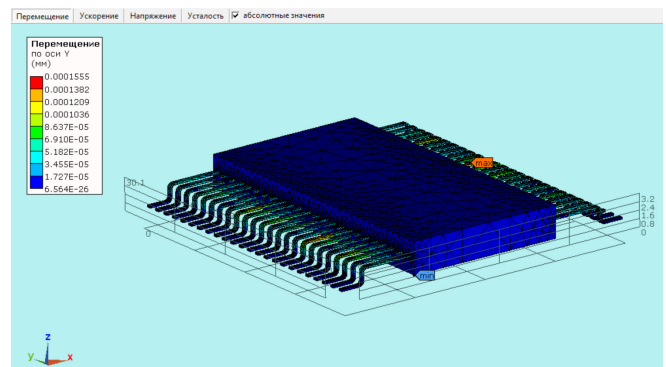


Рисунок 1.6 – Среднеквадратические перемещения по оси Y во всех точках конструкции ЭКБ

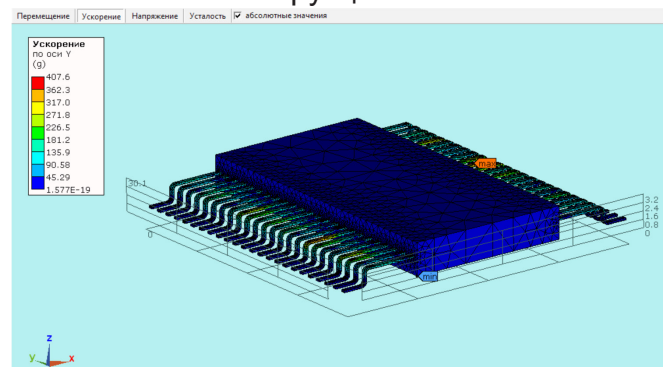


Рисунок 1.7 – Среднеквадратические ускорения по оси Y во всех точках конструкции ЭКБ

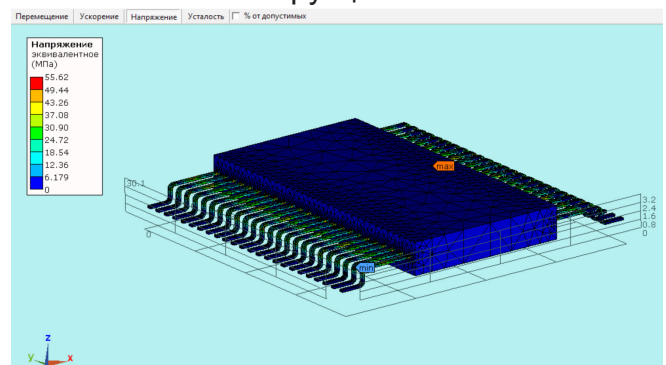


Рисунок 1.8 – Среднеквадратические эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции ЭКБ

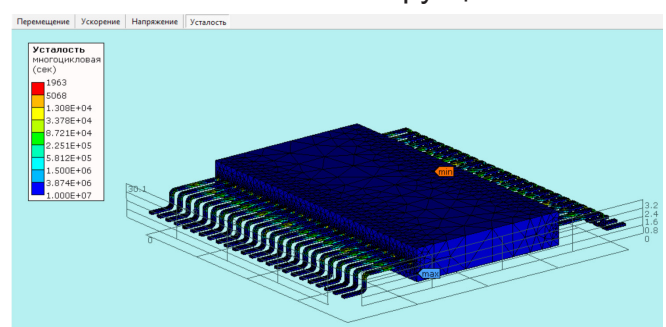


Рисунок 1.9 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии случайной вибрации

2 ГОСТ Р 71135-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭКБ на воздействие многократного механического удара.

Оцениваемыми характеристиками являются ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ, время до усталостного разрушения.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.4, 2.1 – 2.6.

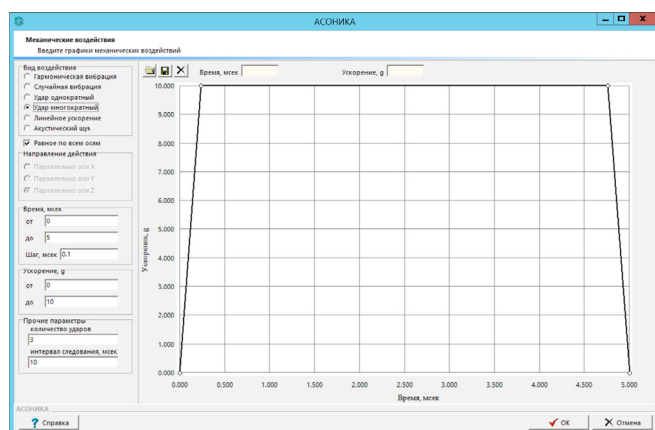


Рисунок 2.1 – График зависимости входного суммарного ускорения многократного механического удара от времени

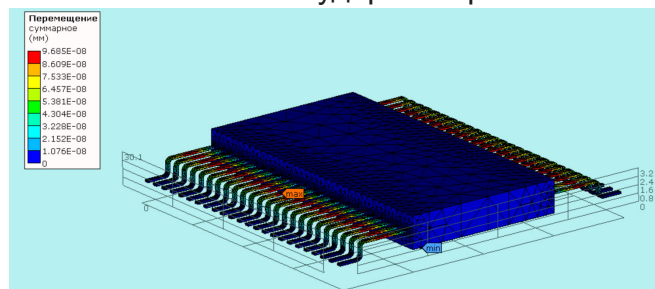


Рисунок 2.2 – Суммарные перемещения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии многократного механического удара в заданный момент времени

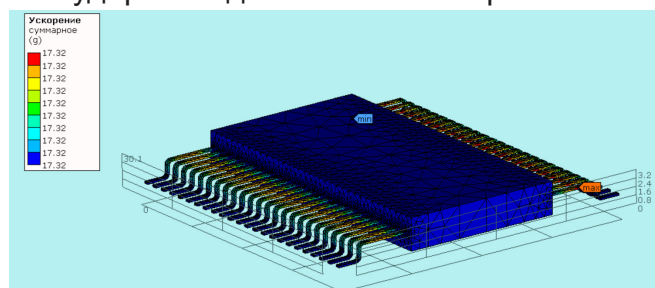


Рисунок 2.3 – Суммарные ускорения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии многократного механического удара в заданный момент времени

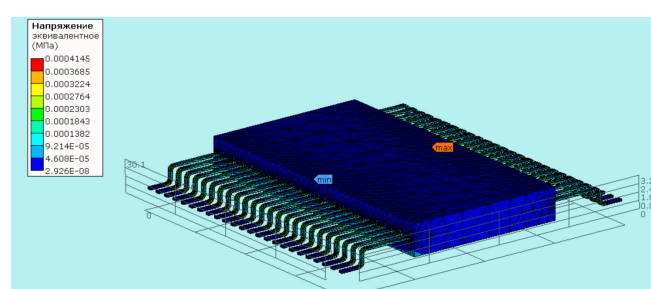
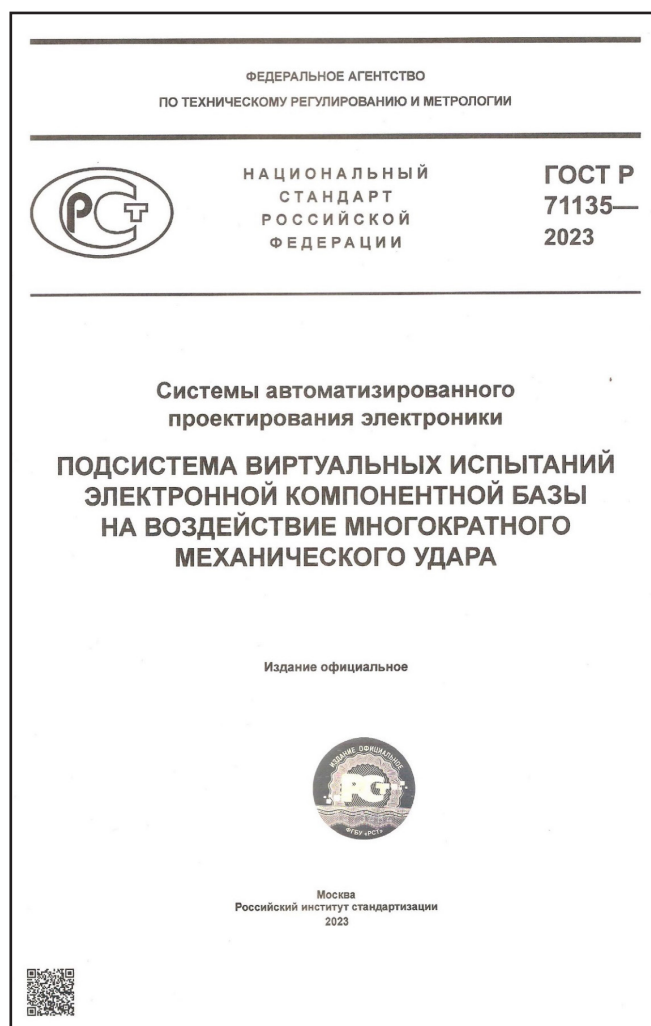


Рисунок 2.4 – Эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии многократного механического удара в заданный момент времени

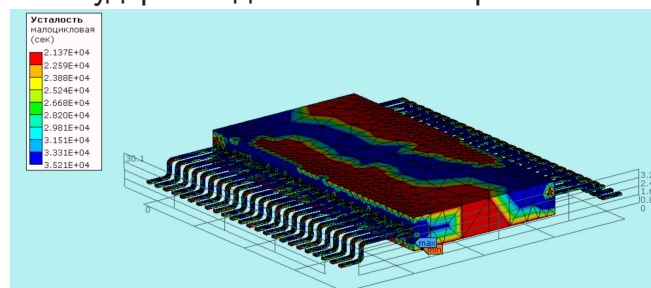


Рисунок 2.5 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции ЭКБ при воздействии многократного механического удара

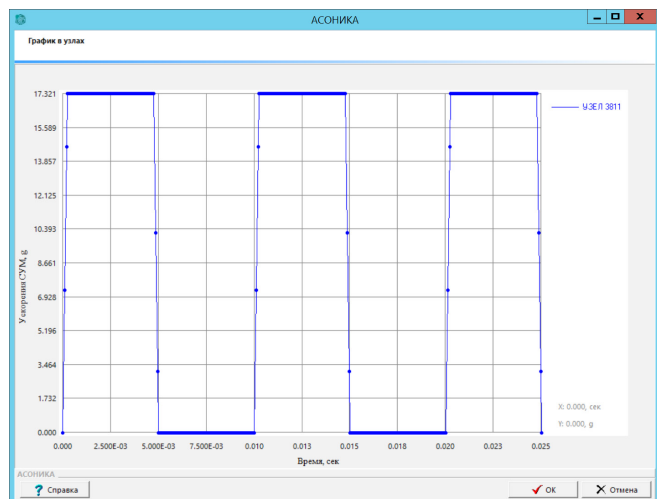


Рисунок 2.6 – График зависимости выходного суммарного ускорения многократного механического удара от времени в контрольной точке конструкции ЭКБ

3 ГОСТ Р 71130-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испы-

таний ЭКБ на воздействие акустического шума.

Оцениваемыми характеристиками являются резонансные частоты, ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭКБ, время до усталостного разрушения.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.4, 3.1 – 3.6.

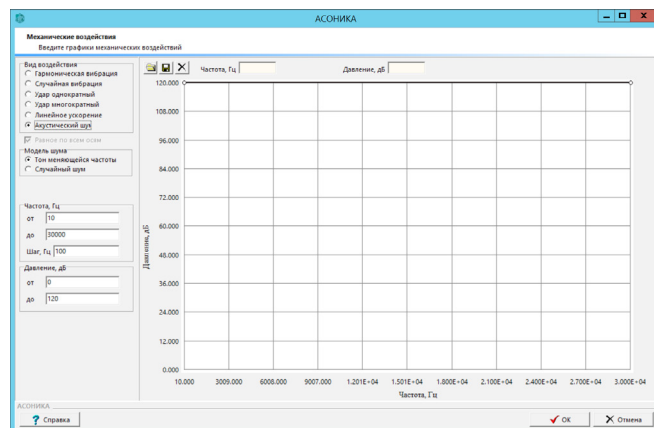


Рисунок 3.1 – График зависимости уровня звукового давления от частоты

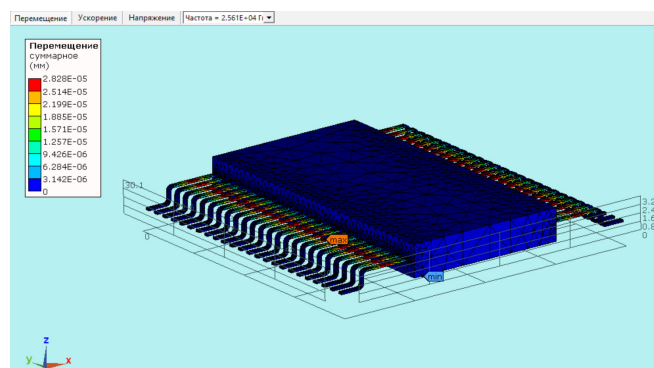
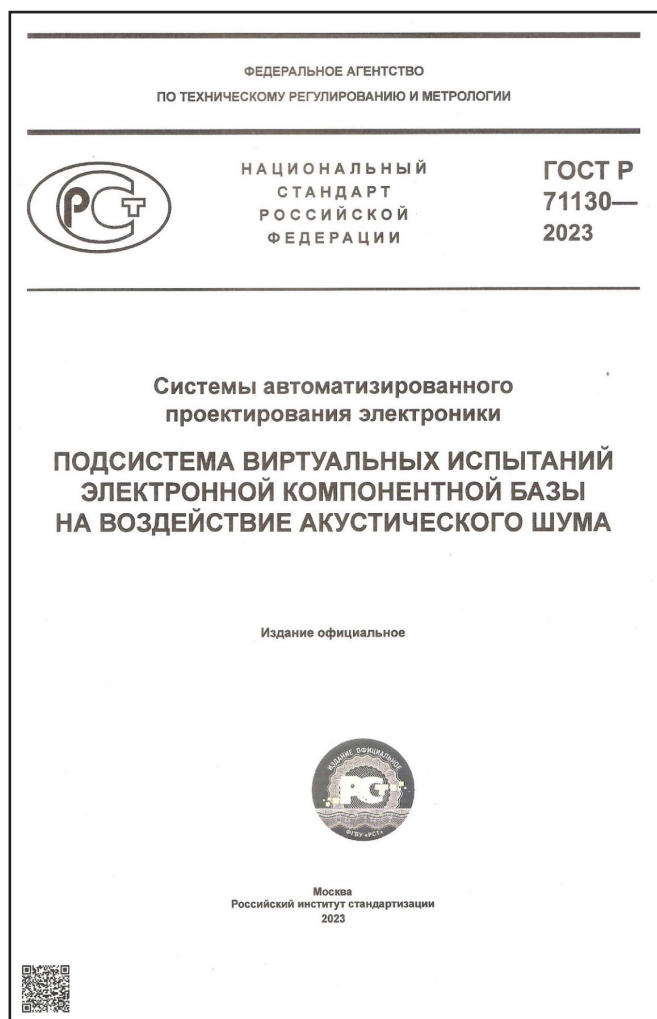


Рисунок 3.2 – Суммарные перемещения во всех точках конструкции ЭКБ на резонансной частоте

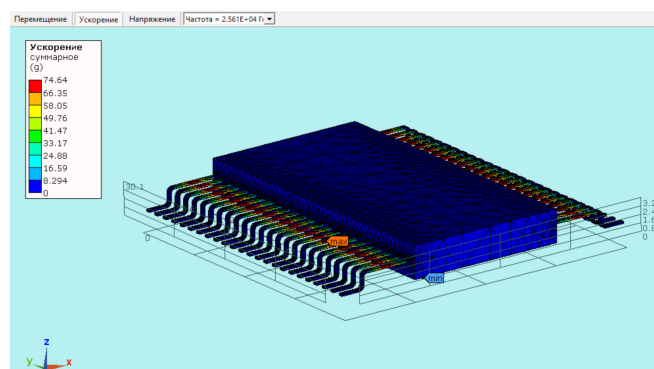


Рисунок 3.3 – Суммарные ускорения во всех точках конструкции ЭКБ на резонансной частоте

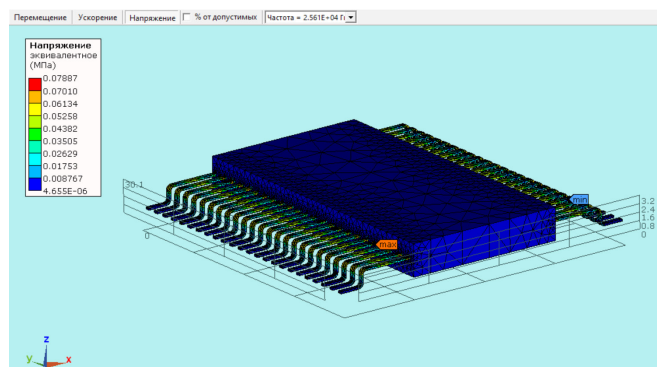


Рисунок 3.4 – Эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции ЭКБ на резонансной частоте

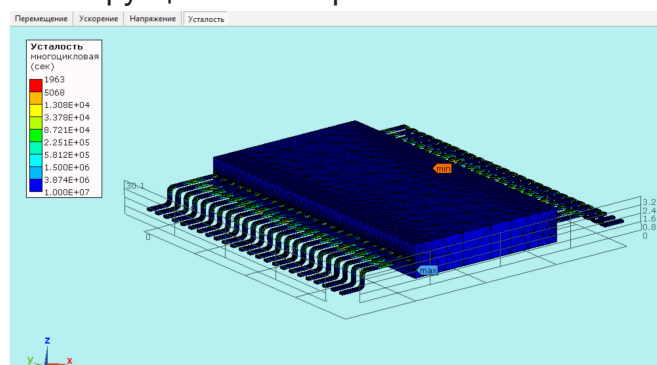


Рисунок 3.5 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции ЭКБ на резонансной частоте

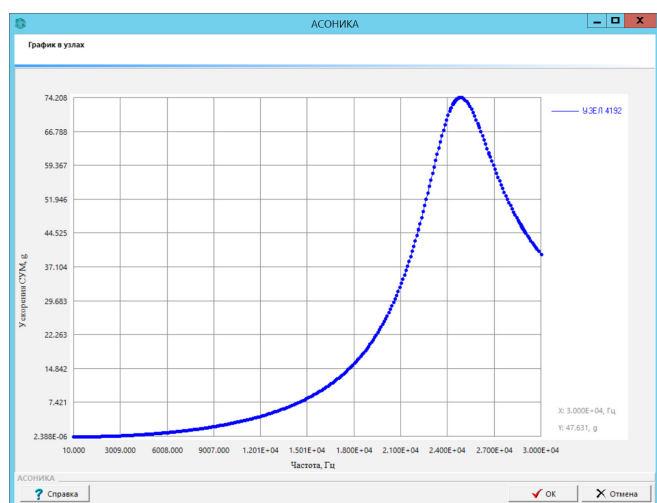
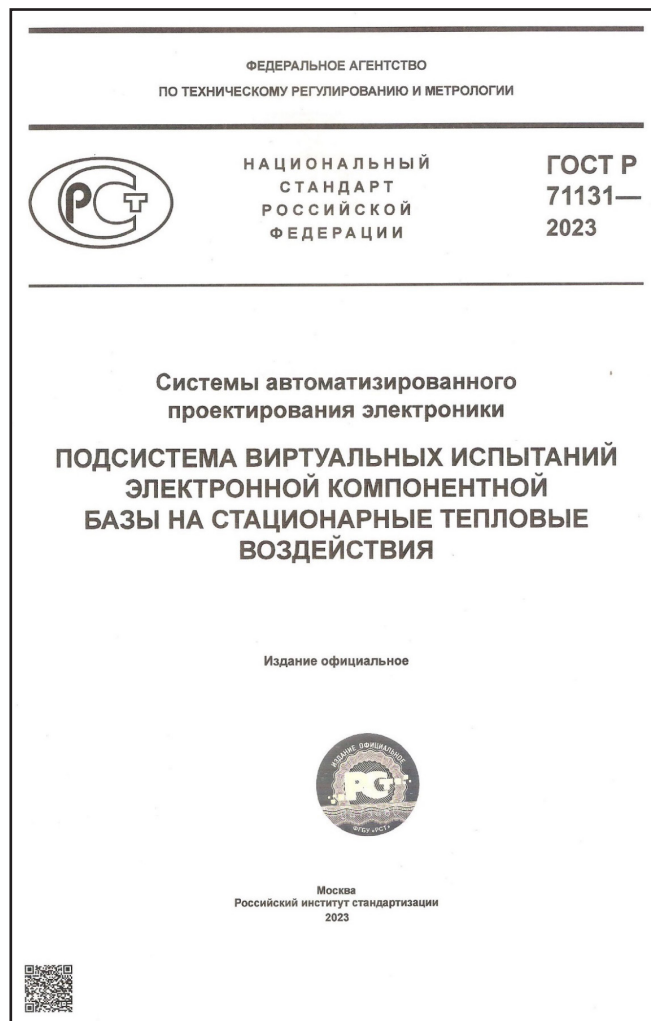


Рисунок 3.6 – График зависимости амплитуды выходного ускорения вторичной синусоидальной вибрации по оси X от частоты в контрольной точке

4 ГОСТ Р 71131-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭКБ на стационарные тепловые воздействия.

Оцениваемыми характеристиками яв-



ляются постоянные температуры в узлах моделей ЭКБ.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.3, 4.1 – 4.4.

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-Т представлены на рисунках 4.5 – 4.6.

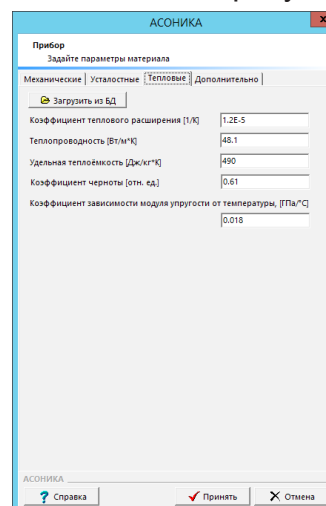


Рисунок 4.1 – Диалоговое окно для задания параметров материала

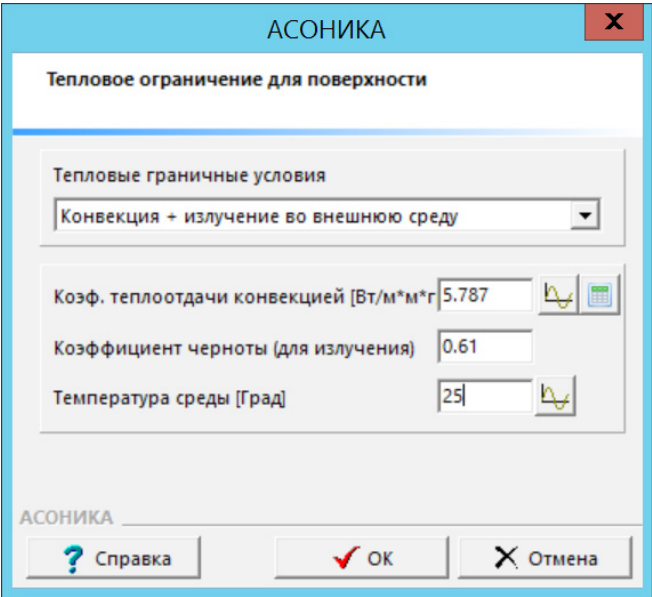


Рисунок 4.2 – Задание тепловых граничных условий

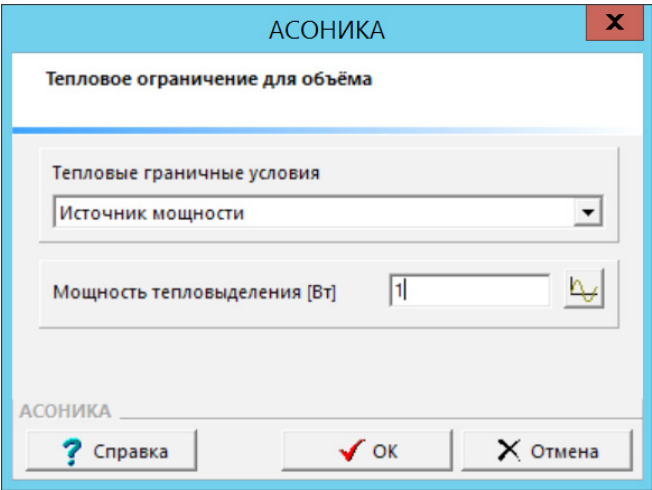


Рисунок 4.3 – Задание источника постоянной мощности

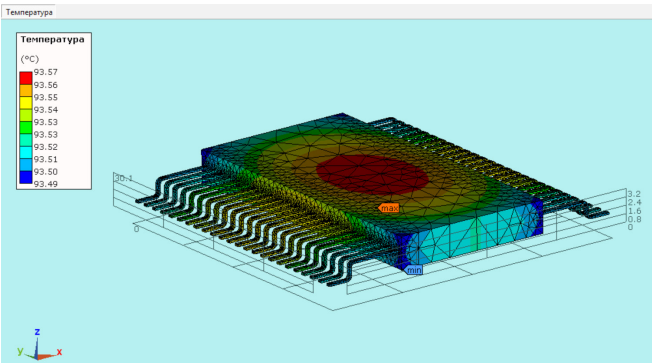
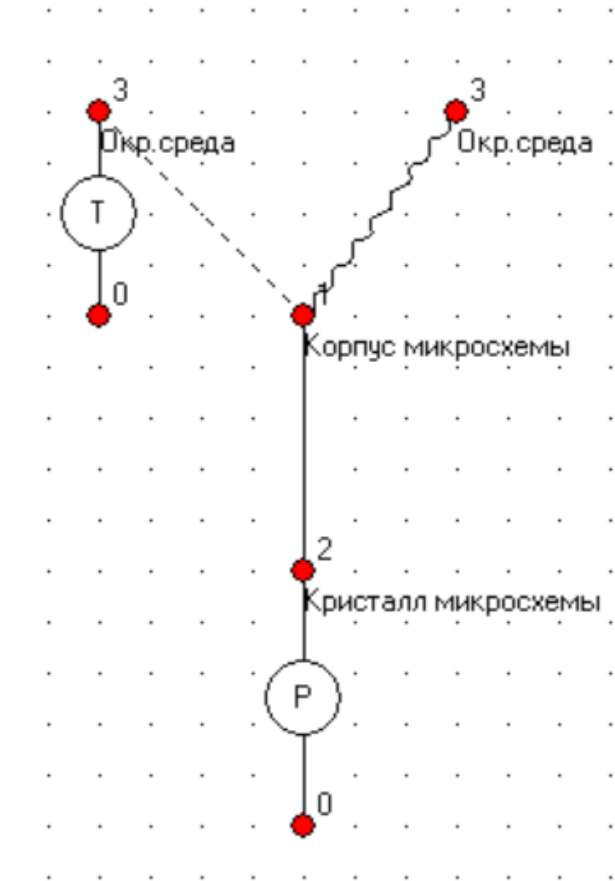


Рисунок 4.4 – Температуры во всех точках конструкции блока ЭКБ



Номер узла	Имя узла
1	Корпус микросхемы
2	Кристалл микросхемы
3	Окружающая среда (воздух)

Рисунок 4.5 – Модель тепловых процессов ЭКБ

Номер узла	Имя узла	Температура, °C
1	Корпус микросхемы	95,4
2	Кристалл микросхемы	115,4
3	Окружающая среда (воздух)	25

Рисунок 4.6 – Температуры в узлах модели тепловых процессов ЭКБ

Функциональная структура облачной платформы

Шеховцов Дмитрий Витальевич

АО «Росэлектроника», Главный конструктор Проектного офиса «Волга»
dvshekhovtsov@opkrt.ru

Functional structure of the cloud platform

Shekhovtsov D.V.

Акционерным обществом «Российская электроника» разработан программно-аппаратный комплекс систем автоматизированного проектирования (далее – ПАК САПР) – платформа сервисов проектирования радиоэлектронной продукции с использованием современных архитектурных решений, в том числе облачных и суперкомпьютерных технологий.

Платформа ПАК САПР является обеспечивающей системой Центра коллективного проектирования ХК (ИС) АО «Объединенная приборостроительная корпорация». Использование ПАК САПР позволяет повысить скорость и снизить стоимость разработки новой продукции без снижения качества, а также обеспечить конструкторов и разработчиков необходимыми инструментами для унификации и стандартизации процессов проектирования.

ПАК САПР автоматизирует сквозные циклы и маршруты проектирования радиоэлектронной продукции, включая комплексы и блоки радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), электронные модули (ЭМ), сверхбольших интегральных схем (СБИС).

Применение ПАК САПР должно обеспечить:

- коллективное использование программных средств САПР различных производителей;
- доступ к среде «доверенного» проектирования;
- надежное хранение конструкторской, технологической и производственной документации;
- возможность включения в процесс разработки продукции средств суперком-

пьютерного моделирования.

Разработка ПАК САПР является первым этапом сложного комплексного проекта создания сквозной цифровой платформы разработки и поддержки жизненного цикла электронных и радиоэлектронных изделий.

Ключевыми функциональными блоками ПАК САПР являются (рис. 1):

- единая виртуальная инфраструктура – это программная среда (среда управления виртуализацией серверных мощностей и рабочих станций), предоставляющая набор инструментов разработки и конструкторских данных, позволяющая объединить работу всей проектной команды на едином ресурсе, без высоких требований к локальным ресурсам на стороне пользователей;
- подсистема управления проектами – это подсистема, позволяющая организовать и контролировать процессы ведения технических работ, в том числе сквозных комплексных проектов;
- конструктор маршрутов проектирования – инструмент, позволяющий в автоматизированном режиме строить маршруты проектирования и предлагать набор САПР на основе анализа совокупных требований к разрабатываемому изделию;
- библиотека электронных компонентов – это база данных, включающая в себя перечень электронных компонентов и востребованный инженерами набор данных, необходимых для проектирования и производства радиоэлектронных изделий – от технических и эксплуатационных характеристик, до конструкторских файлов для САПР;
- сервис суперкомпьютерных вычи-



Рисунок 1 – Архитектура ПАК САПР и комплекса «Волга»

слений – программно-аппаратная среда, позволяющая подключать в едином интерфейсе ПАК САПР высокопроизводительные ресурсы суперкомпьютера для реализации маршрутов проектирования ЭКБ и РЭА.

Виртуальная инфраструктура является основой ПАК САПР – это единая площадка для работы проектных групп, обеспечивающая доступ к полному набору средств проектирования в режиме удаленного доступа. Инфраструктура полностью отвязана от локальных аппаратных ресурсов пользователей и построена по принципу облачного решения – модели сетевого доступа к вычислительным ресурсам и рабочей среде. В основе виртуальной инфраструктуры – программные средства виртуализации серверов и рабочих станций.

Виртуальная инфраструктура ПАК САПР предназначена для:

1. обеспечения доступа пользователей к ПАК САПР;
2. распределения уровней доступа к виртуальным и аппаратным средствам ПАК САПР;
3. подбора маршрутов проектирования изделий;

4. предоставления пользователям доступа к САПР и прикладному ПО для проектирования изделий;

5. обеспечения выполнения ресурсоемких операций в процессе проектирования устройств;

6. обеспечения хранения, загрузки в ПАК САПР и копирования на локальные ресурсы пользователей электронных конструкторских документов и проектной документации.

Сервис управления проектами централизованно предоставляет инструменты для организации и контроля исполнения работ, в том числе в рамках реализации комплексных проектов по разработке и производству электронных и радиоэлектронных изделий:

- инструменты для иерархического управления проектом;
- средства планирования и распределения работ;
- инструменты построения и отслеживания календарно-сетевых графиков реализации проектов;
- средства контроля статуса выполнения этапов разработки.

Реализация сервиса управления проектами на базе виртуальной инфраструкту-

ры позволяет централизованно выполнять работы территориально-распределенными группами разработчиков, в том числе в режиме кооперации.

Для обеспечения сквозного контроля реализации проектов по созданию электронных и радиоэлектронных изделий в ПАК САПР предусмотрена возможность фиксации статусов выполнения этапов, информирование ответственных исполнителей и руководителей о нарушении сроков выполнения работ.

В составе ПАК САПР реализовано девять базовых (типовых) маршрутов проектирования электронных и микроэлектронных изделий с целью использования в качестве готового шаблона при создании и управлении проектом. Сквозной маршрут проектирования формируется на основе верхнеуровневой схемы деления изделия на модули и состоит из совокупности базовых маршрутов проектирования, по которым разрабатываются составные части изделия. Система предложит рекомендованный набор САПР для выполнения работ, позволит заменить САПР на альтернативный в случае необходимости.

В случае необходимости создания альтернативного маршрута проектирования изделия в системе предусмотрен Конструктор маршрутов проектирования – механизм выстраивания маршрута проектирования изделий с учетом особых требований пользователей.

ПАК САПР поддерживает проектирование изделий по следующим базовым маршрутам проектирования:

- **Маршруты проектирования РЭА:**

1. РЭА и комплексов РЭА
2. печатных плат;
3. антенно-фидерных устройств;
4. пассивных модулей СВЧ;

- **Маршруты проектирования электронных компонентов:**

5. аналоговых СБИС;
6. систем на кристалле;
7. систем в корпусе;
8. радиочастотных СБИС;
9. СВЧ (компоненты и монолитные интегральные СВЧ микросхемы)

В рамках реализации ПАК САПР раз-

работаны нормативные документы и рекомендации по проектированию изделий в ПАК САПР.

Одним из важнейших сервисов ПАК САПР является Библиотека электронных компонентов. Библиотека обеспечивает разработчиков и изготовителей радиоэлектронной аппаратуры исчерпывающей информацией об отечественных и зарубежных компонентах, включая технические, эксплуатационные характеристики, конструкторские данные, необходимые для проектирования, в том числе автоматизированного, средствами САПР радиоэлектронной аппаратуры.

Библиотека электронных компонентов реализована в виде многоуровневого классификатора и содержит верифицированную информацию:

- технические и эксплуатационные характеристики;
- модели компонентов ЭКБ и справочники для систем автоматизированного проектирования: 3D, УГО, посадочные места, электрические;
- справочную информацию – справочные листы, технические описания, руководства пользователя, datasheet;
- сведения об изготовителях компонентов.

Библиотека электронных компонентов поддерживает выполнение многокритериального поиска и отбора электронных компонентов по их электрическим, функциональным и эксплуатационным характеристиками. Дополнительно реализована функция выборочного сравнения характеристик компонентов.

ПАК САПР обеспечивает формирование в автоматическом режиме виртуальных рабочих мест, доступ к которым осуществляется удаленно. Идеология единого информационного пространства обеспечивает предоставление пользователю взаимосвязанных пакетов САПР, доступных пользователю непосредственно на рабочем столе виртуальной машины.

Интерфейсы интеграции формируют связь САПР между собой и системой хранения данных, обеспечивая динамическую связь всех файлов проекта.

Интеграционные механизмы САПР и библиотеки ЭКБ обеспечивают динамическую связь электронных файлов моделей компонентов со справочниками САПР. При добавлении компонента в библиотеку ЭКБ, модели автоматически добавляются в справочники и становятся доступны пользователю непосредственно из интерфейсов САПР.

Дополнительно в системе обеспечивается интеграция САПР с офисными приложениями, благодаря чему становится возможно выгружать КД в формате файлов офисных приложений непосредственно из САПР или Союз-PLM с учетом требований ЕСКД. Также возможно формирование любых произвольных шаблонов загрузки по желанию пользователей.

В настоящее время реализована интеграция отечественных САПР:

- для проведения виртуальных испытаний: АСОНИКА, CADFLO, Логос;
- для разработки механических конструкций: Компас-3D, T-Flex;
- для проектирования печатных плат: Delta Design.

Вместе с этим в ПАК САПР интегрированы зарубежные САПР, импортозамещение которых в настоящее время не завершено.

С целью удовлетворения существенных аппаратных потребностей пользователей для выполнения моделирования/расчетов в составе ПАК САПР реализован сервис суперкомпьютерных вычислений (ССВ), поддерживающий функционирование высокопроизводительных САПР. ССВ обеспечивает существенное ускорение выполнения задач, для решения которых задействуются механизмы распараллеливания процессов, существенные потребности в значительных объемах оперативной памяти, физическом дисковом простран-

стве и т.д. Для упрощения применения ССВ пользователями разработаны шаблоны расчетных задач – автоматизированные помощники постановки вычислительных задач для суперкомпьютера.

Проектом предусматривается три базовых варианта внедрения и предоставления доступа к сервисам ПАК САПР:

1. Единое облачное решение (модель SAAS) разворачивается на инфраструктурных мощностях ХК (ИС) АО «ОПК», доступ различных проектных команд к ресурсам ПАК САПР разграничивается на уровне подсистемы управления доступом и подсистемы информационной безопасности. Все подключенные к единому облачному решению проектные команды получают выделенные ресурсы (дисковое пространство для хранения КД и рабочей документации, виртуальные машины, зарезервированные серверные мощности и т.д.) и доступ к общим централизованным библиотекам и справочникам (библиотека электронных компонентов, БД НСИ).

2. Развернутое под конкретного заказчика (или проектную группу) облачное решение (модель Private Cloud). В отличие от первого варианта, на мощностях ХК (ИС) АО «ОПК» разворачивается полнофункциональная копия ПАК САПР под конкретного заказчика, все ресурсы развернутого облачного решения доступны того его пользователям.

3. Развертывание ПАК САПР на собственных ресурсах Заказчика (модель on-premise). В данном варианте ПАК САПР разворачивается внутри локальной сети предприятия-заказчика, изолированно от внешней среды. Обновление библиотек и справочников, необходимых для реализации проектов заказчика в «локальном» ПАК САПР, происходит в одностороннем порядке.

Программный комплекс для автоматизации подготовки управляющей информации для производства фотошаблонов

Шохрин Р.С.

Инженер-программист АО «НИИМЭ», МИЭТ
rshokhrin@niime.ru

Капкин И.Д.

Инженер-программист АО «НИИМЭ», МФТИ
ikapkin@niime.ru

Медведев К.А.

Начальник лаборатории автоматизации отдела проектирования фотошаблонов АО «НИИМЭ»
kmedvedev@niime.ru

Иванов В.В.

Кандидат физико-математических наук, заместитель начальника отдела проектирования фотошаблонов АО «НИИМЭ»
vlaivanov@niime.ru

Рябинин А.Д.

Инженер-программист АО «НИИМЭ»
aryabinin@niime.ru

Московцев А.Ф.

Инженер-программист АО «НИИМЭ», МФТИ
amoskovtsev@niime.ru

Аннотация

В работе предложена универсальная спецификация для описания маршрутов подготовки УИ любой сложности. Разработан программный комплекс для подготовки УИ на базе этой спецификации. Предложенное решение позволяет адаптироваться под различные технологические требования, ускоряя внедрение новых маршрутов.

Ключевые слова: проектирование фотошаблонов, автоматизация, управляющая информация, системы автоматизированного проектирования.

Software package for automation of preparation of control information for photomask production

Shokhrin R.S., Kapkin I.D., Medvedev K.A., Ivanov V.V., Ryabinin A.D.

Abstract

The paper proposes a universal specification for describing the routes of preparation of UI of any complexity. A software package for preparation of UI based on this specification has been developed. The proposed solution allows adapting to various technological requirements, accelerating the implementation of new routes.

Keywords: photomask design, automation, control information, computer-aided design systems.

Введение

При освоении новых технологических уровней микроэлектронного производства существенно усложняется процедура подготовки управляющей информации (УИ) для производства фотошаблонов (ФШ) – ключевого компонента литографического цикла. Ошибки, допущенные на этом этапе, могут крайне негативно сказываться на работоспособности изготавливаемого изделия и приводить к серьезному снижению показателя выхода годных.

Новые маршруты для подготовки УИ могут значительно отличаться от существующих по структуре, составу операций, последовательности их выполнения, уровню декомпозиции на подзадачи и т.д. Это приводит к необходимости постоянной адаптации программного обеспечения для подготовки УИ, что требует серьезных временных и финансовых затрат.

В рамках данной работы разработана универсальная спецификация для описания маршрутов подготовки УИ любой сложности и реализован программный комплекс для подготовки УИ по маршрутам на базе этой спецификации.

1 Анализ маршрута подготовки управляющей информации

Обобщенный маршрут подготовки УИ представлен на рисунке 1.

В зависимости от выбранного уровня декомпозиции задач, маршрут может быть представлен в виде последовательных этапов, каждый из которых состоит из операций, которые в свою очередь могут иметь дочерние операции. На некоторых участках маршрута может быть организовано параллельное выполнение операций, на других участках запуск отдельных операций зависит от выполнения определенных условий.

Исходные данные для подготовки УИ могут быть двух типов. Статические данные, такие как состав и последовательность этапов, необходимость генерации dummy-структур, требования по расстановке измерительных структур в межкристальном пространстве и т.д., могут быть известны на этапе внедрения технологии. Динамические данные, такие как тип ФШ, список заказываемых слоев ФШ, перечень проектов, тестовых сборок и т.д., становятся известны только на момент запуска подготовки УИ и отличаются для разных комплектов ФШ.

Таким образом, конечный маршрут может состоять из статической части, сформированной на этапе внедрения технологии и динамической части, формирующейся непосредственно перед запуском подготовки УИ.

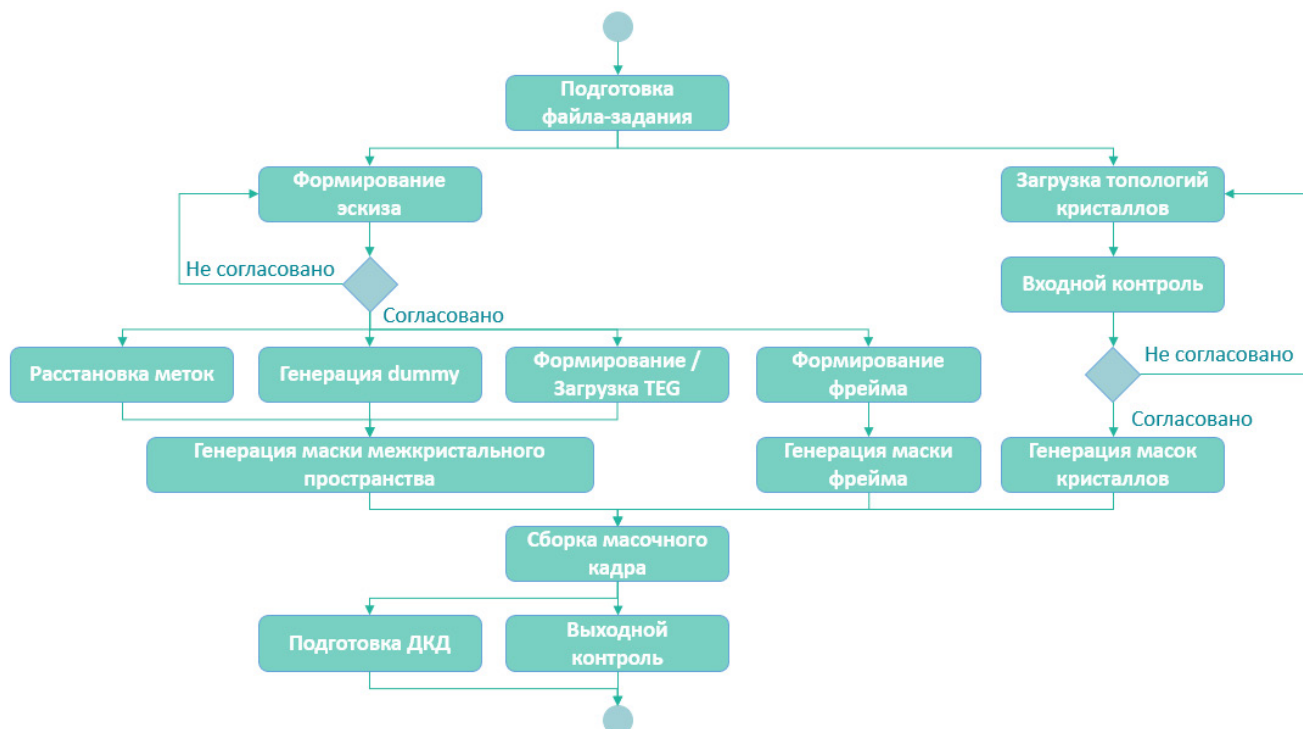


Рисунок 1 – Обобщенный маршрут подготовки УИ

2 Разработка универсальной спецификации для описания маршрутов подготовки управляющей информации

В качестве основы для спецификации выбран язык описания YAML (Yet Another Markup Language). Он удобен как для человеческого восприятия, так и для программной обработки. Синтаксис языка достаточно просто и не требует специальных знаний от инженера-проектировщика ФШ.

Описание структуры маршрута (статическая часть)

Структура маршрута, состав и последовательность операций как правило формируется на основе статических данных, известных на этапе внедрения технологии. При ее формировании используется структурный шаблон проектирования «Композит» (Composite pattern), который позволяет представлять иерархию операций в виде древовидной структуры и обеспечивает единый интерфейс взаимодействия как с отдельными операциями, так и с группами операций. Пример описания структуры маршрута показан на рисунке 2.

```
base_operation:
  name: CMOSF8_4M_5V
  pos: 1
  operations:
    - name: workdir
      pos: 1
      operations:
        - name: Struct
          pos: 1
        - name: Chips
          pos: 2
        - name: Tegn
          pos: 2
        - name: eskiz
          pos: 2
      operations:
        - name: Check
          pos: 1
        - name: HTML
          pos: 2
```

Рисунок 2 – Пример описания структуры маршрута

Операции маршрута могут быть логическими и исполняемыми. Логические операции позволяют объединять дочерние операции в один связанный блок. Исполняемые операции предусматривают наличие программного сценария (скрипта). Для каждой операции задается порядковый номер (поле «pos»), который регулирует последовательность выполнения. Если у двух или более операций одинаковый порядковый номер они выполняются параллельно.

Описание операций маршрута (динамическая часть)

Динамические данные, специфичные для разных комплектов ФШ и кастомизируемые для каждого запуска подготовки УИ, как правило задаются в виде конфигурационных файлов в INI-формате. Для описания операций и их параметров с учетом динамических данных разработаны правила по сбору и структурированию данных с использованием регулярных выражений. Пример описания операции показан на рисунке 3.

```
meta:
  Tegn:
    fill: true
    reg_str: \[Teg_[0-9]+\]
    config: order.conf
    keys: [path]
    group: Teg
base_operation:
  name: tegn
  group: Tegn
```

Рисунок 3 – Пример описания операции маршрута

Блок операции («base_operation») обозначает операцию, данные которой необходимо сформировать. Структура этого блока может иметь дополнительную вложенность.

Блок правил заполнения («meta») содержит регулярные выражения, по которым данные извлекаются из конфигурационных файлов. Поле «keys» содержит в себе название поля, значения которого следует использовать при запуске скриптов, а поле «group» определяет название заполняемой группы. Поле «reg_str» содержит

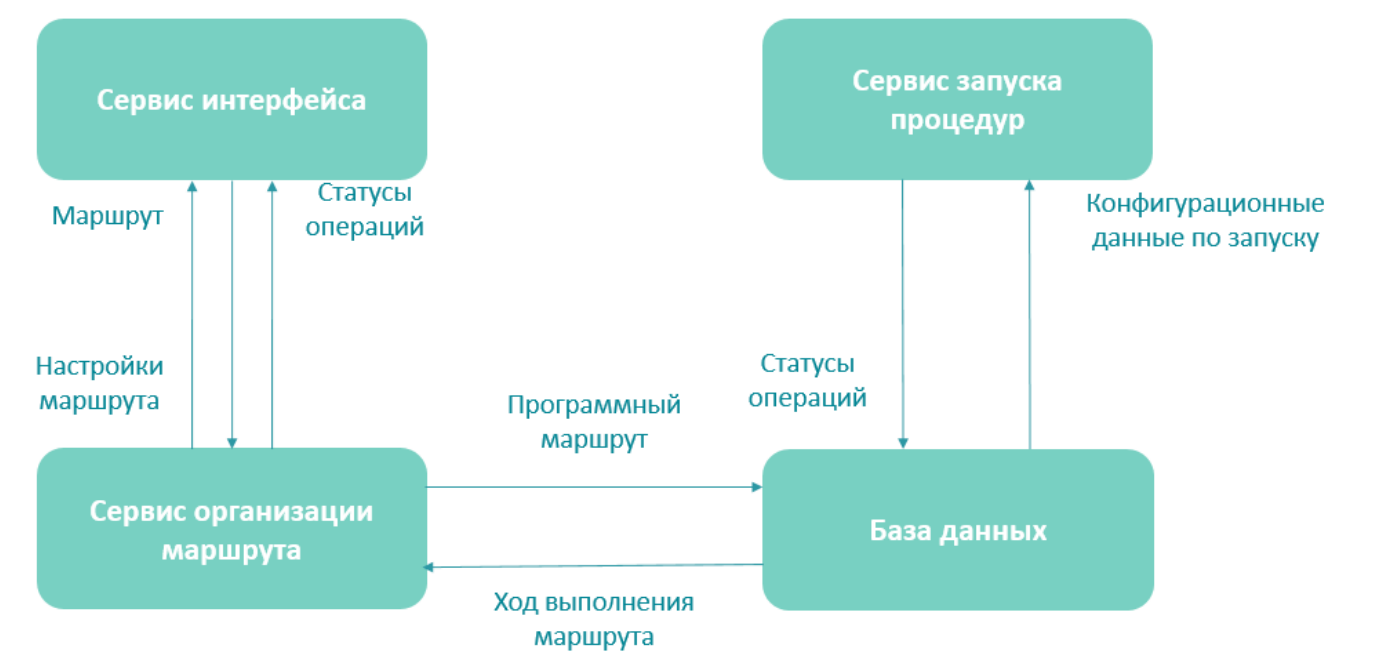


Рисунок 4 – Архитектура программного комплекса

шаблон в формате регулярного выражения. В поле «config» задается путь к нужному конфигурационному файлу. В блоке правил заполнения может содержаться одно или более правил.

3 Разработка программного комплекса для подготовки УИ по

маршрутам на базе универсальной спецификации

Архитектура программного комплекса
Разработанный программный комплекс для подготовки УИ состоит из четырёх независимых сервисов: сервис интерфейса, сервис организации маршрута, сервис запуска процедур и сервис для хранения дан-

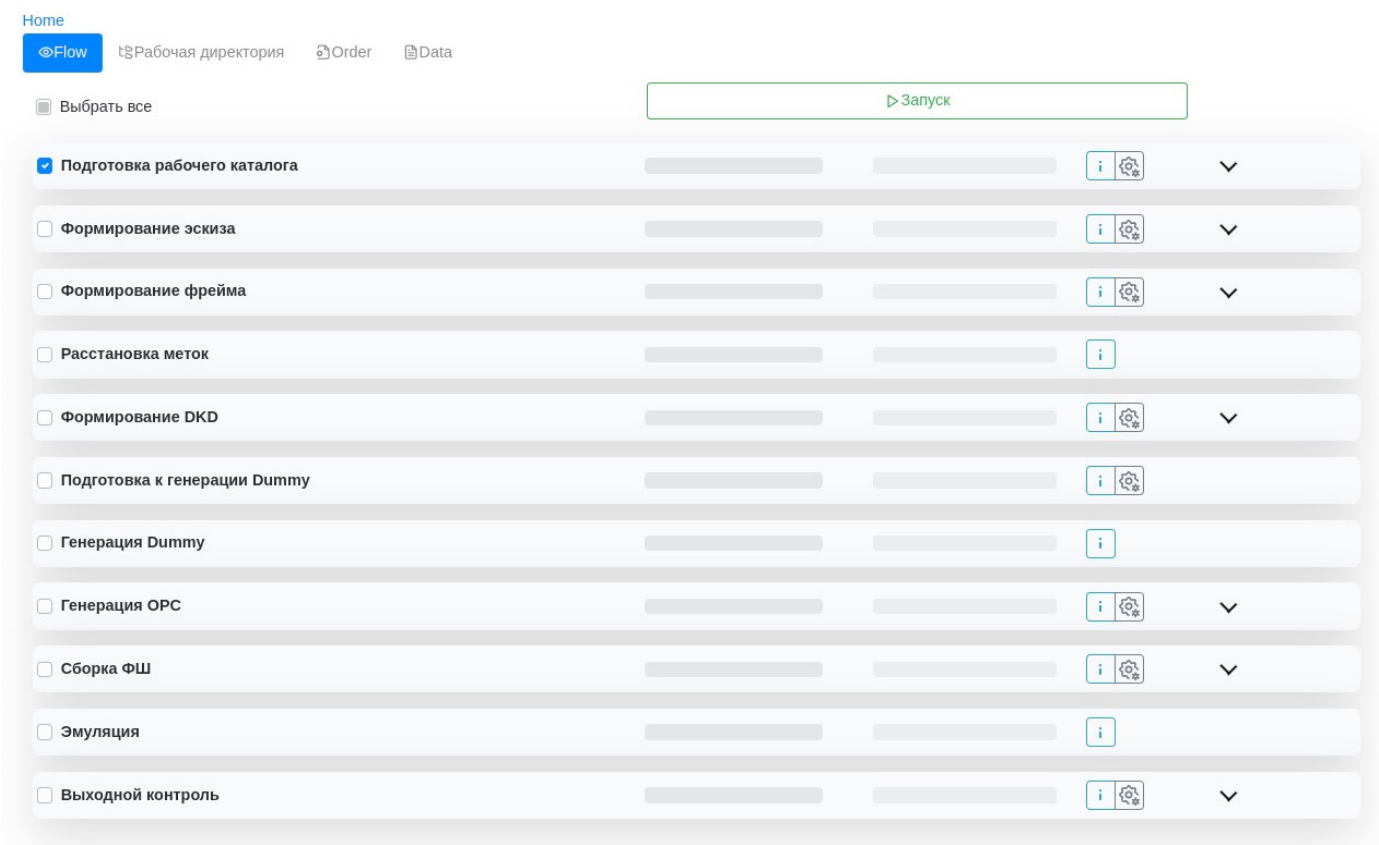


Рисунок 5 – Интерфейс конфигурации маршрута

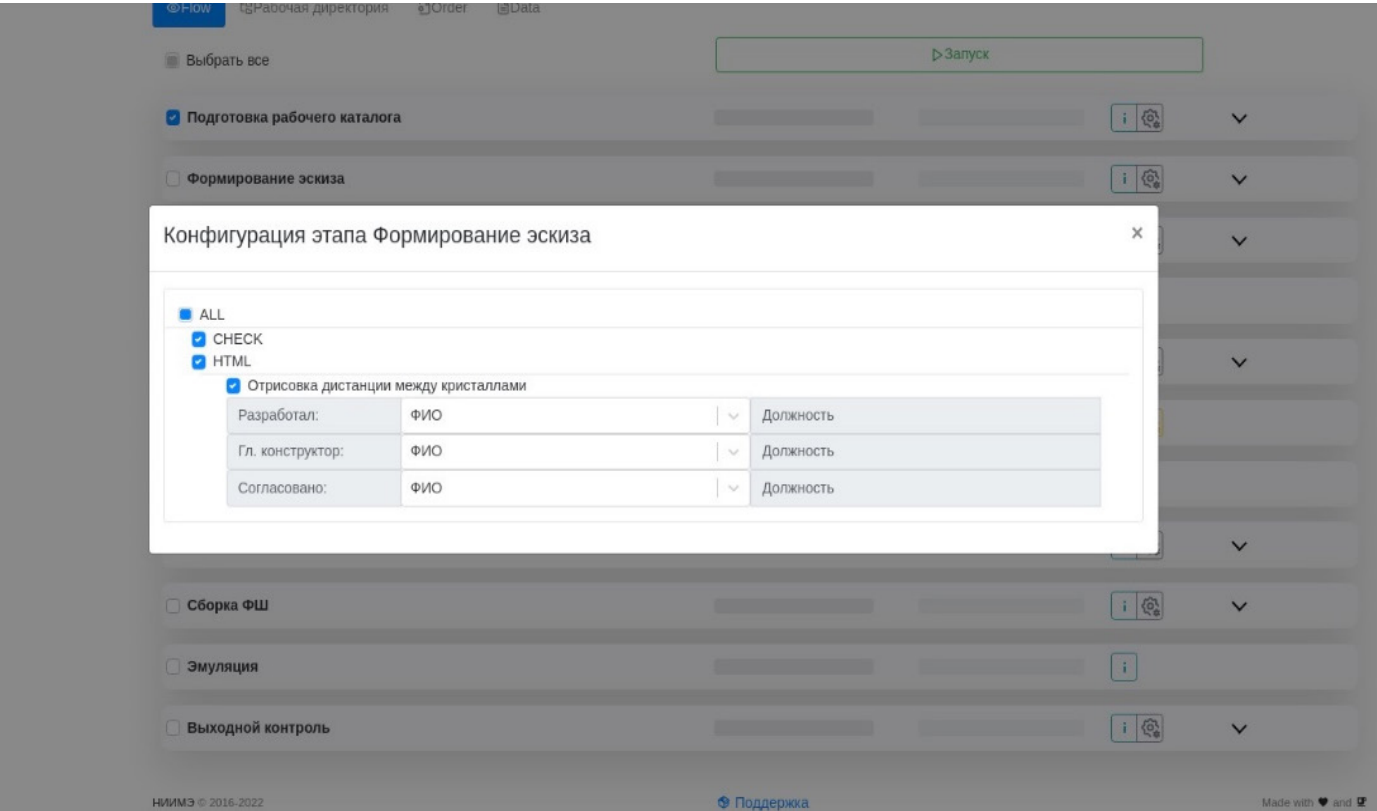


Рисунок 6 – Интерфейс конфигурации операции «Формирование эскиза»

ных (база данных). Архитектурная схема комплекса показана на рисунке 4.

База данных комплекса содержит ин-

формацию о конфигурационных файлах маршрута, статусы выполнения операций, записи о ходе выполнения отдельных про-

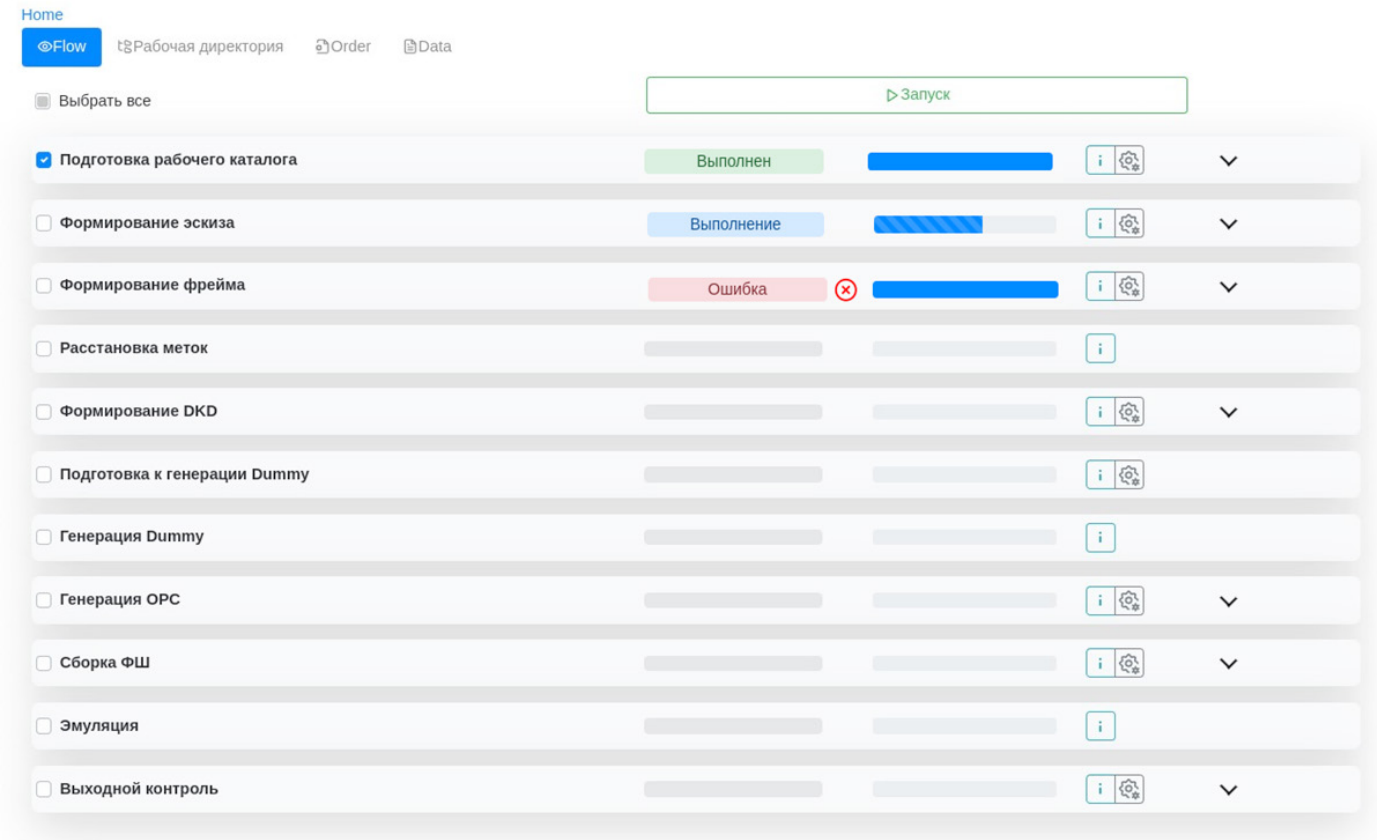


Рисунок 7 – Интерфейс отображения хода выполнения.

цедур и т.д.

Сервис запуска процедур представляет собой программу-демон, которая обеспечивает запуск и контроль хода выполнения программных сценариев операций маршрута подготовки УИ. Конфигурация сценариев осуществляется при помощи специальных файлов в формате JSON. Информация о статусе и ходе выполнения передается в базу данных.

Сервис интерфейса предназначен для обеспечения взаимодействия с пользователем и позволяет конфигурировать маршрут и его операции. Помимо этого, он реализует интерфейсы для отображения хода выполнения подготовки УИ в реальном времени.

Сервис организации маршрута является связующим звеном между сервисом пользовательского интерфейса и сервисом запуска процедур маршрута подготовки УИ. Его основная задача – формирование конечного представления маршрута подготовки УИ с учетом конфигурационных файлов запуска и пользовательских данных.

Интерфейс программного комплекса

Примеры интерфейса разработанного программного комплекса показаны на рисунках 5 – 7.

Заключение

Разработанная спецификация для описания маршрутов подготовки УИ, позволяет описывать маршруты с произвольной иерархической структурой любой сложности и уровня вложенности. При этом внедрение новых маршрутов подготовки УИ и не требует привлечения программистов и доработки ПО для проектирования ФШ.

Гибкая система по кастомизации операций позволяет модернизировать существующие маршруты по мере необходимости, а также разрабатывать индивидуальные решения, адаптированные к специфическим требованиям технологии.

Модульная структура комплекса позволяет интегрировать в библиотеку новые программные сценарии (скрипты) с минимальными временными затратами и масштабировать систему как с функциональной точки зрения, так и с точки зрения производительности.

Библиография

[1] Красников Г.Я., Горнев Е.С., Матюшкин И.В. Общая теория технологии и микроэлектроника: часть 1. Уровни описания технологии //Электронная техника. Серия 3: Микроэлектроника. 2017. №1 (165). С. 51-69.

[2] В. А. Беспалов [и др.]; под ред. В. А. Беспалова. //Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро– и наносистем. Mentor Graphics. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 207 с.

[3] В. А. Беспалов [и др.]; под ред. В. А. Беспалова. //Введение в дизайн фотошаблонов для изготовления микро– и наносистем. Cadence MaskCompose. БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 199 с.

[4] Иванов В.В., Тельминов О.А. «Подготовка управляющей информации для изготовления фотошаблонов. Перспективные методы и автоматизация» [Электронный ресурс] // СайтАО «НИИМЭ», 2019. URL:<https://www.niime.ru/upload/pres/70219/03.pdf> (дата обращения: 5.10.2024).

УДК 004.41

Современные подходы построения цифровой платформы в области электромагнитного моделирования

Лучин Дмитрий Вячеславович

ФГБУ НИИР – «Самарский филиал», кандидат технических наук
dmyl@soniir.ru

Трофимов Алексей Павлович

ФГБУ НИИР – «Самарский филиал», кандидат технических наук
tap@soniir.ru

Филиппов Дмитрий Викторович

ФГБУ НИИР – «Самарский филиал», кандидат технических наук
tap@soniir.ru

Юдин Вячеслав Викторович

ФГБУ НИИР – «Самарский филиал», доктор технических наук, профессор
uvv@soniir.ru

Аннотация

В статье рассмотрены современные подходы построения цифровой платформы в области электромагнитного моделирования, основанные на создании полностью параметризованных моделей на основе специализированного профессионального геометрического ядра с использованием встраиваемого скриптового языка программирования.

Ключевые слова: электромагнитное моделирование, параметрическая модель, методы параметризации, встраиваемые скриптовые языки, антенны.

Modern approaches to building a digital platform in the field of electromagnetic modeling

Luchin D.V., Trofimov A.P., Filippov D.V., Yudin V.V.

Abstract

The article discusses modern approaches to design a digital platform in the field of electromagnetic modeling based on the creation of fully parameterized models based on a specialized professional geometric core using an embedded scripting programming language.

Keywords: electromagnetic modeling, parametric model, parameterization methods, embedded scripting languages, antennas.

Введение

Разработка современной аппаратуры и создание систем и сетей связи новых поколений требует решения ряда научных и инженерных задач, в том числе связанных с решением задач электродинамического и

схемотехнического моделирования:

– разработка трактов и аппаратуры систем связи, включая современные технологии (фазированные антенные решетки, смарт антенны и др.), позволяющие перейти к стандартам связи последних и перспек-

тивных поколений;

- проектирование антенн и антенных систем, как на этапе первичной разработки, так и на этапе строительства объектов связи;

- обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС), приборной при разработке аппаратуры и объектовой при строительстве инфраструктуры;

- обеспечение электромагнитной безопасности.

Как показывает мировой опыт, эффективное решение рассматриваемых задач в настоящее время строится на основе комплексного подхода, предполагающего разработку и внедрение в процесс проектирования единой программно-аппаратной цифровой вычислительной платформы, обеспечивающей возможности сквозного проектирования, начиная от разработки вычислительных моделей и заканчивая моделированием функционирования разработанной аппаратуры в конкретной системе, то есть решения определенного круга системных вопросов.

Современное состояние вопроса в мировой практике можно охарактеризовать достаточно высокой оценкой уровня развития, как в части методологии, так и в части программно-аппаратной реализации. Между тем в России имеются свои специфические особенности, которые заключаются в том, что при наличии ряда отечественных разработок программных продуктов каждый из них обеспечивает решение относительно узкого круга задач. Вычислительно мощные, рассчитанные на решение широкого класса задач цифровые платформы в отечественной практике отсутствуют. Другими словами, имеет место отставание от мирового уровня в части универсальности, что вынуждает отечественных разработчиков радиосистем использовать программные продукты зарубежных производителей. При этом возникают риски утечки информации при работе с этими продуктами, а также риски их полной блокировки, что является критическими факторами отставания развития отраслей микро и радиоэлектроники, связи, и, как следствие, успешности реализации национального проекта «Цифровая

экономика». Радикальным решением проблемы является реализация полного импортозамещения в данной области.

Таким образом, создание отечественной цифровой платформы для разработки сложных электродинамических систем продолжает оставаться весьма актуальной задачей.

1 Построение параметрических электродинамических моделей

Одной из ключевых задач при создании перспективной цифровой платформы моделирования сложных электродинамических структур является задача эффективного построения электродинамических моделей различных анализируемых объектов.

Основными структурными элементами электродинамической модели объекта, как правило, являются:

- геометрическая модель;
- материалы, описывающие электрофизические свойства объекта (его составных частей);
- порты, источники и нагрузки;
- вычислительные сетки со своими параметрами.

Процесс параметризации электродинамической модели может рассматриваться как определение системных (структурных) связей между перечисленными выше элементами ее структуры с использованием различных методов определения связующих параметров и их комбинаций:

- геометрическая параметризация;
- параметризация методом опосредующих абстрактных переменных (предикативный метод параметризации, предикативная параметризация);
- параметризация моделей базовых элементов.

С учетом сказанного может быть определена некоторая обобщенная структура параметрической электродинамической модели в виде схемы отражающей взаимосвязь ее элементов, с точки зрения применения того или иного метода параметризации (рисунок 1.1).

Параметрическая геометрическая модель хранит в себе информацию о взаимосвязях и ограничениях, наложенных на

геометрические объекты, то есть при изменении одного параметра, изменится и другой.

Построение параметрических геометрических моделей связано с применением, так называемого ассоциативного моделирования, основанного на использовании программной связи между вспомогательным каркасом и результирующей поверхностью, что позволит повысить эффективность построения геометрических моделей объектов за счет автоматического изменения геометрии поверхностей при изменении их каркасных элементов. В системах 3D-моделирования математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точках, как в каркасном моделировании, но и данные о поверхностях.

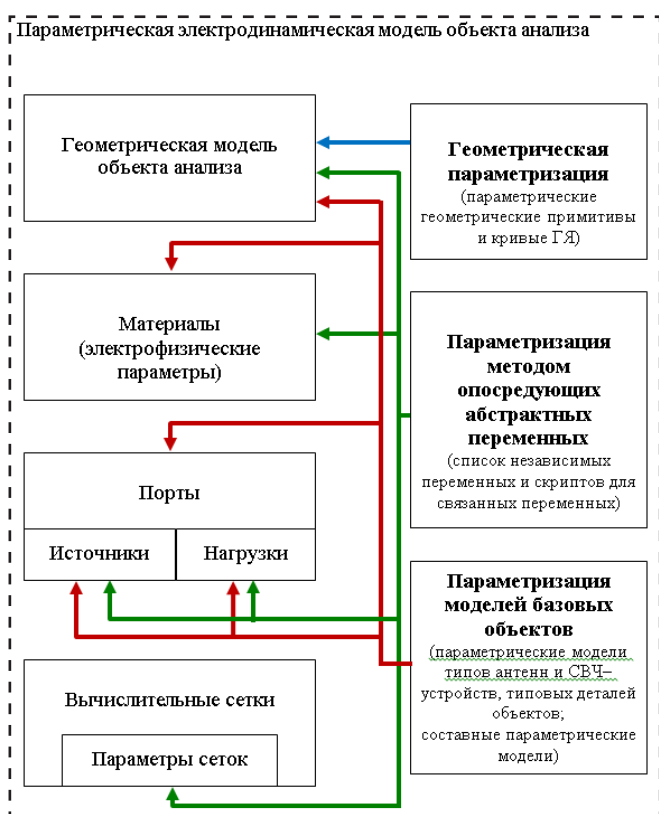


Рисунок 1.1 – Обобщенная параметрическая электродинамическая модель анализируемого объекта

Построение параметрических геометрических моделей связано с применением, так называемого ассоциативного моделирования, основанного на использовании программной связи между вспомогательным

каркасом и результирующей поверхностью, что позволяет повысить эффективность построения геометрических моделей объектов за счет автоматического изменения геометрии поверхностей при изменении их каркасных элементов. В системах поверхностного моделирования математическое описание визуальной модели включает в себя не только сведения о характеристических линиях и их конечных точках, как в каркасном моделировании, но и данные о поверхностях. Математическое описание может включать сведения о связности поверхностей, то есть о том, как поверхности соединяются друг с другом и по каким кривым.

Процесс реализации данного вида параметризации неразрывно связан с возможностями профессионального геометрического ядра. Исходя из сформулированной концепции создания отечественной цифровой платформы перспективным, по мнению авторов, является применение отечественных профессиональных геометрических ядер в качестве базового инструмента реализации функций параметрического моделирования. В настоящее время на российском рынке программных продуктов такого класса лидирующее место принадлежит отечественному профессиональному геометрическому инструментарию C3D Toolkit (АСКОН) [1].

C3D объединяет следующие модули [2], представленные на рисунке 3.1:

- геометрическое ядро C3D Modeler осуществляет построение геометрической модели и обеспечивает некоторые геометрические вычисления;

- модуль C3D B-Shaper. Функционально данный модуль осуществляет преобразование полигональных моделей в геометрические с граничным представлением (B-Rep);

- параметрическое ядро C3D Solver. Данный модуль осуществляет наложение на элементы геометрической модели связей, выраженных в виде уравнений и неравенств;

- модуль визуализации C3D Vision. Данный модуль осуществляет визуализацию геометрической модели и обеспечива-

ет взаимодействие с интерфейсом инженерного ПО;

– модуль обмена C3D Converter. Дан-

ный модуль поддерживает обмен данными с другими системами.

Основными классами параметризируе-

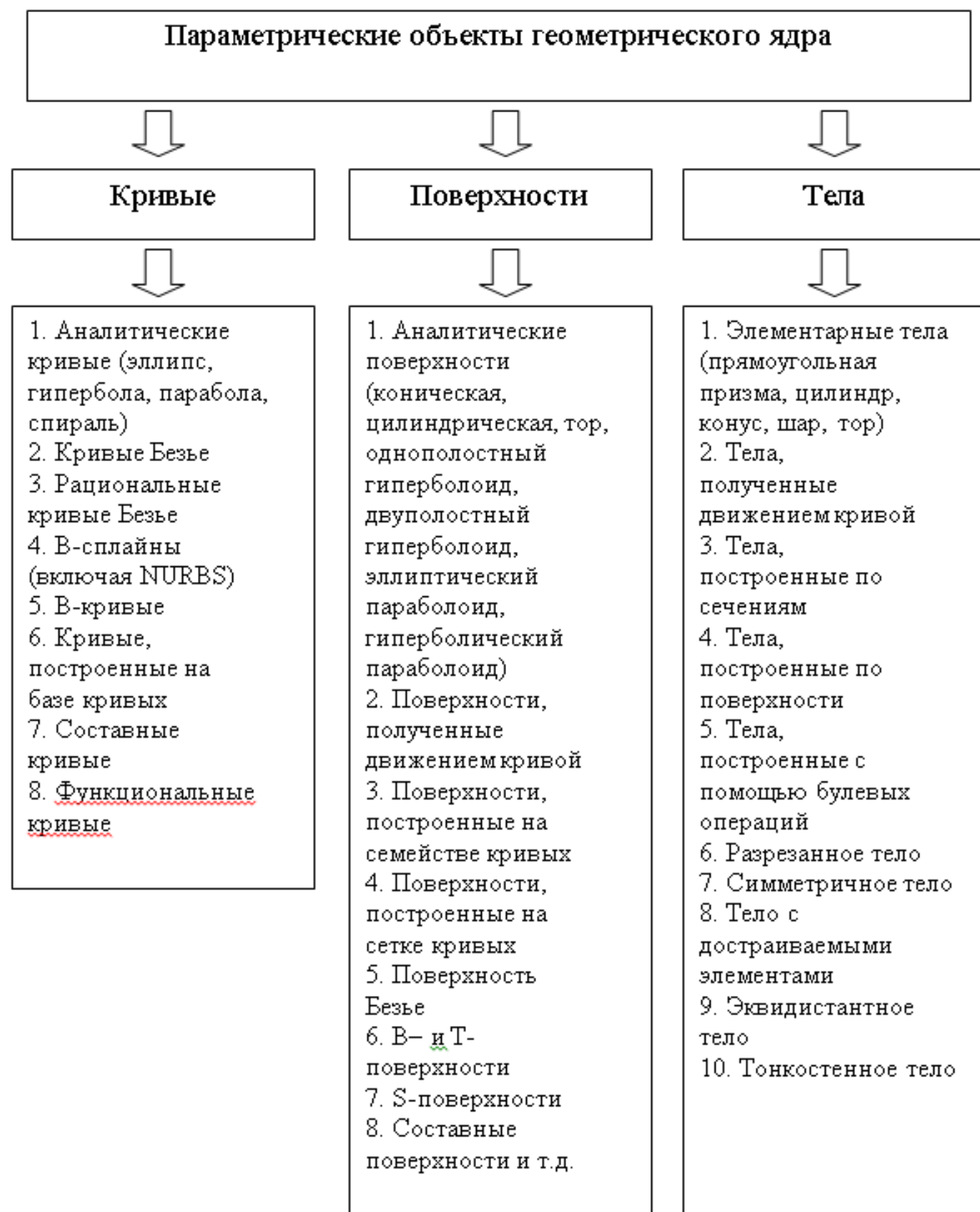


Рисунок 1.2 – Геометрическая параметризация электродинамических моделей с использованием профессионального геометрического ядра

мых геометрических объектов, входящими в состав геометрического ядра C3D являются (рисунок 1.2):

- кривые (аналитические, кривые Безье, B-сплайны и т.д.);
- поверхности (аналитические, полученные движением кривой, построенные на семействе кривых, S-поверхности и т.д.);
- объемные тела (элементарные, полученные движением кривой, построенные по сечениям, полученные с помощью булевых операций и т.д.).

Предикативная параметризация используется во всех процессах – для формирования геометрической модели, для параметрического задания электрофизических параметров, источников и нагрузок, в процессах формирования вычислительных сеток. Следует отметить, что этот вид параметризации в данном контексте рассматривается именно как некий принцип – принцип использования опосредующих абстрактных переменных, реализуемый как технология параметризации при формировании всех составных частей электродинамической модели.

Параметризация моделей базовых объектов обеспечивает создание базы данных по типовым техническим решениям антенно-фидерных устройств и их отдельных элементов. Сюда относятся: типовые антенны (Уда-Яги, логопериодические вибраторные, логопериодические спиральные, одно- и двузеркальные и т.д.), типовые узлы и элементы СВЧ трактов (переходы, соединители, волноводные секции, более сложные устройства – направленные ответвители, фильтры и т.д., типовые решения по невзаимным устройствам и т.д.), типовые конструкции элементов антенных опор (секции ферм, площадки, консоли и т.д.) и т.д.

Целью параметризации здесь является минимизация трудоемкости при практическом использовании, поскольку информация о классе, которому принадлежит моделируемый объект (т.е. о типе устройства), составляет значительную часть информации о нем вообще, и, соответственно, задание класса объектов существенным образом сокращает объем информации, который необходимо задавать при моде-

лировании. Например, для логопериодической вибраторной антенны в качестве основных, вполне определяющих геометрическую форму, параметров достаточно задать: длину самого длинного вибратора, угол раскрытия логопериодической структуры, показатель геометрической прогрессии логопериодической структуры, число вибраторов. Подчеркнем, речь идет о построении геометрической формы.

Для формирования полноценной электродинамической модели требуется задание еще ряда параметров – радиусов проводников вибраторов и собирательной линии, зазор в собирательной линии, длина короткозамкнутого шлейфа, шунтирующего длинный вибратор, и другие. Кроме того, для введения антенны в систему (в случае сложного и протяженного объекта) требуется задание системных параметров – радиус-вектора «ведущей» точки антенны (центр длинного или короткого вибратора, либо иная, заранее оговоренная, точка) и ориентационных углов, задающих направление главного максимума диаграммы направленности (ДН) и наклон плоскости поляризации относительно плоскости падения волны.

Тем не менее, в отсутствие параметризации базового объекта даже формирование основных геометрических форм потребует задания вручную координат всех «характерных» точек элементов антенны (концов вибраторов, точек контакта с собирательной линией и т.д.), что существенным образом увеличивает трудоемкость моделирования.

Таким образом, для получения полностью параметризованной электродинамической модели, применение только лишь заложенной в геометрическом ядре параметризации, оказывается недостаточно. Требуется создание (разработка и реализация) некоторой дополнительной «надстройки» над геометрическим ядром, обеспечивающей его специализацию для класса решаемых цифровой платформой прикладных задач – в данном случае, задач электродинамического моделирования.

Достоинством параметризации является высокая степень автоматизации процес-

сов формирования и модификации модели.

С точки зрения «охвата» параметров модели абстрактными переменными возможны различные варианты. В самом полном варианте всем параметрам в соответствие ставятся абстрактные переменные. Но зачастую это не требуется. Во-первых, как правило, не все параметры нужно варьировать. Во-вторых, между параметрами могут быть установлены связи, так что варьирование одного параметра вызовет автоматическое изменение (нужным образом) других.

К основным недостаткам применения параметрических моделей следует отнести следующие:

- частая невозможность импортирования подобных параметрических моделей в другие системы;

- неспособность автоматического построения в них параметрических моделей ранее созданных непараметрических CAD-объектов.

Первый недостаток определяется тем, что общепринятые электронные форматы обмена графической информацией (DWG, DXF, STEP, IGES и т. п.) не предполагают сохранения данных ни о способах, ни о последовательности формирования графических примитивов модели. В этих файлах не содержится информация ни об отношениях и связях между этими примитивами, ни о связях параметров каждого примитива с параметрами модели (с установленными в ней размерными обозначениями). В связи с этим при импортировании параметрических описаний из одной системы в другую происходит их потеря, в результате чего импортированные модели оказываются непараметрическими.

Отмеченные достоинства и недостатки свойственны всем рассмотренным методам параметризации [3, 4]. Тем не менее, применительно к рассматриваемой цифровой платформе наилучшим образом подходит метод предикативной параметризации (метод опосредующих абстрактных переменных).

2 Применение встраиваемых скриптовых языков для разработ-

ки параметрических моделей объектов

Как было отмечено выше, для разработки и использования составных параметрических моделей базовых объектов целесообразно использовать подход на основе применения макросов (скриптов, сценариев).

Под макросом понимается программный алгоритм действий, записанный пользователем. Часто макросы применяют для автоматизации рутинных действий.

Применительно к рассматриваемой проблематике клиентская часть цифровой платформы, отвечающая за построение параметрических электродинамических моделей, должна быть реализована так, чтобы все ее функции могли быть описаны макросами на интерпретируемом языке.

Таким образом, применение макросов позволяет создавать как разработчикам, так и конечным пользователям библиотеку составных моделей базовых объектов.

Требования к языку программирования для макросов могут быть сформулированы следующим образом [5]:

- язык программирования должен быть динамическим [6];

- язык программирования должен иметь популярность. Под популярностью языка понимается наличие у него достаточно большого сообщества, готового отвечать на вопросы на специализированных ресурсах;

- должна иметь место пологая кривая обучения языку программирования. Под этим требованием подразумевается, что практически любой пользователь должен быстро изучить его до уровня, который позволит ему продуктивно работать над решаемыми задачами;

- язык программирования должен обладать широкими возможностями и поддерживать разные парадигмы программирования;

- язык программирования должен иметь, по возможности, достаточное количество библиотек;

- язык программирования должен легко встраиваться в основное приложение (цифровую платформу).

Поскольку речь идёт о встраиваемых языках, при выборе языка программирования для макросов возможность его встраивания играет важную роль.

У авторов статьи имеется положительный опыт применения встраиваемого языка Lua в рамках выполнения работ по созданию программных продуктов электродинамического моделирования.

В пользу выбора именно языка Lua можно привести следующие аргументы. Lua является динамическим языком. Он довольно-таки популярен, вокруг него сложилось большое сообщество. Он отличается весьма пологой кривой обучения. Lua – мультипарадигменный язык. Он поддерживает функциональный стиль программирования и объектно-ориентированное программирование. В результате он подходит для решения как простых, так и сложных задач в программировании.

Язык Lua обладает хорошей производительностью и у него довольно много библиотек. Lua очень просто встраивается, более того он создан для того, чтобы его использовали как встраиваемый язык.

Исходя из накопленного практического опыта по созданию специализированного геометрического ядра, авторы считают Lua наиболее подходящим для встраивания в САЕ-системы скриптовым языком.

При разработке прикладного программного обеспечения на языке C++ скрипт на языке Lua представляет собой строку типа `std::string`, например, `«std::string cmd = «createNewProject(» + dlg->getProjectName() + «')»»`.

Данный скрипт состоит из одной команды `«createNewProject»`, которой в качестве параметра передается название проекта, хотя в общем случае количество команд в скрипте может быть произвольным, например:

```
int res = luaL_doststring(L, «itemsCount =
function()\
    local cnt = 0;\
    for k,v in pairs(items()) do cnt=cnt+1;
end;\
    debug(cnt);\
end;»)
```

Функция `createNewProject` может являться C++ функцией специализированного геометрического ядра, которое представляет собой отдельную библиотеку из состава цифровой платформы.

В основное приложение результаты выполнения lua-скрипта передаются с помощью реализации механизма обратного вызова (callback). Достоинством использования такого подхода является получение слабой связи между обособленными программными компонентами САЕ-системы, такими как, например, специализированное геометрическое ядро, модуль электродинамического анализа и т.п., и графическим пользовательским интерфейсом, который может быть реализован различными способами: Desktop-приложение, Web-приложение и т.д.

В общем виде структура САЕ-приложения, использующего встраиваемый язык Lua, показана на рисунке 2.1.

Возможность быстрого создания параметрических моделей одиночных антенн позволяет ускорить процесс их адаптации и оптимизации, а также в короткие сроки принять решение, если выбранный антенный элемент не соответствует новым техническим требованиям. Часто один из первых рассмотренных элементов становится выбором де-факто просто потому, что на выбор элемента было потрачено слишком много времени, а «стоимость» начала работы с новым элементом слишком высока.

Ниже в качестве примера приведен фрагмент исходного текста lua-сценария создания модели биконической одиночной антенны:

```
setVar('b',10.000000);
setVar('l',50.000000);
setVar('r',15.000000);
createSolidConeByParams({0.0,0.0,b/2},
r,l);
createItemCopy({0,0,0}, {1,});
local item1 = items()[2];
setItemRotateTo(item1, {1.000000,0.000000,
0.000000},180);
addMaterial(360,'Идеальный провод-
ник', 'PEC',1.000000,1.000000,0.000000
,0.000000,{204,204,204}, 'Perfect electric
```

```
conductor');
    local item1 = items()[1]; local material
= materials()[360]; setItemMaterial(item1,
material);
    local item1 = items()[2]; local material
= materials()[360]; setItemMaterial(item1,
material);
    local item1 = items()
[1]; deleteSelectedFace(item1,
{{1,2273132758,3}},); delete(item1);
    local item1 = items()
[2]; deleteSelectedFace(item1,
{{2,2273132758,3}},); delete(item1);
    createDiscretPort(0, 75.0, 0.0, {{4,15755
54539,2},{3,1575554539,2}},);
```

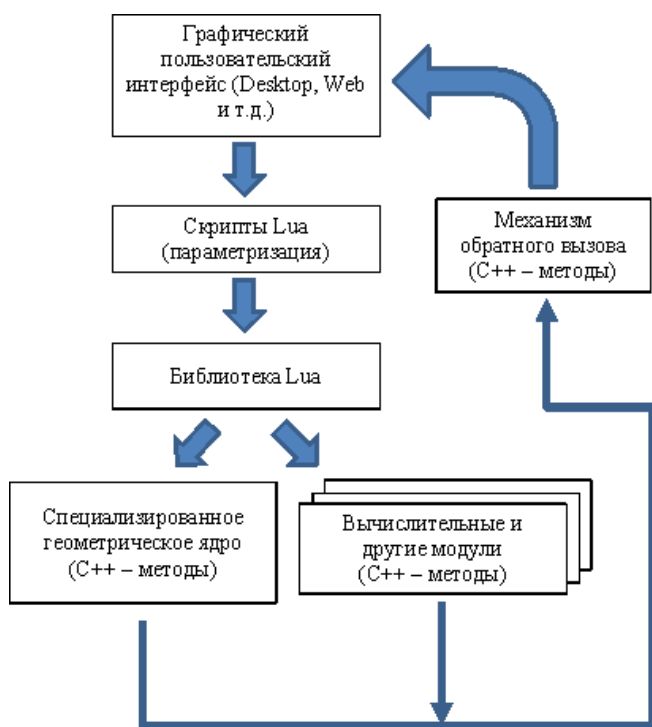


Рисунок 2.1 – Структура САЕ-приложения, использующего встраиваемый язык Lua

На рисунке 2.2 приведен результат выполнения данного lua-сценария в виде 3D-модели (с использованием ядра C3D-Modeler).

Рассматриваемый подход встраивания скриптовых языков позволяет, таким образом, создавать динамически масштабируе-

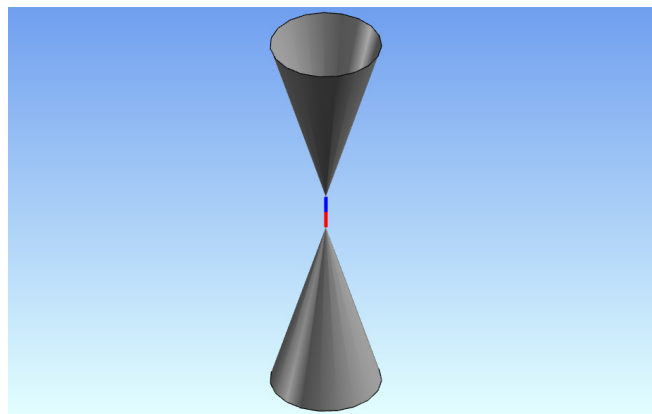


Рисунок 2.2 – 3D-модель одиночной биконической антенны вертикальной поляризации

мый набор базовых объектов, о чем, собственно, говорилось выше.

Заключение

Описанные в настоящей статье подходы построения цифровой платформы в области электромагнитного моделирования являются в достаточной степени универсальными и могут быть использованы в качестве теоретической основы для отечественных разработчиков прикладных САПР в различных областях инженерного моделирования.

Библиография

- [1] <https://c3dlabs.ru/>
- [2] Аскон. C3DToolkit [электронный ресурс] – URL: <https://ascon.ru/products/1259/review/> (дата обращения 04.05.2021)
- [3] Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. – 604 с.
- [4] Голованов Н.Н. Геометрическое моделирование. – М.: Издательство Физико-математической литературы, 2002, – 472 с.
- [5] <https://habr.com/ru/companies/socialquantum/articles/428253/>
- [6] https://ru.wikipedia.org/wiki/Динамический_язык_программирования

УДК 621.382.2.3

Проектирование и моделирование интегральных синтезаторов частот СВЧ диапазона в САПР Cadence Virtuoso

Блинков Николай Дмитриевич

Омский государственный технический университет, аспирант, Омск, Россия
kolya1999_b@mail.ru

Аннотация

В статье описаны возможности проектирования интегральных синтезаторов частот, в программном обеспечении Cadence Virtuoso. Выполнен обзор возможных реализаций схем синтезаторов частот СВЧ диапазона в поддерживаемом технологическом процессе SiGe. Произведено проектирование и моделирование схемы синтезатора частоты. Достигнуты следующие параметры СЧ: выходная частота – 10 ГГц; опорная частота – 100 МГц; 3. джиттер – 144,2 фемтосекунд; ток потребления – 63,3 мА; напряжении питания – 1,2 В; подавление паразитных составляющих – более 40 дБ в диапазоне 1 ГГц.

Ключевые слова: синтезатор частоты (СЧ); фазовая автоподстройка частоты (ФАПЧ); SiGe технология.

Design and Simulation of Integrated Microwave Frequency Synthesizers in Cadence Virtuoso CAD System

Blinkov Nikolay Dmitrievich

Omsk State Technical University, Postgraduate, Omsk, Russia

Abstract

The article describes the capabilities of designing integrated frequency synthesizers in the Cadence Virtuoso software. A review of possible implementations of microwave frequency synthesizer circuits in the supported SiGe process technology is provided. The design and simulation of the frequency synthesizer circuit is performed. The following MF parameters are achieved: output frequency – 10 GHz; reference frequency – 100 MHz; 3. jitter – 144.2 femtoseconds; consumption current – 63.3 mA; supply voltage – 1.2 V; suppression of parasitic components – more than 40 dB in the 1 GHz range.

Keywords: frequency synthesizer; phase-locked loop (PLL); SiGe technology.

Введение

Интегральные микросхемы нашли широкое применение в любых современных приборах и устройствах, бытового и специального назначения. Разработано и разрабатывается большое количество микропроцессоров и быстродействующих цифровых схем, нуждающихся в стабильных сигналах

тактовой частоты СВЧ диапазона. Кварцевые генераторы, обладающие хорошей стабильностью, генерируют тактовые сигналы с частотами от десятка до двухсот мегагерц. Для получения сигналов более высокой частоты применяются синтезаторы частот, являющейся неотъемлемой частью современной микроэлектроники и радиосвязи

СВЧ диапазона. Синтезаторы частот (СЧ), как и любые интегральные микросхемы, представляет собой целую систему, состав которой может достигать нескольких тысяч пассивных и активных электронных компонентов на одной подложке, вследствие чего их проектирование не представляется возможным без применения специализированного соответствующего САПР.

1 Техпроцессы и САПР для проектирования интегральных синтезаторов частот

Особенности реализации напрямую зависят от используемого при проектировании технологического процесса и соответственно САПР, предназначенного для него. Передовыми системами для проектирования микросхем являются, такие САПР как ADS фирмы Keysight, Microwawe Office (фирмы AWR) и Cadence Virtuoso. Данные системы САПР позволяют производить полный цикл проектирования интегральных микросхем, от разработки электрических схем до моделирования топологии системы, передачу топологии на фабрику производителя.

Реализация функционально насыщенных систем на кристалле, в том числе синте-

заторов частот принципиально невозможна в традиционных для СВЧ технологических процессах основанных на группе А3В5 (арсенид галлия, нитрид галлия, фосфид индия), в связи с существенными ограничениями по возможностям интеграции, частотам и свойствам элементов.

Традиционно, сложные системы на кристалле проектируются на основе хорошо отлаженных Si и SiGe технологий. САПР Cadence Virtuoso широко известная среда для проектирования СВЧ интегральных микросхем, поддерживающая SiGe технологию. При проектирование сложных систем на кристалле, содержащих сотни и тысячи активных и пассивных элементов, основным методом проверки характеристик интегральной микросхемы в САПР Cadence Virtuoso – это 2.5D моделирование. Которое заключается в моделировании эквивалентной схемы, полученной путем экстрагирования из топологического описания программами Calibre и Assura, которые интегрируются в Cadence Virtuoso. Экстрагирование происходит по правилам, входящим в состав PDK (Process Design Kit) – комплект документации, правил проектирования и экстракции, библиотеки базовых

Таблица 1 – Усредненные значения параметров современных СЧ

Метод синтеза	Синтезаторы прямого аналогового метода синтеза	Синтезаторы косвенного аналогового метода синтеза	Синтезаторы прямого цифрового метода синтеза
Параметр			
Максимальная выходная частота	10-ки ГГц	10-ки ГГц	1,5 ГГц для ЦВС в виде ИМС
Диапазон синтезируемых частот	меньше октавы	больше октавы (0,01–10-ки ГГц)	0 ... 1,5 ГГц
Шаг перестройки частоты	0,5 Гц (в декадных синтезаторах)	0,01 МГц ... 1 МГц (0,01 Гц для Fractional-N)	< 0,001 Гц
Время переключения	10...100 нс	1...10 мкс	5...40 нс
Габариты	исполняются в виде ИМС	исполняются в виде ИМС	исполняются в виде ИМС
Потребляемая мощность	До 2 Вт (при разогреве до 20 Вт)	1–10 мВт	0,1–10 мВт
Уровень фазовых шумов, дБн/Гц (приведенный к fВЫХ =1 ГГц, на F =10 кГц)	–110 ... –135	–90 ... –120	–130 ... –140

компонентов предоставляемый заводом-изготовителем интегральных микросхем.

2 Классификация основных типов синтезаторов частоты, реализуемых в технологическом процессе SiGe

В ходе анализа научно технической литературы, СЧ можно разделить на три класса: прямого аналогового синтеза, прямого цифрового синтеза, косвенного аналогового метода синтеза: синтезаторы частоты с фазовой автоподстройкой частоты (ФАПЧ) и синтезаторы частоты на основе контура слежения за задержкой [1]. Каждый из типов СЧ исполняется в виде интегральной микросхемы (ИМ) и имеет свои преимущества и недостатки относительно электрических характеристик, занимаемой площади. Краткое сравнение различных архитектур синтезаторов представлено в таблице 1.

Таблица 2 – Достоинства и недостатки современных СЧ

Тип СЧ	Достоинства	Недостатки
Прямой аналоговый синтезатор	Быстрое переключение, низкий уровень шума и побочных составляющих	Большие размеры и потребление
Прямой цифровой синтезатор	Быстрое переключение, высокое разрешение	Большие размеры, много побочных эффектов
Целочисленный СЧ с ФАПЧ	Низкий уровень шума и потребления	Медленное переключение
СЧ с дробными делителями частоты (ФАПЧ)	Относительно быстрое переключение	Много побочных эффектов
СЧ на управляемой линии задержки	Быстрое переключение, высокое разрешение	Очень низкий уровень шума, большое потребление

Достоинства и недостатки современных СЧ приведены в таблице 2.

Многие СЧ включают комбинацию этих основных методов, чтобы воспользоваться преимуществами повышенной скорости или улучшенного разрешения, в случае, если один из методов по определенным параметрам превосходит другой. Наиболее широко используемая архитектура синтезатора частоты СВЧ диапазона основана на петле ФАПЧ. Ее можно легко интегрировать в современные технологии, потребляет незначительную мощность, подходит для большинства беспроводных и проводных радиочастотных применений [2].

3 Проектирование ФАПЧ СВЧ диапазона в САПР Cadence Virtuoso

Проектирование синтезатора частоты на основе ФАПЧ было произведено в САПР Virtuoso на основе SiGe технологии 65 нм.

Структурная схема петли фазовой автоподстройки частоты изображена на рисунке 1.

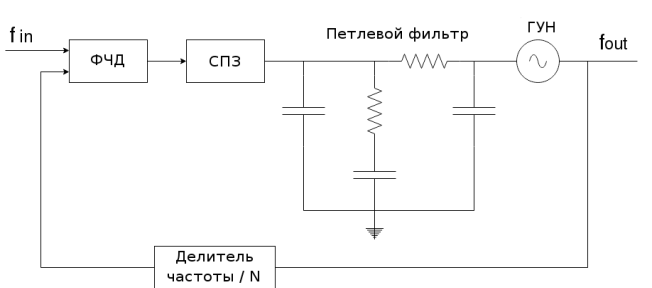


Рисунок 1 – Структурная схема ФАПЧ

Одним из вариантов реализации генератора управляемого напряжением (ГУН) в СВЧ диапазоне, является ГУН на LC контуре. Генераторы на LC элементах дают возможность получить большую частоту генерации при сравнительно маленьком уровне фазового шума. Разработанная схема ГУН приведена на рисунке 2. Колебательный контур разработанного генератора состоит из двух варикапов, построенных на основе r-канальных транзисторов VT3 и VT4, двух конденсаторов C1 и C2, интегральной катушки индуктивности L2. Для снижения фазовых шумов и увеличения перестройки по частоте, в классическую схему генератора управляемого напряжением добавлены две катушки индуктивности L1 и L3 [3].

Активные петлевые фильтры имеют высокое потребление, шумы и сложность построения. При отсутствии специальных требований по перестройке целесообразно применить пассивный фильтр (рисунок 3).

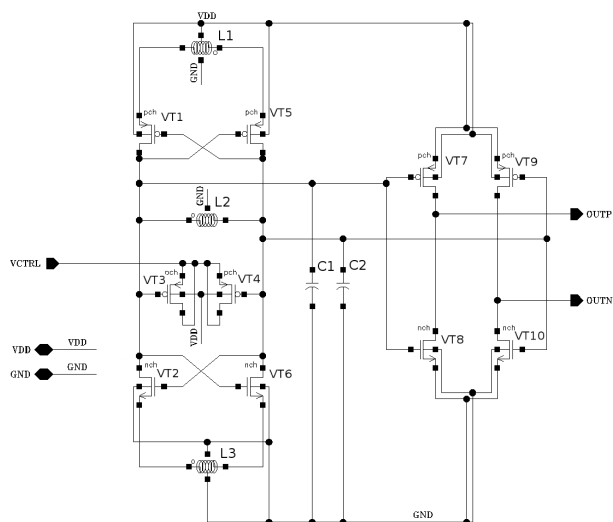


Рисунок 2 – Принципиальная схема генератора, управляемого напряжением

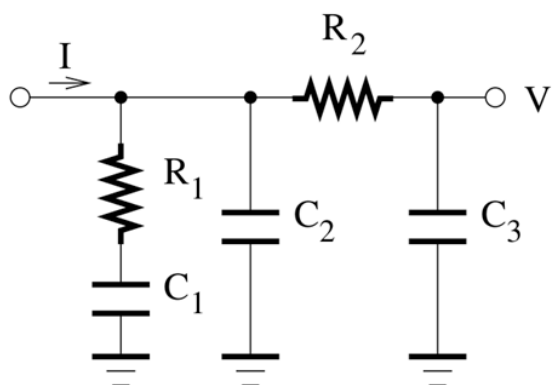


Рисунок 3. – Петлевой фильтр третьего порядка

Разработанная схема накачки заряда (CH3) представляет собой два согласованных источника тока, коммутируемых при помощи аналоговых ключей DA1 ...DA4 (рисунок 4).

При разработке схемы накачки заряда важно, чтобы транзисторы источников тока не уходили ни в режим отсечки, ни в насыщение, обеспечивая непрерывность их работы. СПЗ должна работать с импульсными сигналами, так как ФЧД является импульсным. Разработанная схема комплементарных аналоговых ключей DA1 ...DA4 показана на рисунке 5.

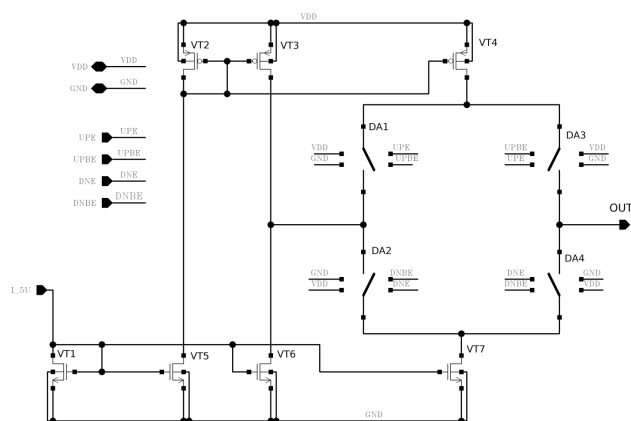


Рисунок 4 – Схема накачки заряда

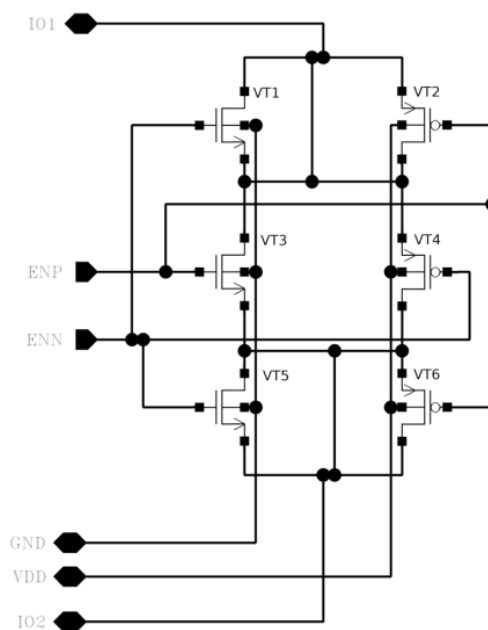


Рисунок 5 – Схема аналоговых ключей

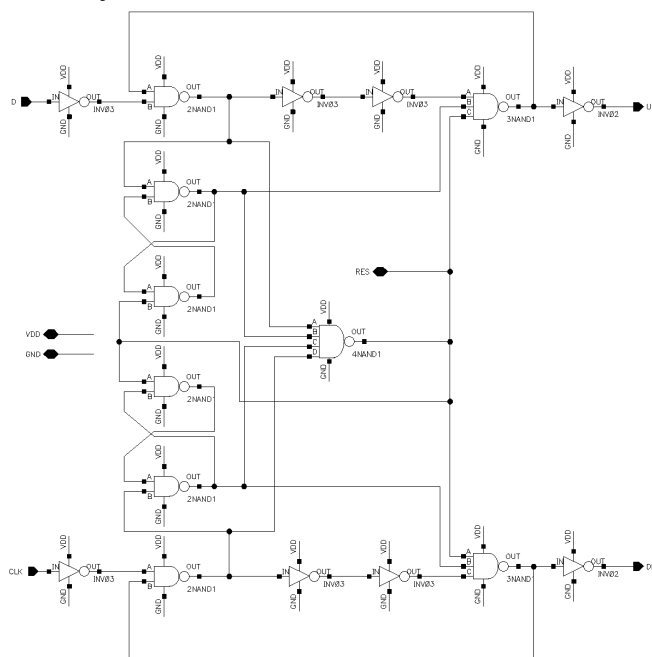


Рисунок 6 – Схема фазового детектора

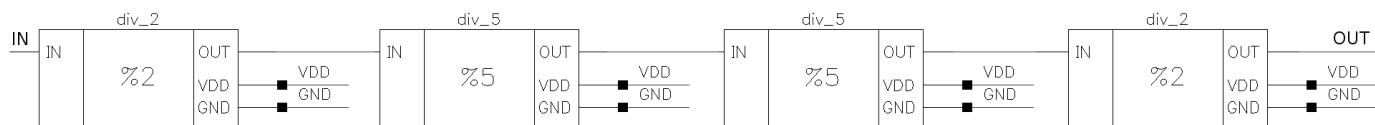
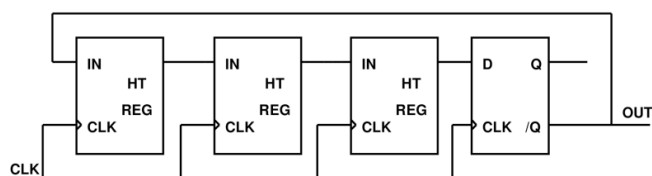
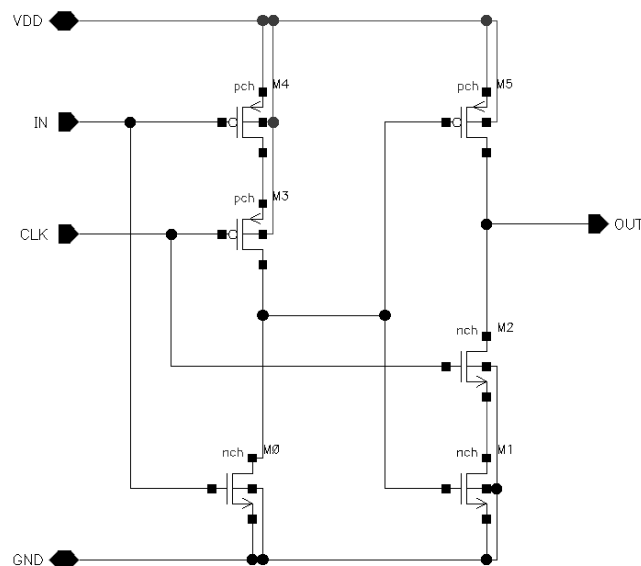


Рисунок 7 – Структурная схема разработанного делителя частоты на 100



А



Б

Рисунок 8. Структурная схема делителя частоты на 5 (А) и схема реализации половинчатого регистра (Б)

Для разработки сложно функционального блока формирования высокочастотного тактового сигнала необходимо контролировать не только фазу сигнала, но и частоту. Такими свойствами обладает фазочастотный детектор (ФЧД), он чувствителен к ошибкам частоты, в отличие от простого фазового детектора. Выбрана схема построения фазочастотного детектора на RS триггерах, которая может сохранять определенность при значительно отличающихся частотах и фазах (рисунок 6) [4].

Традиционный подход деления частоты, с использованием динамического D триггера, позволяет реализовать делитель частоты на 2. Для обеспечения большого коэффициента деления был использован составной делитель частоты на основе динамических D триггеров и полупроводящих регистров. Данный метод позволяет создание делителя частоты, как с четным, так и с нечетным коэффициентом деления, работающего в СВЧ диапазоне. Разработанная схема делителя частоты на 100 приведена на рисунке 7.

Чтобы разделить входную частоту на

5, используется половинчатый регистр и D триггер. На рисунке 8 приведены структурная схема делителя частоты на 5 (А) [5] и схема половинчатого регистра (Б).

4 Результаты моделирования

Разработанный синтезатор частоты на основе ФАПЧ был промоделирован в САПР Cadence Virtuoso.

Импульсное потребление тока присущее цифровым схемам показано на рисунке 9. Потребляемый ток синтезатором со-

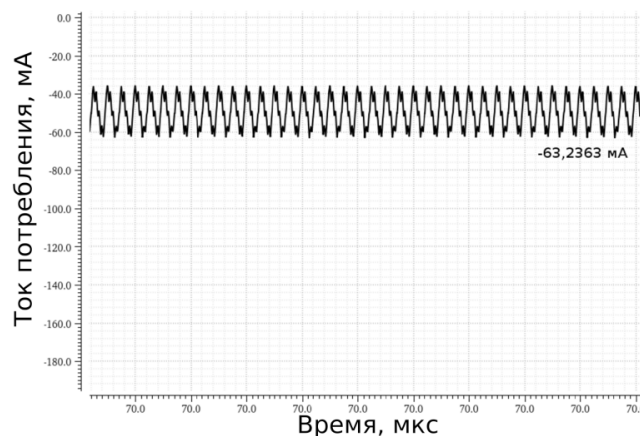


Рисунок 9 – Потребляемый ток системой ФАПЧ

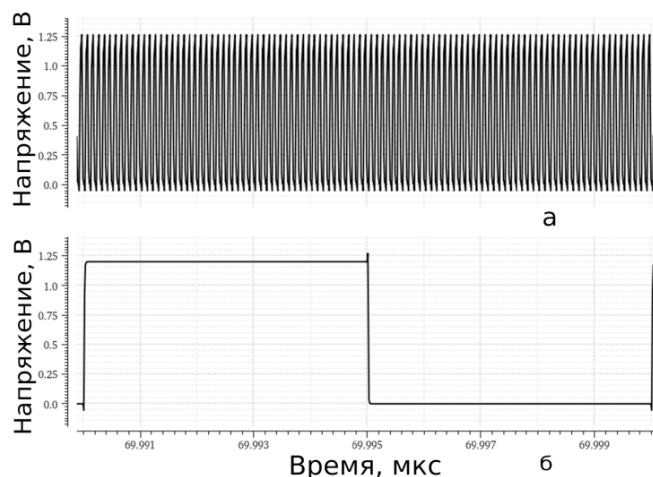


Рисунок 10 – Потребляемый ток системой ФАПЧ

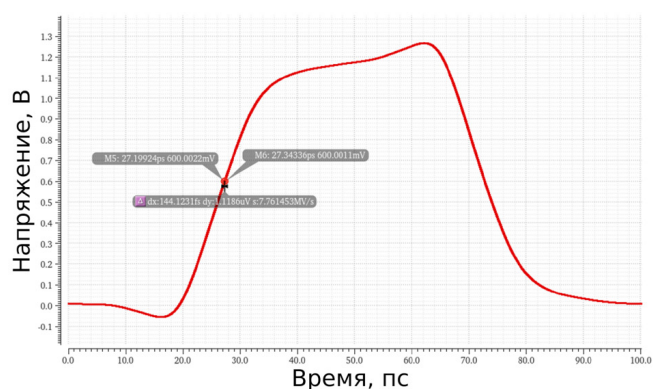


Рисунок 11 – Глазковая диаграмма

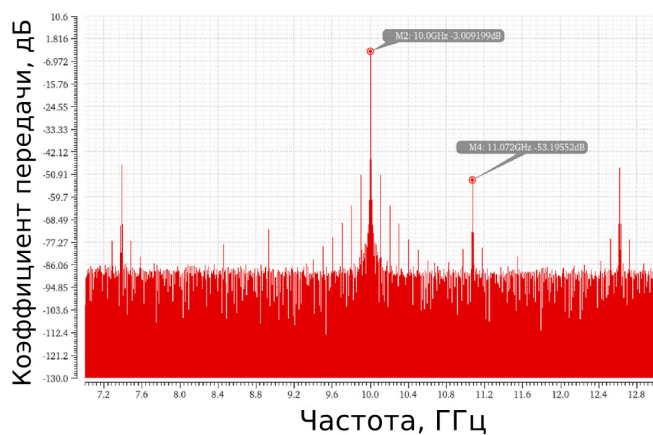


Рисунок 12 – Спектр выходного сигнала ФАПЧ

ставляет 63,3 мА при напряжении питания 1,2 В. Выходной сигнал с ФАПЧ (частота 10 ГГц) приведен на рисунке 10а, сигнал после делителя частоты (частота 100 МГц) приведен на рисунке 10б.

По построенной глазковой диаграмме (рисунок 11) определен джиттер системы ФАПЧ, составляющий 144,2 фемтосекунд.

Спектр выходного сигнала (рисунок 12) показывает, что подавление паразитных составляющих более 40 дБ в диапазоне 1 ГГц.

Выводы и заключение

Современное программное обеспечение – САПР Cadence Virtuoso поддерживает технологические процессы передовых полупроводниковых фабрик, применяющихся для проектирования и реализации сложных систем на кристалле. Использование САПР Cadence Virtuoso, при проектировании интегральных синтезаторов частот на основе SiGe технологии, позволяет реализовать различные схемные решения каждого из составляющих блоков СЧ, выполнить многопараметрическую оптимизацию схемы, и электрических характеристик, в частности, подавление паразитных составляющих, джиттера, диапазона синтезируемых частот. В ходе проектирования был получен СЧ со следующими параметрами: выходная частота – 10 ГГц; опорная частота – 100 МГц; 3. джиттер – 144,2 фемтосекунд; ток потребления – 63,3 мА; напряжении питания – 1,2 В; подавление паразитных составляющих – более 40 дБ в диапазоне 1 ГГц.

Библиография

[1] Тюрин В.А. Метод прямого цифрового синтеза в генераторах сигналов специальной формы SFG-2110 и АКП-3410/3: учебно– методическое пособие / В.А. Тюрин. – Казань: Казанский федеральный университет, 2015. – 74 с.

[2] Якименко, К.А. Гибридные синтезаторы частот с низким уровнем фазовых шумов: Специальность 05.12.04 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения» : дис. ... канд. тех. наук / К. А. Якименко; – Владимирский. гос.ун-т. – Муром, 2018. – 158с.

[3] Эннс, В.И., Кобзев, Ю.М. Проектирование аналоговых КМОП-микросхем. Краткий справочник разработчика / Под редакцией канд. техн. наук В.И. Эннса. – М.: Горячая линия – Телеком. – 2005. – 454с.

[4] Рабаи, Жан М. Цифровые интегральные схемы: методология проектирования./Жан М. Рабаи., А. Чандракасан., Б. Николич. -2-е изд., Пер. с англ. -М.: ООО"И.Д.Вильямс", 2007. – 912с.

[5] Yuan, J.-R. and Svensson, C. Fast CMOS Nonbinary Divider and Counter// Electronics Letters, June 1993 – 1222-1223p.

Что такое ЗИП, и нужен ли он нам?

Иванов Д.А.
АО «НПО «ПРЗ»
npo-prz@mail.ru

What is a spare part kit and do we need it?

Ivanov D.A.

В современном мире мы неоднократно сталкиваемся с многообразием товаров, которые можно приобрести и использовать для своих нужд. Какие-то из них изготавливают высокого качества, с большим ресурсом (об этом заявляют сами производители, опыт использования таких товаров и, как правило, высокая цена). Другие товары менее качественные и производительные, но они имеют право на жизнь, так как удовлетворяют своими характеристиками пользователя в конкретных случаях и, как правило, более доступны в приобретении. Так или иначе, теми или иными товарами все мы пользуемся, кто-то отдает свой выбор в пользу качественных товаров, кто-то в пользу доступных, а кто-то, может быть, и модных товаров. Но, несмотря на их разнообразие и характеристики, иногда вместе с ними в комплекте мы можем увидеть какие-то дополнительные товары. Кто-нибудь обращал внимание на наличие запасной пуговицы, пришитой с оборотной стороны к куртке, пиджаку, рубашке? Когда мы покупаем новый смартфон, вместе с ним, как правило, есть зарядное устройство, шнур для передачи информации. Покупая, легковой автомобиль, мы можем увидеть в багажном отсеке, запасное колесо, баллонный ключ, домкрат и т.д. В коробке вместе с новым пылесосом часто есть дополнительный фильтр или насадки. Все это вышеперечисленное и называется ЗИП.

Моя профессия связана, в том числе, с разработкой комплектов ЗИП изделий, изготавливаемых на нашем предприятии для нужд Министерства обороны Российской Федерации. Целью разработки ком-

плектов ЗИП (комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей) изделий военной техники, разрабатываемых, изготавливаемых и поставляемых по заказам государственных заказчиков государственного оборонного заказа, является постоянное поддержание при эксплуатации работоспособного и исправного состояния изделия военной техники проведением технического обслуживания, плановых и неплановых ремонтов его в соответствии с требованиями эксплуатационной и ремонтной документации. Для обеспечения надежности (ремонтпригодности) восстанавливаемых и обслуживаемых в условиях эксплуатации (на объектах применения, базах хранения или в ремонтных органах) технических изделий предусматриваются одиночные и (или) групповые комплекты запасных частей, инструмента и принадлежностей, или двухуровневые системы ЗИП, или запасы на складах, формируемые по средним нормам расхода запасных частей. Для эксплуатирующей организации разрабатывается документ (ведомость ЗИП), содержащий номенклатуру, назначение, количество и места укладки запасных частей, инструментов, принадлежностей и материалов, расходуемых за срок службы изделия. Ведомость ЗИП составляют на изделия, с которыми совместно поставляют прилагаемые к ним комплекты ЗИП, а также наборы ЗИП, поставляемые отдельно от изделия, для эксплуатации которых предназначается ЗИП (например, ЗИП одиночный, групповой, ремонтный и др.).

Прежде чем приступить к разработке средств для упаковывания и хранения, вы-

бору варианта внутренней упаковки, варианта защиты составных частей комплекта запасных частей, инструментов и принадлежностей, необходимо понять, какие составные части должны попасть в комплект ЗИП, а также определить их количество. В этом нам помогают «Методики оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП» РД В 319.01.19-98. В современном мире многие сложные вычислительные задачи мы привыкли решать с помощью персональных компьютеров, этот случай не исключение. Ранее мы использовали «Пакет прикладных программ по расчету оптимальных комплектов запасных элементов для ремонта сложных изделий» (ППП «РОКЗЭСИЗ», Версия 4.96). С недавнего времени по рекомендациям наших коллег из АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» мы производим расчеты с использованием «Системы для оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП» («АСОНИКА-К-ЗИП» НИУ ВШЭ, 2015, Вер. 4.0). Указанная выше компьютерная программа оказалась очень удобной в использовании, получилось ее освоить своими силами без привлечения разработчиков и посещения дополнительных курсов. «Система для оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП» «АСОНИКА-К-ЗИП» предназначена для расчетов показателей достаточности одноуровневых и двухуровневых систем ЗИП радиоэлектронной аппаратуры по данным о характеристиках надежности составных частей и стратегиях пополнения их запасов. Основные функции системы:

- расчет полной номенклатуры показателей достаточности одноуровневых и двухуровневых систем ЗИП;

- оптимизация запасов в системах ЗИП по критерию минимума суммарных затрат на составные части для обеспечения заданного уровня показателя достаточности (прямая задача оптимизации);

- оптимизация запасов в системах ЗИП по критерию максимума показателя достаточности при заданном ограничении на суммарные затраты на составные части (обратная задача оптимизации).

Исходными данными для оценки и расчета запасов в комплектах ЗИП с исполь-

зованием «АСОНИКА-К-ЗИП» в наших последних расчетах являлись:

- показатель достаточности: коэффициент готовности;

- в качестве параметра «затраты» (c_i) был принят объем запасной части в сантиметрах кубических.

Параметры запасов каждого типа были представлены в виде формуляра (таблицы), где:

- а) i – порядковый номер запаса в ЗИП;

- б) m_i – количество составных частей i -го типа в изделии, обслуживаемом комплектом ЗИП;

- в) l_i – интенсивность замены составных частей i -го типа

- г) c_i – затраты на одну запасную часть (объем запасной части в сантиметрах кубических);

- д) α_i , T_i , β_i – тип и параметры заданной (принятой) стратегии пополнения запаса i -го типа в ЗИП.

Основными преимуществами для нас, как для пользователей «АСОНИКА-К-ЗИП» при оценке уровня достаточности комплектов ЗИП, являются:

- возможность выбора в качестве параметра затрат стоимость, объем или массу составных частей комплекта ЗИП;

- возможность применения при корректировке состава комплектов ЗИП на стадии эксплуатации;

- возможность решения прямой задачи оптимизации – расчет запасов, обеспечивающий заданный уровень показателя достаточности комплекта ЗИП при минимальных суммарных затратах на запасные части;

- возможность решения обратной задачи оптимизации – расчет запасов, удовлетворяющих указанному ограничению по суммарным затратам на запасные части при минимальном достижимом уровне показателя достаточности комплекта ЗИП;

- возможность сопоставления результатов решения прямой и обратной задач оптимизации при одинаковых условиях.

В процессе работы в «АСОНИКА-К-ЗИП» в нашем конкретном случае возникло понимание, что наличие дополнительных функций в «Системе для оценки и расчета

запасов в комплектах ЗИП» обеспечит решение задач оптимизации еще более оперативно:

- наличие базы данных параметров (затраты на одну составную часть, интенсивность замены) покупных составных частей. Наличие такой информации значительно ускорит процесс решения задач оптимизации. Сведения о габаритных размерах составных частей в дальнейшем сформируют представления о видах упаковок для их хранения;

- возможность импортировать номенклатуру покупных изделий, входящих в со-

став разрабатываемой (модернизируемой) военной техники (в том числе методом загрузки сканированных документов), с целью охвата всех типов элементов.

Возвращаясь к началу статьи, а точнее к ее названию, я уверенно готов ответить на вопрос: «А нужен ли нам ЗИП?» – конечно нужен! Если кто-то не согласен с моим мнением или думает, что ЗИП – «это – так, второстепенно», предлагаю подумать над этим вопросом, когда Вы будете пришивать запасную пуговицу к своему пиджаку, заботливо приготовленную Вам на замену утерянной.

Проектное управление основными процессами автоматизированного сетевого синтеза патентоспособных технических решений

Ботуз Сергей Павлович

Доктор технических наук, профессор кафедры информатики и прикладной математики
ИГСУ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации.
Россия, 119606, Москва, проспект Вернадского, 84
bsp_serg@mail.ru

Аннотация

В работе рассмотрены основные подсистемы разработанного программного комплекса САПР ЭКБ интеллектуальных эргатических систем технического зрения проектного управления основными процессами синтеза патентоспособных технических решений. Приведены блок-схемы интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов и сетевых агентов объектов интеллектуальной и промышленной собственности.

Ключевые слова: программный комплекс, интеллектуальные, интерактивные, проектное управление.

Project management of the main processes of automated network synthesis of patentable technical solutions

Botuz Sergei Pavlovich

Ph. D., Professor, Department of Informatics and applied mathematics IPACS RANEPA

Abstract

The paper considers the main subsystems of the developed CAD software package of intelligent ergatic vision systems for project management of the main processes of synthesis of patentable technical solutions. Block diagrams of intellectual (interactive) support for network interactions between subjects and network agents of intellectual and industrial property objects are presented.

Keywords: software package, intelligent, interactive, project management.

Введение

Необходимость достижения технологического суверенитета России по основным отраслям сформулированы в Указах Президента и соответствующих Распоряжениях Правительства России [1,2]. В этой связи очевидна актуальность решения задач, связанных с автоматизированным синтезом патентоспособных технических решений (ПТР) в каждой предметной области (ПрО).

Основная проблема решения данного класса задач обусловлена не только необходимостью автоматизированного (интерактивного, эргатического) синтеза при-

знаков ПТР в виде некоторой уникальной совокупности существенных признаков таких объектов промышленной собственности (ОПС), как изобретения (ИЗ) или полезные модели (ПМ), но и в том: каким образом (например, на какой цифровой платформе) взаимодействуют субъекты (или ЛПР: изобретатель(и), работодатель(и), заявитель(и) и другие не только правообладатели ОПС, но и государственные эксперты ОПС, производители и разработчики ОПС, потребители и конкуренты (не только явные, но и «скрытые»)) такого рода ОПС. При этом это взаимодействие субъектов

(ЛПР или их сетевых агентов), как правило, осуществляется в сети на основе применения открытых распределенных информационных технологий (ИТ) [3] в экстремальных экономических условиях [4,5].

Постановка задач и методы решения

Одно из приоритетных современных направлений в области ОПС принадлежит автоматизированному решению задач проектирования и сопровождения процессов и методов управления распределенными

(сетевыми) процессами в области государственного и муниципального управления (ГМУ) беспилотными транспортными системами (БТС) [2].

Подобного рода задачи, как правило, принадлежит к классу, так называемых, экстремальных экономик предпринимательства [2,4,6,7] в области ГМУ БТС.

В этой связи в настоящей работе рассматриваются методы и модели основных подсистем разработанного программного комплекса (ПК) САПР интеллектуальных эргатических систем технического зрения

Таблица 1. Основные подсистемы ПК САПР интеллектуальных эргатических систем технического зрения (ИЭСТЗ) проектного управления (ПУ):
RU № 2022663316, РОСПАТЕНТ, 22.07.2022

Подсистемы ПК САПР ИЭСТЗ	Назначение и основные функции подсистемы ПК САПР ИЭСТЗ
Подсистема 1.1: «Уровень начальной подготовки ЛПР или их сетевых агентов» – «ПК САПР ИЭСТЗ НП».	Формирование начального уровня подготовки субъектов авторского и патентного права. Обзор и постановка задач основных подсистем ПК САПР ИЭСТЗ проектного управления процессами экспертизы (исследование, разработка, патентование и сетевое сопровождение таких объектов промышленной собственности (ОПС), как изобретения и полезные модели – ИЗ/ПМ) в области БТС
Подсистема 2.1: «Уровень «Авторского права» – «ПК САПР ИЭСТЗ АП»	Подготовка материалов объектов интеллектуальной собственности (ОИС) для публикации и сетевого сопровождения субъектов и ОИС, на примерах БТС
Подсистема 3.1: «Уровень «Патентного права» – «ПК САПР ИЭСТЗ ПП»	Подготовка материалов объектов промышленной собственности (ОПС) для патентования и сетевого сопровождения субъектов и ОПС, на примерах БТС
Подсистема 4.1: «Уровень «Эксперта объектов патентного права» – «ПК САПР ИЭСТЗ ЭПП»	Государственная экспертиза и сопровождение ОПС (изобретений и полезных моделей – ИЗ/ПМ) на примерах БТС
Подсистема 5.1: «Уровень «Спецназа государственного проектного управления» – «ПК САПР ИЭСТЗ СпПУ»	Государственное проектное управление и экспертиза (исследование, разработка, патентование и сетевое правовое сопровождение) – ИЗ/ПМ на основных этапах жизненного цикла ОПС, на примерах цифровых моделей (двойников) БТС
Подсистема интеллектуальных (интерактивных) модулей (ИМ)	Обеспечение интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов (состав и структура взаимодействия ИМ приведены в таблице 2 и на рисунках 1, 2, 3 и 4)
Подсистема прикладных загрузочных модулей (ЗМ)	Обеспечение интеллектуальной (интерактивной) поддержки прикладных взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов (состав и структура взаимодействия ЗМ приведены в таблице 3 и на рисунках 1, 2, 3 и 4)

(ИЭСТЗ) проектного управления, приведенных в таблице 1.

Цель работы – интерактивный синтез специализированных (персонифицированных, индивидуальных и т.п.) ЭКБ аппаратно-программных комплексов ИЭСТЗ на базе подготовки ЛПР и их сетевых агентов (не только студентов, но и преподавателей/специалистов) в области ГМУ БТС, на примерах подготовки и сопровождения государственных экспертов интеллектуальной собственности (ОИС/ОПС) в заданной предметной области (ПрО) проектного управления основными процессами синтеза патентоспособных технических решений.

Разработанные в настоящей работе методы и модели представляют развитие

принципа сложности [8,9] на основе теории и практики разработки, государственной экспертизы и патентования бортовых систем управления БПЛА [10,11]. А также на основе теоретических, методических и учебных разработок, опубликованных в работах [4,12,13,14]. При этом на рисунках 1 и 2 приведены блок-схемы процессов интерактивного освоения/изучения/преподавания основных подсистем ПК САПР ИЭСТЗ проектного управления для ЛПР считающих, что их уровень математической подготовки имеет высокий уровень или – невысокий.

На рис. 3 и 4 – для тех ЛПР, которые находятся, как минимум, в трех состояниях:

– ЛПР₁ бегло просмотрело содержание и функции основных подсистем ПК САПР

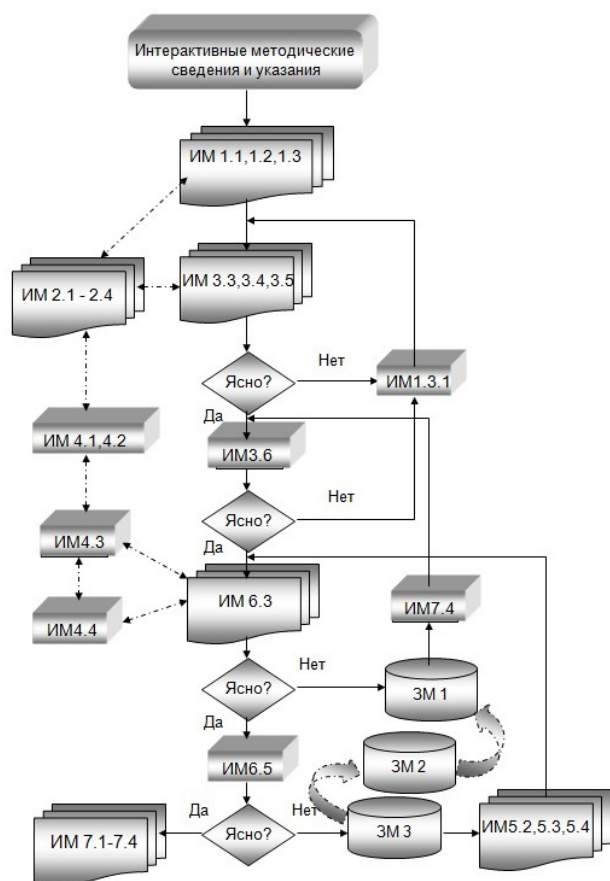


Рисунок 1 – Логическая схема интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов приведены, назначение и функции интеллектуальных/интерактивных и загрузочных модулей (ИМ/ЗМ) приведены в таблицах 2 и 3

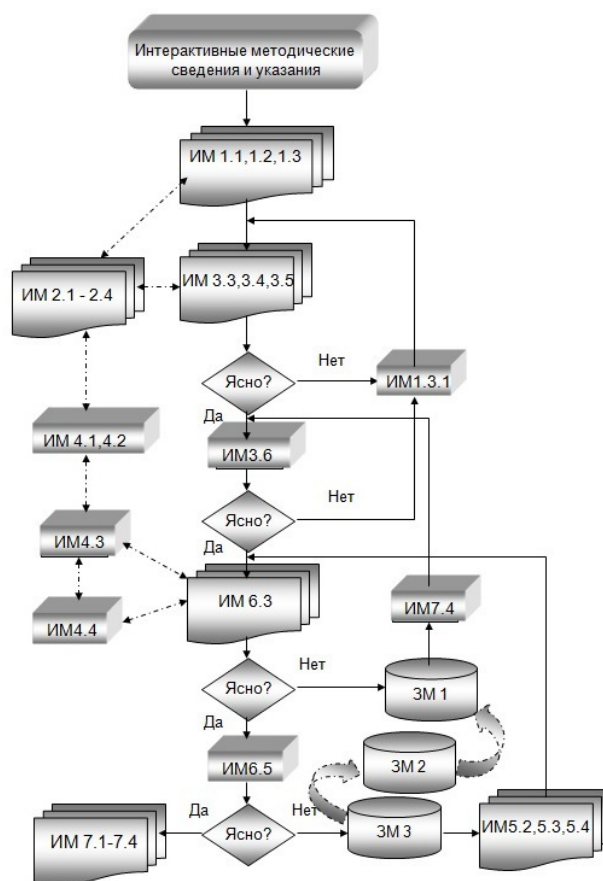


Рисунок 2 – Логическая схема интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов, назначение и функции интеллектуальных/интерактивных и загрузочных модулей (ИМ/ЗМ) приведены в таблицах 2 и 3

ИЭСТЗ проектного управления, представленных на рисунках 1 – 4 и таблицах 1 – 3, не вникая в детали и существо разработанных интеллектуальных (интерактивных) и загрузочных модулей (ИМ\ЗМ);

– ЛПР₂ осуществило изучение материалов согласно одной из вышеприведенных на рисунках 1 или 2 блок-схемах;

– ЛПР₃ заинтересовано в решении задач чисто прикладного характера, блок-схемы освоения которых приведены на рисунках 3 или 4, при этом у ЛПР вызвал «определенный» интерес поставить и решить прикладную задачу, например: синтезировать персонифицированного интеллектуального агента для заданной предметной области на основе, приведенной на рисунке 5 блок-схемы ПК интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения ЛПР или их агентов проектного управления

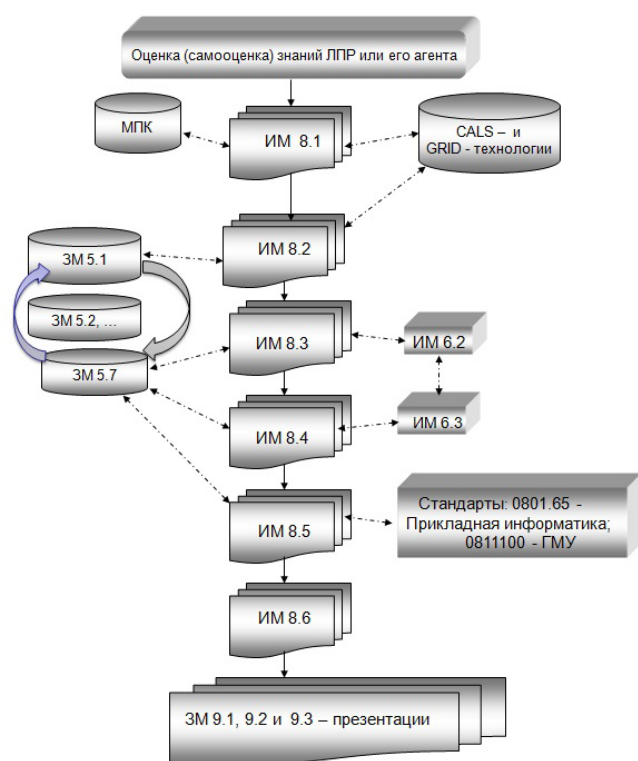


Рисунок 3 – Логическая схема интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов, назначение и функции интеллектуальных/интерактивных и загрузочных модулей (ИМ/ЗМ) приведены в таблицах 2 и 3

основными процессами сетевого синтеза патентоспособных технических решений.

Для ЛПР₃ – ЛПР заинтересовано в решении задач чисто прикладного характера целесообразно привести следующие методические пояснения. Интеллектуальный (интерактивный) модуль – ИМ 9.1 (см. рис.4) представляет методы и модели аппаратно-программного комплекса многоагентного синтеза патентоспособных человеко-машинных (эргатических) систем технического зрения (ЭСТЗ) управления удаленным доступом, на основе исследования эволюции цифровых (информационных, сетевых и т.п.) инновационных (патентоспособных) технологий интеллектуальных ЭСТЗ, используемых в системах ситуационного управления, соответствующих объектов

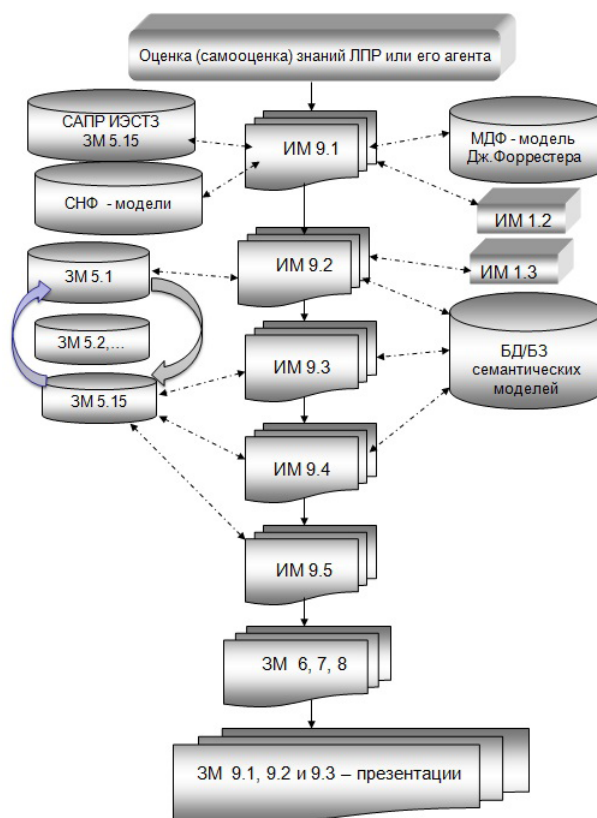


Рисунок 4 – Логическая схема интеллектуальной (интерактивной) поддержки сетевых взаимодействий субъектов ОИС/ОПС или их сетевых агентов, назначение и функции интеллектуальных/интерактивных и загрузочных модулей (ИМ/ЗМ) приведены в таблицах 2 и 3

промышленной собственности (ОПС – изобретений и полезных моделей). Как показали многолетние исследования автора данной работы, модель Дж.Форрестера (МДФ) в сочетании с использованием разработанного аппарата существенно-нелинейных (нечеткий и т.п.) функций (СНФ) оказалась наиболее устойчивым по отношению ко времени в основном за счет того, что в ней априори заложена необходимость использовать параметры и экспертные оценки специалистов из различных сфер деятельности.

В МДФ предлагается, пожалуй, впервые инструмент для системного анализа объектов прогнозирования ИТ в различных предметных областях (ПрО). Эта системность проявляется: – в установлении границ, в рамках которых будет рассматриваться прогнозируемый объект синтеза ИТ; – в необходимости пользователю МДФ осуществлять четкое обоснование задачи и целей экспертного прогнозирования, указания и учета внешних связей исследуемого объекта в заданной ПрО. ИМ 9.2 представляет методы и модели сопровождения и правовой защиты процессов взаимодействия сетевых субъектов и объектов ИС. При этом использованы разработанные в [7,9] интеллектуальные интерактивные системы (IS) сетевого сопровождения субъектов и объектов промышленной собственности, позволяющие на основе использования функционально связанных подсистем осуществлять синтез ситуационных стратегий (поведенческих моделей) таких субъектов ОПС как: – модели патентообладателя, – автора/соавторов, – работодателя, – производителя, – продавца и «покупателей». ИМ 9.3 представляет цифровую платформу проектирования и сопровождения основных процессов защиты субъектов и объектов сетевых нематериальных активов.

При этом основное внимание уделено методам и моделям интерактивных средств виртуальной реальности (interactive virtual reality – AV&AR: AV – augmented virtuality – дополненная виртуальность и AR – augmented reality – дополненная реальность) цифровой платформы, разработанного аппаратно-программного комплекса

многоагентного синтеза патентоспособных эргатических систем технического зрения (АПК МАС ЭСТЗ) проектирования и сопровождения процессов правовой защиты (в основном процессов государственной экспертизы – патентования) и сопровождения субъектов и объектов таких сетевых нематериальных активов (НМА), как изобретения (ИЗ) и полезные модели (ПМ).

В частности, показана необходимость в рассматривании распределенной среды экспертной оболочки эргатической системы технического зрения (ЭСТЗ) и соответствующий вектор состояния $V(.)$ системы ЛПР-ОПС-ЦВМ, в зависимости не только от того, что происходит в данный момент времени $V(t)$, но и от $V(t-\tau)$ и от $V(t+\tau)$, где τ – величина запаздывания или опережения. При этом наличие внешних (реальных) и внутренних (виртуальных) условий, – возможности изменения точки зрения ЛПР в процессе экспертизы ОПС, могут быть обусловлены сменой системных представлений о существенных признаках формулы ИЗ/ПМ исходного ОПС на основе учета возникновения некоторых идей у ЛПР из области дополненной реальности не только в данной предметной области ОПС, но и когнитивных моделей, возникающих у ЛПР в процессе выполнения поисковых задач, т.е. на основе результатов функционирования эргатической системы государственного управления (ЭСГУ) распределенной системой ЛПР-ОПС-ЦВМ. ИМ 9.4 и 9.5 представляют методы и модели для синтеза поведенческих моделей сложно-функциональных блоков эргатических систем многоагентного ситуационного управления основными процессами взаимодействиями сетевых субъектов и объектами ИС.

В частности рассмотрены методы и модели автоматизации основных процессов жизненного цикла (ЖЦ – CALS-технологии (Continuous Acquisition and Life-cycle Support)) проектирования (исследования/моделирования, разработки/синтеза и патентования/экспертизы) поведенческих моделей сложно-функциональных блоков человеко-машинных (эргатических) систем технического зрения (ЭСТЗ) систем многоагентного ситуационного управления сетевы-

ми субъектами и объектами интеллектуальной собственности на основе применения разработанного аппаратно-программного комплекса (АПК) многоагентного синте-

за интеллектуальных ЭСТЗ [11] – ЭСМСУ ОИС (эргатические системы многоагентного ситуационного управления сетевым взаимодействием субъектов и объектов ИС).

Таблица 2. Подсистемы ИМ ПК САПР ИЭСТЗ ПУ:
RU № 2022663316, РОСПАТЕНТ, 22.07.2022

Подсистемы ИМ ПК САПР ИЭСТЗ	Назначение / функции подсистемы ИППК САПР ИЭСТЗ
Подсистема ИМ 1	Адаптация ЛПР или их сетевых агентов к решению задач государственной экспертизы ОИС/ОПС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 1.1	Интерактивное (интеллектуальное) формирование основных содержательных понятий и определений (персонифицированных) для ЛПР или его сетевых агентов
Подсистема ИМ 1.2	Синтез и постановка персонифицированной задачи (задачи минимальной или ограниченной сложности) для ЛПР или его сетевых агентов
Подсистема ИМ 1.3	Интерактивные (интеллектуальные) методы и стратегии принятия решений. Методы визуализации области допустимых решений в персонифицированной метрике ЛПР
Подсистема ИМ 1.4	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций персонифицированной сложности для ЛПР или его сетевых агентов
Подсистема ИМ 2	Интерактивная (интеллектуальная) адаптация нейроподобных (нейроморфных) моделей и алгоритмов экспертизы ОИС/ОПС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 2.1	Интерактивный синтез нейроподобной (нейроморфной) модели ЛПР ограниченной (персонифицированной или минимальной) сложности в процессе экспертизы ОИС
Подсистема ИМ 2.2	Адаптация алгоритмических средств для персонифицированной цифровой (сетевой) среды взаимодействия субъектов и объектов ИС (ОИС/ОПС)
Подсистема ИМ 2.3	Оптимизация нейроподобных процессов экспертизы ОИС во временной области на персонифицированной цифровой платформе ПК САПР ИЭСТЗ ПУ ограниченной сложности в процессе экспертизы ОИС/ОПС
Подсистема ИМ 2.4	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций персонифицированной сложности для ЛПР или его сетевых агентов
Подсистема ИМ 3	Синтез персонифицированных технологий и инструментальных средств графоаналитического метода (способа) защиты, наукометрии, экспертизы и правового сопровождения ОИС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 3.1	Персонифицированные методы и стратегии введение ЛПР или его сетевых агентов в технологию графоаналитического метода (способа) защиты и правового сопровождения ОИС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 3.2	Технология и процедуры формирования прав доступа к ОИС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 3.3	Синтез персонифицированных стратегии графоаналитической защиты и правового сопровождения ОИС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 3.4	Конструктивные методы геометрии графоаналитических бинарных полей

Подсистема ИМ 3.5	Интеллектуальный синтез конструктивных элементов графоаналитических бинарных полей ограниченной сложности
Подсистема ИМ 3.5.1, 3.5.2 и 3.5.3	Интеллектуальный синтез метод визуализации объема притязаний (существенных признаков) персонифицированной (ситуационной) ограниченной сложности экстремальной экономики предпринимательства в области БТС
Подсистема ИМ 3.6	Интерактивные модули графоаналитической оценки устойчивости нелинейных динамических процессов экстремальной экономики предпринимательства в области БТС
Подсистема ИМ 4	Персональные интерактивные методы и средства управления поисковыми машинами (УПМ) в процессе экспертизы ОИС/ОПС
Подсистема ИМ 4.1	Интерактивная структура системы управления поисковыми машинами
Подсистема ИМ 4.2	Персонификация основных процессов УПМ в процессе экспертизы ОИС/ОПС
Подсистема ИМ 4.3	Интерактивная адаптация алгоритмов генерации оценок графоаналитического профиля в заданной предметной области в процессе экспертизы ОИС/ОПС
Подсистема ИМ 4.4	Адаптация процедур автоматической генерации параметров графоаналитического тематического фильтра ЛПР в заданной предметной области
Подсистема ИМ 4.5	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций минимальной сложности для ЛПР в заданной предметной области УПМ
Подсистема ИМ 5	Интеллектуальные методы обработки и визуализации многомерных данных (МД) ограниченной (персонифицированной) сложности
Подсистема ИМ 5.1	Основные интерактивные методы визуализации многомерных данных
Подсистема ИМ 5.2, 5.2.1, ... 5.2.4	Настройка персонифицированного интерфейса обработки МД. Визуальная интерпретация МД. Процесс самоорганизации МД. Адаптивный интерфейс. ИМ программ-сервера
Подсистема ИМ 5.3	Пользовательский интерфейс обработки МД ограниченной сложности для ЛПР в заданной предметной области УПМ
Подсистема ИМ 5.4	Интерактивные (интеллектуальные) алгоритмы обработки МД
Подсистема ИМ 6	Распределенные инструментальные средства интерактивных процессов сопровождения субъектов и объектов интеллектуальной собственности в сети Internet ограниченной (минимальной) сложности
Подсистема ИМ 6.1	Распределенные (сетевые) информационно-правовые средства защиты систем интерактивного управления и соответствующих ОИС/ОПС в сети Internet
Подсистема ИМ 6.2	Объектно-ориентированные технологии правового сопровождения распределенных систем интерактивного управления в сети Internet
Подсистема ИМ 6.3	Объектно-ориентированные процедуры квантификации интеллектуальных систем программного управления ОИС в глобальной вычислительной среде
Подсистема ИМ 6.4	Синтез нейроподобных (нейроморфных) структур для систем интерактивной генерации слоганов в сети Internet персонифицированной сложности

Подсистема ИМ 6.5	Автоматизированный синтез интерактивных алгоритмов обучения экспертов ОИС в глобальной вычислительной среде
Подсистема ИМ 6.6	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций минимальной сложности для ЛПР в заданной предметной области экспертизы ОИС
Подсистема ИМ 7	Методы и модели управления удаленным доступом к объектам интеллектуальной собственности в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 7.1	Обработка распределенной измерительной информации о состоянии систем интерактивного управления ОИС в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 7.2	Графоаналитическое кодирование/декодирование измерительной информации о состоянии ОИС
Подсистема ИМ 7.3	Методы графоаналитической аутентификации/идентификации ЛПР ограниченной сложности в заданной предметной области экспертизы ОИС
Подсистема ИМ 7.4	Защита и сопровождение основных процессов взаимодействия субъектов и объектов промышленной собственности в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 7.5	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций минимальной сложности для ЛПР в заданной предметной области экспертизы ОПС
Подсистема ИМ 8	Интеллектуальная интерактивная система и технологии мониторинга рынка информационных технологий и ноу-хау в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 8.1	Интеллектуальная интерактивная система государственного маркетинга рынка информационных технологий и ноу-хау в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 8.2	Интеллектуальные методы и модели интерактивного управления основными процессами проектирования и сопровождения бортовых систем космического приборостроения
Подсистема ИМ 8.3	Интеллектуальные информационные системы государственного управления инновационными проектами (знаниями) в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 8.4	Интерактивные системы удаленного синтеза энергосберегающих технологий в сети Internet/Intranet
Подсистема ИМ 9	Цифровая платформа интеллектуальной эргатической системы удаленного доступа: методы и модели
Подсистема ИМ 9.1	Аппаратно-программный комплекс многоагентного синтеза патентоспособных человеко-машинных (эргатических) систем технического зрения управления удаленным доступом
Подсистема ИМ 9.2	Методы и модели сопровождения и защиты процессов взаимодействия сетевых субъектов и объектов интеллектуальной собственности
Подсистема ИМ 9.3	Цифровая платформа проектирования и сопровождения основных процессов защиты субъектов и объектов сетевых нематериальных активов
Подсистема ИМ 9.4	Синтез поведенческих моделей сложно-функциональных блоков эргатических систем многоагентного ситуационного управления основными процессами взаимодействия сетевых субъектов и объектов интеллектуальной собственности
Подсистема ИМ 9.5	Интерактивные (интеллектуальные) процедуры генерации выводов и рекомендаций минимальной сложности для ЛПР в заданной предметной области наукометрического анализа и экспертизы состояния ОИС/ОПС

Таблица 3. Подсистемы ЗМ ПК САПР ИЭСТЗ ПУ:
RU № 2022663316, РОСПАТЕНТ, 22.07.2022.

Подсистемы ЗМ ПК САПР ИЭСТЗ	Назначение / функции подсистемы ЗМ ПК САПР ИЭСТЗ
Подсистема ЗМ 1	Модели идентификации ЛПР в сети Internet/Intranet
Подсистема ЗМ 2	Разработка способа многоканального измерения, обработки и регистрации физических сигналов в интерактивных эргатических системах программного управления и регулирования
Подсистема ЗМ 3	Объектно-ориентированные загрузочные модули программного комплекса BotLab
Подсистема ЗМ 4	Интеллектуальные информационные технологии / Учебно– методический комплекс синтеза персонифицированных средств сетевой защиты, и сопровождения ОИС/ОПС в области БТС ограниченной сложности
Подсистема ЗМ 5	Прикладные программы, программные комплексы и интеллектуальная интегрированная база данных, зарегистрированные в Федеральной службе интеллектуальной собственности Российской Федерации (РОСПАТЕНТ)
Подсистема ЗМ 5.1	Программа поискового проектирования и экспертизы технически оптимальных позиционных систем программного управления
Подсистема ЗМ 5.2	Программа поискового проектирования и экспертизы технически оптимальных систем энергосберегающего электропривода и активных преобразователей энергии
Подсистема ЗМ 5.3	Программа поискового проектирования и экспертизы технически оптимальных энергосберегающих систем и технологий
Подсистема ЗМ 5.4	Программный комплекс АРМ-эксперта позиционных систем программного управления и регулирования
Подсистема ЗМ 5.5	Программный комплекс интерактивного синтеза систем генерации персонифицированного графоаналитического кода (метрики, шифра, шрифта и т.п.) ограниченной сложности
Подсистема ЗМ 5.6	Программный комплекс интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения
Подсистема ЗМ 5.7	Программный комплекс поискового проектирования и экспертизы малых (мини-, микро– и т.п.) космических аппаратов (КА), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и интегрированных ситуационных центров управления группировкой КА и БПЛА
Подсистема ЗМ 5.8	Адаптивный программный комплекс исследования во временной области позиционных систем программного управления и регулирования
Подсистема ЗМ 5.9	Интеллектуальная интегрированная база данных программного комплекса поискового проектирования и экспертизы технически оптимальных позиционных систем программного управления и регулирования
Подсистема ЗМ 5.10	Программный комплекс виртуальной модели измерительно-испытательной камеры
Подсистема ЗМ 5.11	Программный комплекс интеллектуальной системы интерактивного синтеза семантических моделей поискового проектирования и экспертизы радиационно-стойких электронных средств беспилотных космических аппаратов

Подсистема ЗМ 5.12	Программный комплекс интеллектуальной интерактивной испытательной камеры бортовой радиоэлектронной аппаратуры
Подсистема ЗМ 5.13	Программный комплекс поискового проектирования и сопровождения виртуальных моделей управления системами «умный дом»
Подсистема ЗМ 5.14	Программный комплекс автоматизированного поискового синтеза и сопровождения цифровых технологий в стоматологии
Подсистема ЗМ 5.15	Программный комплекс САПР интеллектуальных эргатических систем технического зрения проектного управления Интерактивная структура системы управления поисковыми машинами
Подсистема ЗМ 6	Программа курса «Методы и модели экспертизы ОИС в сети Internet на базе инструментальных средств Matlab, Scilab и BotLab»
Подсистема ЗМ 7	Проектирование интеллектуальных эргатических СТЗ проектного управления
Подсистема ЗМ 8	Синергетика интеллектуальных эргатических систем технического зрения (СТЗ) проектного управления
Подсистема ЗМ 9	Презентации основных подсистем разработанного программного комплекса
Подсистема ЗМ 9.1	Центр интеллектуальных технологий экспертизы изобретений
Подсистема ЗМ 9.2	Сетевые (цифровые) стратегии государственного планирования основных процессов защиты и сопровождения субъектов и объектов интеллектуальной собственности
Подсистема ЗМ 9.3	Основные подсистемы программного комплекса САПР интеллектуальных эргатических СТЗ проектного управления

Заключение

Основные результаты работы могут быть сформулированы в следующем виде.

Утверждение 1. Если те или иные нормы права и подзаконные акты не формализованы (например, не имеют четких или однозначных определений для оценки патентоспособности технических решений) то они, по сути, есть те «инструменты» правовых инсинуаций и последующих правонарушений, различной степени «тяжести».

Следствие 1.1. Тяжесть или степень (показатель) тяжести того или иного правового акта находится в экспоненциальной зависимости от величины показателя степени его неопределенности.

Следствие 1.2. Нечетко сформулированные нормы права и правовые акты, при их реализации на практике – способствуют формированию неправомερных схем и практик организации (и самоорганизации) соответствующих противоправных схем и сетевых сообществ субъектов и объектов интеллектуальной и промышленной собственности.

венности.

Утверждение 2. Правовые нормы и подзаконные акты без инструментариев их правовой, методической и модельной поддержки в процессах их проектного правоприменительного использования (например, практики применения соответствующих норм права и правовых актов в процессе государственной экспертизы патентоспособности распределенных сетевых информационных технологий и соответствующих технических решений) – ничтожны.

Следствие 2.1. Ничтожность правоприменительной практики соответствующих норм права и подзаконных актов провоцирует на возникновение соответствующих судебных «тяжб» и длительных процессов не только судебных разбирательств, но неправомερных действий субъектов и объектов интеллектуальной и промышленной собственности.

В заключение настоящей работы целесообразно рассмотреть состав и структуру основных подсистем разработанного про-

граммного комплекса (ПК) интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения (рисунок 5) [11].

Основное назначение разработанного ПК интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов:

- автоматизация основных процессов поискового проектирования патентоспособных технических решений ограниченной сложности и экспертиза технически оптимальных способов и систем (устройств и т.п.) интерактивного синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения ЛПР или его сетевого агента в заданной предметной области на основе использования открытых сетевых Internet/Intranet-технологий и предлагаемого набора алгоритмических и программных средств (ИМ и ЗМ), приведенных на рисунках 1 – 4 и таблицах

1 – 3.

Основные функции ПК интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов:

- поисковое проектирование и экспертиза интерактивных способов и систем генерации алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) ограниченной/персонифицированной сложности в заданной предметной области;
- защита соответствующих объектов интеллектуальной собственности (ОИС) от несанкционированного воспроизведения (копирования и т.п.), активное или пассивное сопровождение ОИС на основе использования открытых сетевых Internet/Intranet-технологий;
- синтез стратегий маркетинга и экспертизы состояния, соответствующих ОИС в виде объектов промышленной собственности (ОПС – изобретений, полезных мо-

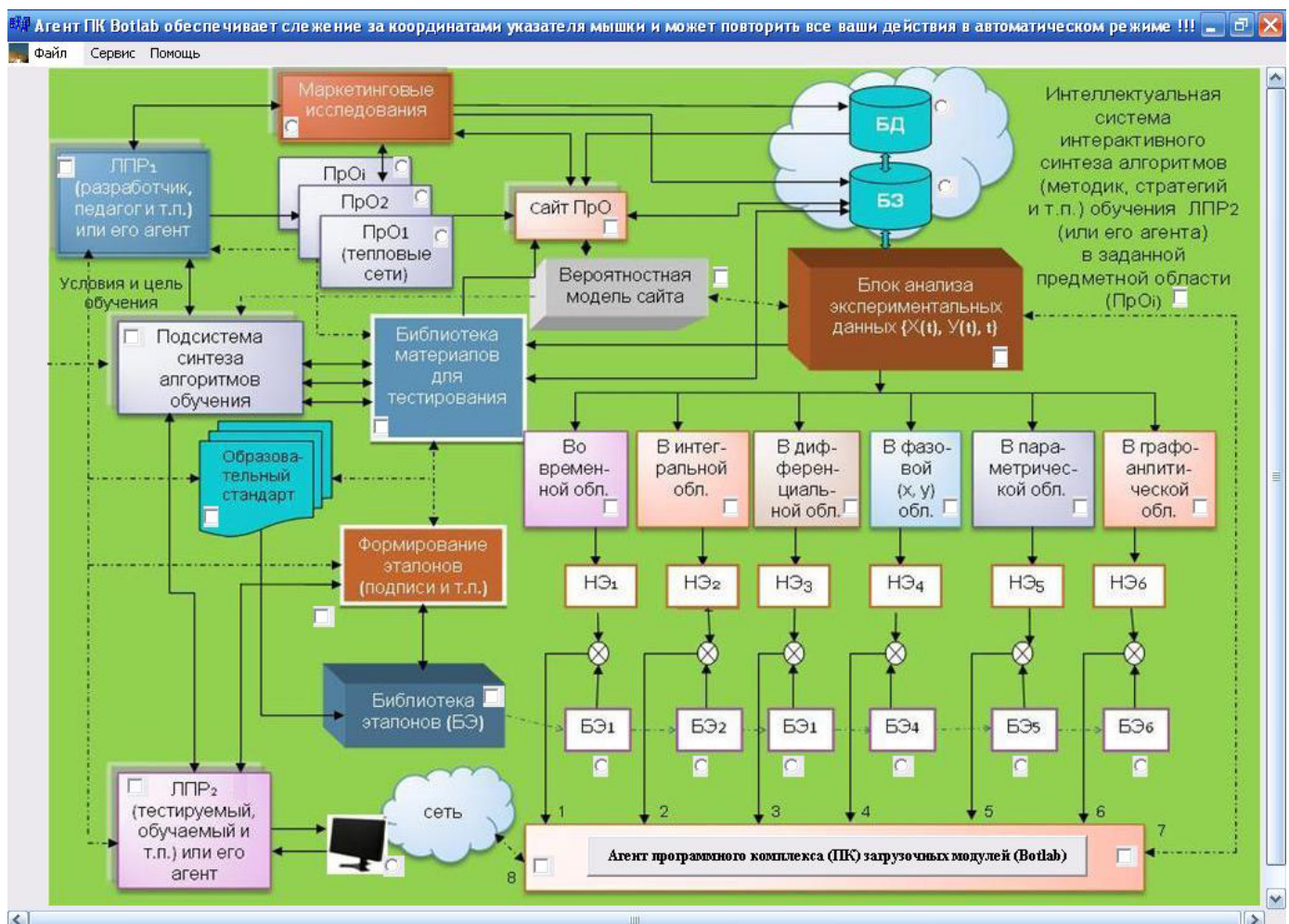


Рисунок 5 – Диалоговое окно интеллектуальных (интерактивных) модулей и подсистем синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения ПК САПР ИЭСТЗ проектного управления

делей и т.п.), обеспечивая необходимые и достаточные условия их защищенности (правовой защищенности – патентоспособности).

Основные особенности разработанного ПК интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов в ПК САПР ИЭСТЗ проектного управления состоят в том, что все участники процесса обучения или их агенты входят в структуру ПК САПР ИЭСТЗ как динамические подсистемы. При этом агент ПК загрузочных модулей (ЗМ) выполняет по существу функции блока ситуационного управления – формирует управляющие воздействия на основе многоканального анализа информации, поступающей на его входы. Эти сигналы, в простейшем случае, представляют отклонения (разницу и т.п.) от эталонных (заданных, требуемых и т.п.). В этом динамическом процессе, в частном случае – в интерактивной системе интеллектуального/ситуационного управления (ИСУ) процессом обучения, формируются персонифицированные графоаналитические парадигмы или профили (ГАП) для каждого обучаемого или его сетевого агента [9,12]. При этом предоставляется возможность одновременно рассматривать ГАП и его связь с динамикой позиционирования внимания обучаемого или его сетевого агента [14].

В общем случае в процессе интеллектуального синтеза персонифицированных стратегий обучения (а это, как правило, динамически сложные ситуации дистанционного управления доступом) традиционные методы измерения, контроля, организации, планирования и анализа – неприемлемы, а результаты или целесообразность вмешательства учителя или его агента в процесс управления обучением не являются очевидными.

Следовательно, представляется целесообразным отдавать предпочтение алгоритмам обучения процессам сетевого синтеза патентоспособных технических решений с минимальными функциями учителя.

Максимальный уровень приобретения знаний и умений в интеллектуальных системах интерактивного проектного управления

наблюдается в процессах самостоятельной работы обучаемого. Однако эти выводы имеют диаметрально противоположные характер в том случае, когда функции учителя или ученика выполняют их сетевые агенты.

Наилучшие показатели, например, с точки зрения быстродействия приобретения необходимого уровня знаний/умения в заданной ПрО проектного управления, получают тогда, когда для каждого обучаемого синтезирован персонифицированный обучающий агент. При этом для синтеза такого персонифицированного агента необходимо интерактивное взаимодействие ученика и учителя. Здесь следует подчеркнуть, что сам процесс синтеза такого рода персонифицированных агентов, как правило, уникален и может быть представлен в виде патентоспособного технического решения.

Библиография

[1] XXV Национальный форум информационной безопасности «ИНФО-ФОРУМ-25». Инновационные решения для безопасности России (7 – 8 февраля 2023), Москва, <http://www.infoforum.ru/>.

[2] Международная конференция-сессия «Государственное управление и развитие России: цивилизационные вызовы и национальные интересы» (15 – 20 мая 2023), Москва, <https://igsu.ranepa.ru/hidden/p199460/>.

[3] Ботуз, С.П., Новиков, Д.А. Идентификация объектов и субъектов интеллектуальной собственности в сети Internet / Труды II междунар. научн. конф. “Идентификация систем и задачи управления” (SICPRO '03) 28–31 января 2003г. – М.: ИПУ РАН, 2003, – С. 2033 – 2041.

[4] Ботуз, С.П. Автоматизация исследования, разработки и патентования позиционных систем программного управления. – М.: Наука. Физматлит, 1999. – 316с.

[5] Ботуз, С.П. Синтез социально-экономических моделей идентификации интерактивных систем программного управления. – В кн.: Математические методы распознавания образов (ММРО – 11) / Под. общ. ред. акад. РАН Журавлева Ю.И. – М.: ВЦ РАН, 2003. с.65-69.

[6] Ботуз, С.П. Цифровая платформа системы управления инновациями в сети Internet/Intranet / 13-я Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2018» – Владимир-Суздаль, Россия, Доклады, Книга 2, с.262-265.

[7] Ботуз, С.П. Сетевые (цифровые) стратегии государственного планирования основных процессов защиты и сопровождения субъектов и объектов интеллектуальной собственности (ОИС)/ Цифровая экономика. ЦЭМИ РАН–http://digital-economy.ru/stati/setevye-tsifrovye-strategii-gosudarst-venno-go-planirovaniya-osnovnykh-protse-ssov-zashchity-i-soprovozhdeniya-sub-ekt-ov-i-ob-ektov-intellektualnoj-sobstvennosti?fbclid=IwAR0xUAIwAR0xUAWJ1DhRHdetXbtquXtGQ3_pLijZauNCdox-gEa2F9I29WVa-cOx3KU.. (дата размещения и доступа 08.07.2019).

[8] Солодовников, В.В., Бирюков, В.Ф., Тумаркин, В.И. Принцип сложности в теории управления (о проектировании технически оптимальных систем и проблеме корректности). – М. Наука. Физматлит, 1977. – 377 с.

[9] Ботуз, С.П. Проектирование интеллектуальных эргатических систем технического зрения проектного управления / Труды Пятнадцатой международной конференции «Управление развитием крупномасштабных систем» (MLSD'2022). Под

общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. М.: ИПУ РАН, 2022, с. 342 –353.

[10] Сыров, А.С. Попов, Б.Н. Ботуз, С.П. Методы и модели распределенного управления основными процессами проектирования многопроцессорных систем космических аппаратов / Сб. трудов всероссийской суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: масштабируемость, параллельность, эффективность». – М.: НИВЦ МГУ, 2009, с. 130 – 133.

[11] Ботуз, С.П. Программный комплекс интеллектуальной системы интерактивного синтеза алгоритмов (методик, стратегий и т.п.) обучения / RU 20133615149, Роспатент, 29.05.2013.

[12] Ботуз, С.П. Методы и модели экспертизы объектов интеллектуальной собственности в сети Internet. – М.: Солон – Р, 2002, – 320с.

[13] Ботуз, С.П. Управление удаленным доступом (Методы проектирования систем защиты и сопровождения субъектов и объектов интеллектуальной собственности в сети Internet/Intranet). Учебн. пособие. – М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2006. – 256с.

[14] Ботуз, С.П. Интеллектуальные интерактивные системы и технологии управления удаленным доступом (Методы и модели управления процессами защиты и сопровождения интеллектуальной собственности в сети Internet/Intranet): Учебное пособие. 3-е изд., доп. – М.: СОЛОН – Пресс, 2014. – 340 с.

Экстремальная экономика проектного управления САПР предпринимательством

Ботуз Сергей Павлович

Доктор технических наук, профессор кафедры информатики и прикладной математики
ИГСУ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации.
Россия, 119606, Москва, проспект Вернадского, 84
bsp_serg@mail.ru

Аннотация

Работа представляет продолжение работы [1], приведенной в настоящем номере журнала. В настоящей работе осуществлена постановка и решение основных задач экстремальной экономики проектного управления САПР предпринимательством на примерах формирования портфеля патентоспособных объектов промышленной собственности: изобретений и полезных моделей.

Ключевые слова: экстремальная экономика, интеллектуальные, интерактивные, проектное управление.

The extreme economics of project management CAD entrepreneurship

Botuz Sergei Pavlovich

Ph. D., Professor, Department of Informatics and applied mathematics IPACS RANEPa

Abstract

The work is a continuation of the work [1] given in this issue of the journal. The paper presents the formulation and solution of the main tasks of the extreme economics of CAD project management by entrepreneurship using examples of the formation of a portfolio of patentable objects of industrial property: inventions and utility models.

Keywords: extreme economics, intelligent, interactive, project management.

Введение

Настоящая работа представляет прикладную составляющую работы [1], приведенной в настоящем сборнике журнала.

В [1] показано: проектное управление процессом автоматизированного синтеза персонифицированных логических схем обучения ЛПР или его сетевых агентов, как правило, уникален и может быть представлен в виде патентоспособных (охраноспособных) технических решений, удовлетворяющих требованиям мировой новизны. А это позволит, например, в одном из приоритетных направлений в области автоматизированного решения задач проектирова-

ния и сопровождения процессов и методов управления распределенными (сетевыми) процессами в области государственного и муниципального управления (ГМУ) беспилотными транспортными системами (БТС), решать актуальные задачи, связанные с необходимостью повышения технологической независимости государства в соответствующих отраслях не только производства, но подготовки специалистов и предпринимателей, необходимых для достижения технологического суверенитета России в данной предметной области.

Подобного рода задачи, как правило, принадлежат к классу, так называемых, экс-

тремальных экономик предпринимательства, графическая интерпретация данного класса экстремальных экономических задач приведена на рисунках 1,2,3. При этом на содержательном уровне может быть сформулирована соответствующая задача экстремальной экономики проектного управления САПР предпринимательством в следующем виде.

Предложение 1. Необходимо синтезировать техническое решение (ТР), удовлетворяющее требованиям (условиям) патентоспособности (в виде таких объектов промышленной собственности – ОПС, как изобретение или полезная модель – ИЗ/ПМ), обеспечивая минимум риска, не только в отказе принятия положительного решения о выдаче патента на ИЗ/ПМ, но и возможности его успешного коммерческого внедрения (использования), при этом обеспечить минимальный уровень материальных и временных издержек (затрат и т.п.).

Постановка задач и методы решения

Очевидно, что в приведенной выше

постановке (см. предложение 1) задача, как правило, не имеет решений. Поэтому более реалистична содержательная постановка задачи в следующем виде.

Предложение 2. Необходимо синтезировать техническое решение (ТР), удовлетворяющее требованиям (условиям) патентоспособности (в виде таких объектов промышленной собственности – ОПС, как изобретение или полезная модель – ИЗ/ПМ), для этого следует определить нижнюю границу риска охраноспособности ИЗ/ПМ, при обеспечении приемлемых материальных и временных издержек для успешной коммерческой реализации ИЗ/ПМ.

Однако следует учесть

Замечание 1. Патент на то или иное техническое решение не является коммерческим продуктом.

Замечание 2. Коммерческим продуктом является «портфель» охранных (патентоспособных) решений.

В этой связи справедливо

Предложение 3. Необходимо синтезировать техническое решение (ТР), удовлетворяющее требованиям (условиям) па-

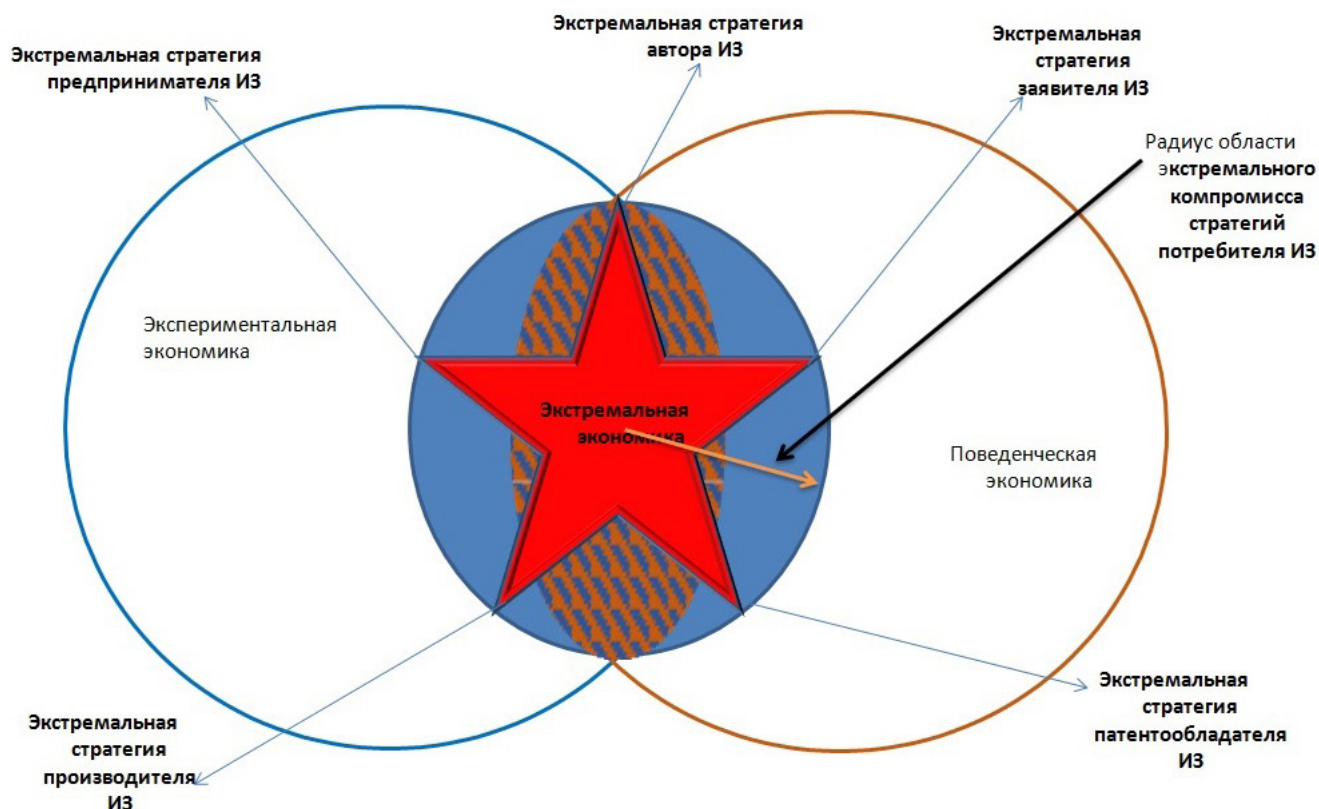


Рисунок 1 – Визуализация фрагмента настройки подсистемы САПР синтеза портфеля ИЗ/ПМ

тентоспособности, в виде таких объектов промышленной собственности – ОПС, как изобретение или полезная модель – ИЗ/ПМ, для этого следует определить нижнюю границу риска наличия портфеля (число или мощность множества) охраноспособных ИЗ/ПМ, при обеспечении приемлемых материальных и временных издержек для успешной коммерческой реализации портфеля ИЗ/ПМ, на основе синтеза стратегии, приемлемой (ограниченной или персонализированной) сложности для её реализации.

При этом если предположить, что мощности множеств стратегий экспериментальной экономики (nS_1) и поведенческой экономики (nS_2) формально равны (см. рис.1), то их персонализированные оценки для каждого из ЛПР или их агентов могут существенно различаться. Это состояние оценки или кардинальные числа множеств $cad(S_1)$ и $cad(S_2)$ есть некоторые существенно-нелинейные функции (СНФ) от когнитивных характеристик (или – оценки рефлексивных возможностей и т.п. состояний) конкретного ЛПР.

Как правило, подобные СНФ неоднозначны, поскольку обусловлены соответствующей неоднозначностью поведения ЛПР, которая зависит не только от действий ЛПР в данный момент времени, но и от всех предшествующих и последующих состояний, не только ЛПР, но и его сетевых агентов. И если предшествующие состояния ЛПР можно анализировать, то прогнозные мнения и желания ЛПР невозможно точно спрогнозировать. В последнем случае – прогнозном состоянии ЛПР, возможно сформировать открытое множество наиболее вероятных состояний (множество прогнозных состояний) ЛПР или их агентов, определяющих (предопределяющие) минимаксные уровни предпочтений ЛПР в условиях функционирования экстремальных «правил» экономики предпринимательства.

Если предположить, что каждое из S_1 и $S_2 \in R^2$ (см.рис. 1), при этом nS_1 и $nS_2 < \infty$, тогда справедливо следующее

Определение. Формальное выражение множества экстремальной экономики проектного управления предпринимательством можно представить в следующем

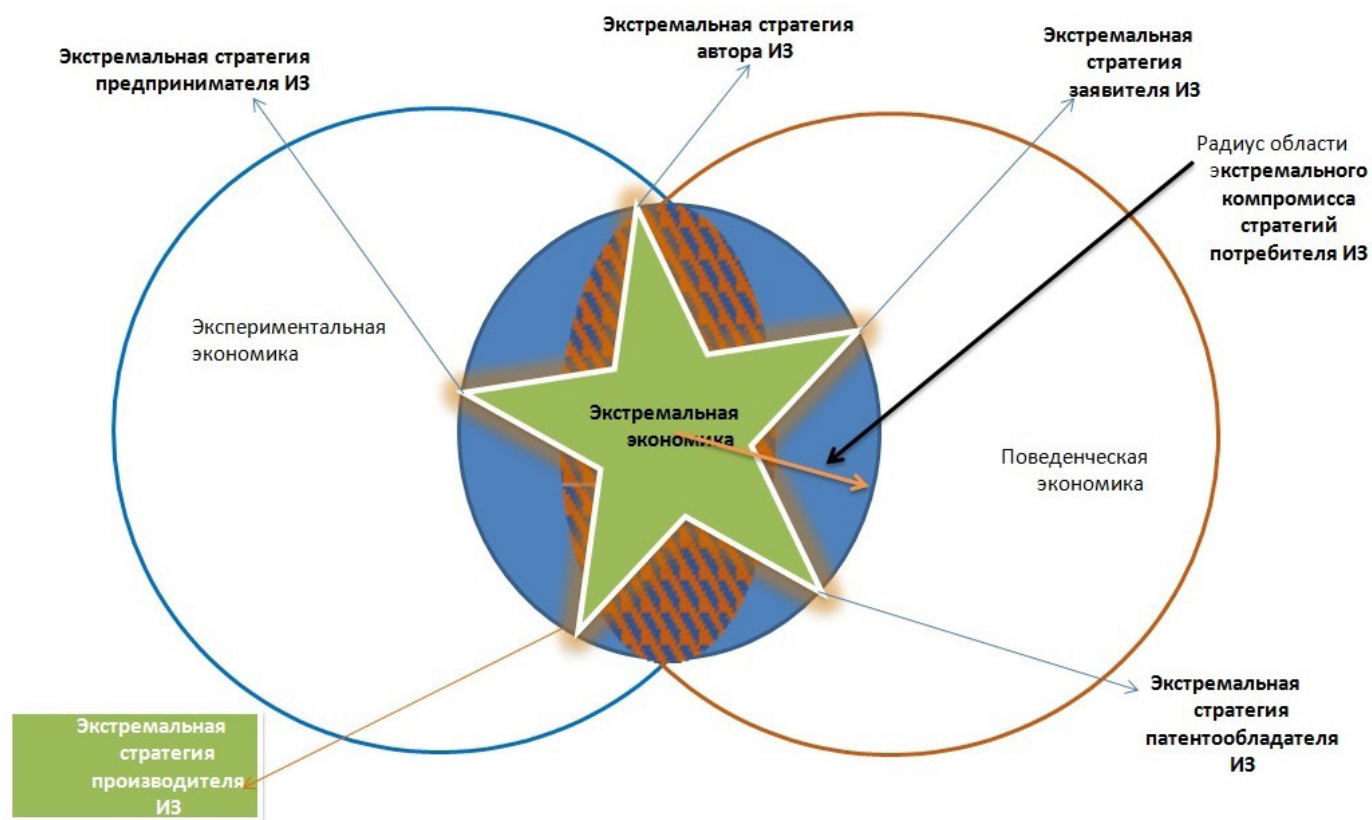


Рисунок 2 – Визуализация фрагмента настройки подсистемы САПР синтеза портфеля ИЗ/ПМ

виде

$$S_{\text{экс}} = 1/2 \text{Sup}(\text{diam } S_1 \cap S_2).$$

В силу ограниченности объема публикации, в данной работе не будем останавливаться на деталях решения вышеприведенной задачи.

Здесь ограничимся указаниями, приведенными в работе [1] на рисунках блок-схем и в таблицах. При этом в случае состояния знаний ЛПР, соответствующего «нетерпеливого» ЛПРЗ, необходимо обратиться к интеллектуальным (интерактивным) модулям ИМ 8.1, ..., 8.6, 9.1, ..., 9.5 и блок-схемам, приведенных на рисунках 3 и 4 [1]. Согласно которым определить (задать) в интерактивном режиме мощность портфеля патентоспособных решений и соответствующее число ЛПР или сетевых агентов, а также режим (параметры) графоаналитического кодирования визуальных отображений, осуществляемый на основе ИМ графоаналитического кодирования визуальных объектов взаимодействия субъектов и объектов ИС, отображаемых на поверхности монитора ПК САПР ИЭСТЗ (см. рисунки, настоящего доклада и в работе [1]).

В ИМ 8.1 рассмотрены основные подсистемы интеллектуальной интерактивной системы государственного маркетинга рынка информационных технологий и ноу-хау в сети Internet/Intranet, разработанной на основе использования основных разделов (рубрик) иерархической структуры Международной патентной классификации изобретений (МПК). Разработанная система предназначена для автоматизации основных процессов государственного маркетинга рынка информационных технологий и ноу-хау, действующая в состоянии экстремальных экономических условиях предпринимательства в среде сложных интерактивных систем мониторинга состояний информационных процессов взаимодействия субъектов и объектов интеллектуальной и промышленной собственности. В основе разработанной системы использованы базовые принципы CALS- и GRID-технологий, при этом выделены соответствующие разделы МПК (или в терминах проектирования реляционных БД – кортежи). Отличительная особенность разработанной ИМ 8.1 состоит в том, что в ней основное вни-

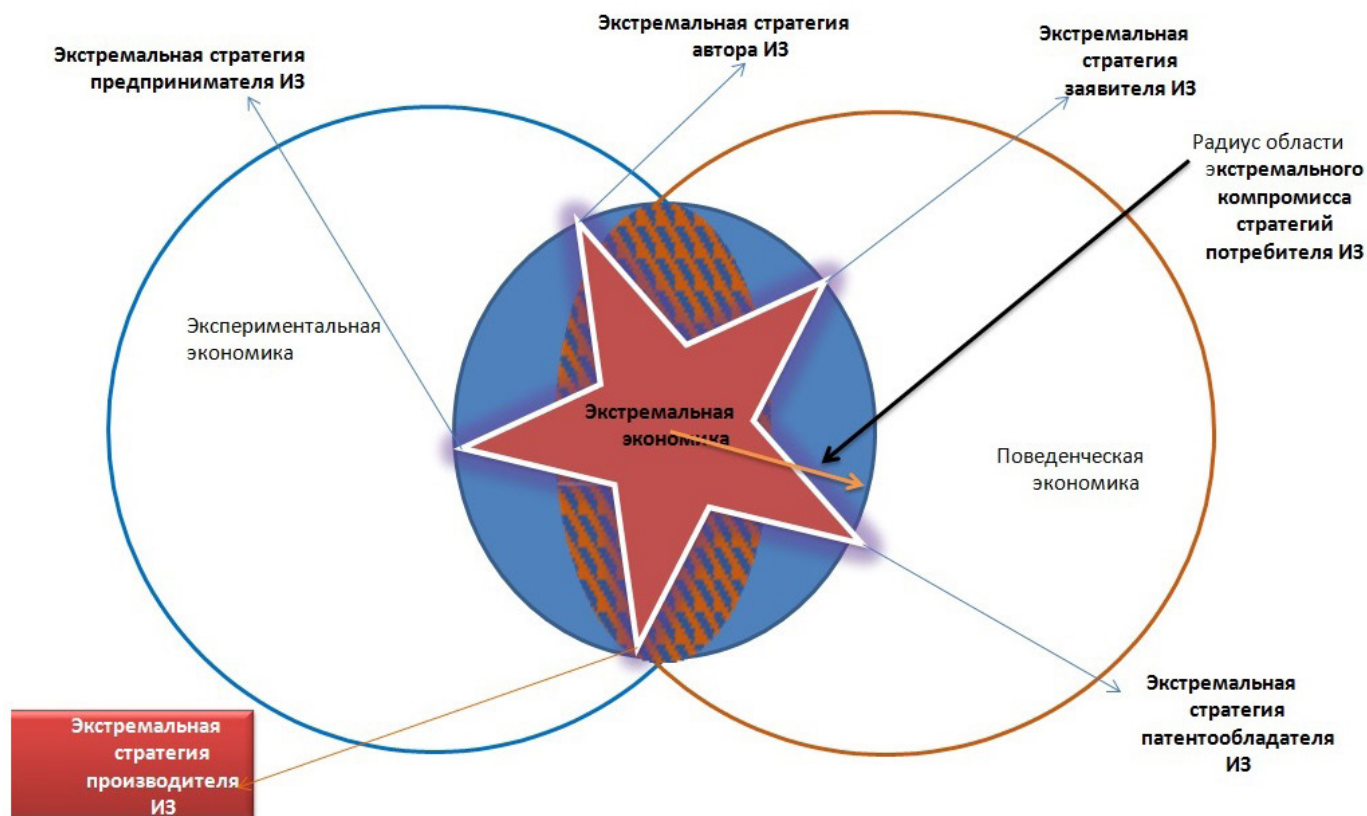


Рисунок 3 – Визуализация фрагмента настройки подсистемы САПР синтеза портфеля ИЗ/ПМ

мание уделено тем техническим решениям, в которых присутствуют элементы формализованного описания (предписания) соответствующих действий (последовательности мероприятий или шагов, настолько точно определяющие действия исполнителя (ЛПР или его сетевого агента), что для его «произвола в принятии решений» не остается места) над материальными объектами с помощью материальных средств и направленных на решение соответствующих прикладных задач.

Таким образом, априори предполагается возможность автоматизированного синтеза технических решений даже для случаев реализации «чисто» организационных мероприятий проектного управления. Это стратегическое целеполагание при формировании БД и соответствующих БЗ отвечает современным ИТ, которые в основном ори-

ентированы на последующую их реализацию с использованием известных средств микропроцессорной техники – так называемых, систем на кристалле (СнК, более детальное взаимодействие с подобными ОПС приведены в [1] – интерактивные связи с ИМ 9.1, ..., 9.5, см. в [1]).

Поэтому сама стратегия реализации соответствующих ИТ (или среда, в которой предполагается генерить ИТ) должна быть робастной (гиперустойчивой) по отношению к различного рода внешним и внутренним дестабилизирующим факторам – возмущениям. А эти, надо особо отметить, суровые правила экстремальной экономики проектного управления подчас не под силу многим предпринимателям, так как связаны с большим объемом маркетинговых исследований: с необходимостью осуществлять детальную оценку, принимаемых страте-

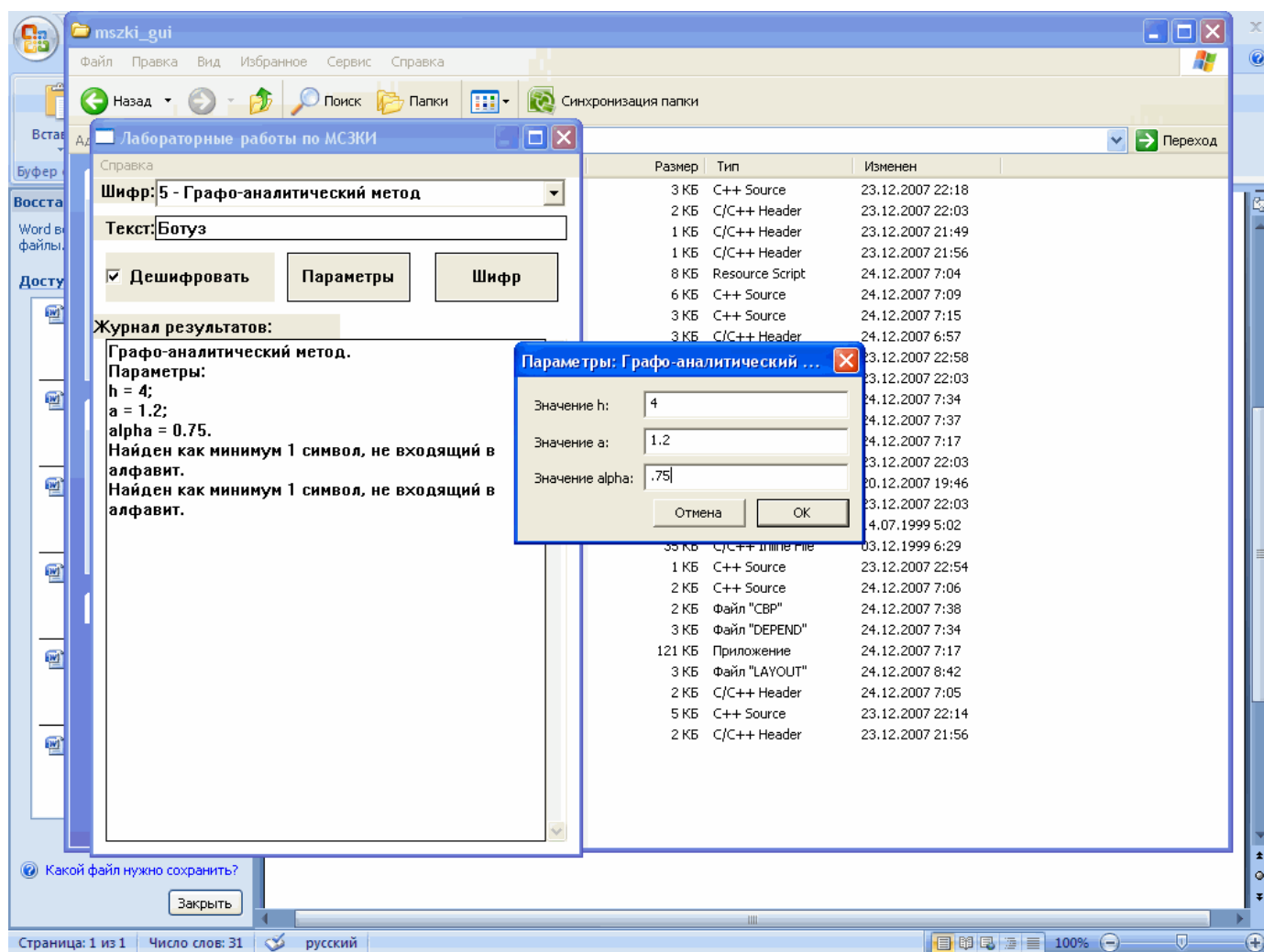


Рисунок 4 – Интерфейс ИМ графоаналитического кодирования визуальных объектов взаимодействия субъектов и объектов ИС, отображаемых на поверхности монитора ПК САПР ИЭСТЗ [1]

гических решений и планированием всех процедур, связанных с реализацией соответствующих проектов ИТ, например, сетевой (распределенной) защитой и сопровождением ноу-хау. Поэтому российскому предпринимателю предпочтение следует отдать ИТ, направленным на решение прикладных задач, возникающих в конкретных отраслях.

Этот класс прикладных ИТ обладает устойчивым иммунитетом по отношению к известному «человеческому» менталитету: «пришел – увидел – списал» или «зачем платить, когда можно взять и бесплатно скопировать».

В ИМ 8.2 рассмотрены примеры интеллектуальных методов и моделей интерактивного управления основными процессами проектирования и сопровождения бортовых систем космического приборостроения. В частности, показано: на фоне увеличения значимости происходящих преобразований в обществе и государстве АРМ эксперта ОИС в космической отрасли предоставляет возможность повысить правовой статус и активность субъектов авторского, патентного и других прав на всех уровнях взаимодействия субъектов и объектов интеллектуальной и промышленной

собственности, используя современные интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) удаленным доступом. При этом каждая подсистема ИАСУ позволяет в диалоговом режиме контролировать состояние распределенных взаимодействий субъектов и объектов ИС и ПС на основе эффективного использования открытых технологий сети Internet/Intranet, известных систем оперативного планирования диспетчеризации выполнения планов производства ограниченной (персонифицированной) сложности (MES – Manufacturing Execution Systems, ERP – Enterprise Resource Planning и другие) с минимизацией людских и финансовых затрат.

При этом в ИМ 8.3 рассмотрены примеры развития (эволюции) основных подсистем разработанной интеллектуальной информационной системы государственного управления инновационными проектами (знаниями) в сети Internet/Intranet.

В результате показано (доказано), что разработанные в 1997 году структуры и соответствующие информационные модели подсистем сопровождения ОПС оказались инвариантными (робастными и т.п.) по отношению к изменениям в законодательстве, которые произошли за эти годы.

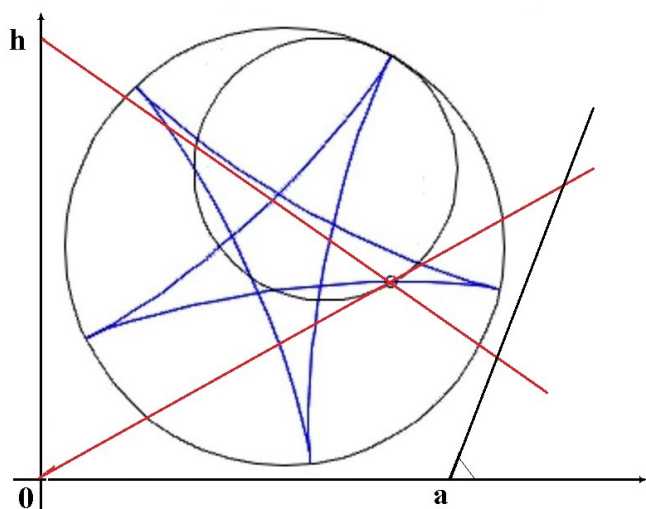


Рисунок 5(а) – Фрагмент процесса визуализации графоаналитического кодирования портфеля объектов промышленной собственности: изобретений или полезных моделей (мощность портфеля составляет пять объектов промышленной собственности)

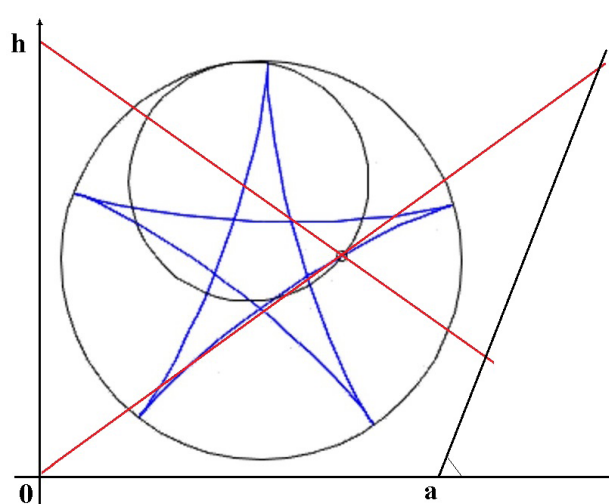


Рисунок 5(б) – Фрагмент процесса визуализации графоаналитического кодирования портфеля объектов промышленной собственности: изобретений или полезных моделей (мощность портфеля составляет пять объектов промышленной собственности)

Сама структура формирования БД/БЗ и функциональная модель подсистемы толкования норм права, по существу, не изменилась. А это позволило сохранить не только сами информационные массивы БД, но и обеспечить преемственность в использовании накопленного опыта, т.е. сохранить не только состав и структуру БД, но и БЗ и соответствующие накопленные «ассоциативные и рефлексивные умения» [2] сетевого правового сопровождения ОПС и соответствующих инновационных проектов космического приборостроения.

Заключение

Основные результаты настоящей работы, научная и практическая значимость, могут быть сформулированы в следующем виде.

Утверждение 1. Экстремальная экономика проектного управления САПР предпринимательством может быть представлена динамическими моделями взаимодействия субъектов и объектов интеллектуальной и промышленной собственности на основе синтеза в интерактивном режиме персонализированной графоаналитической метрики ограниченной сложности, обеспечивая

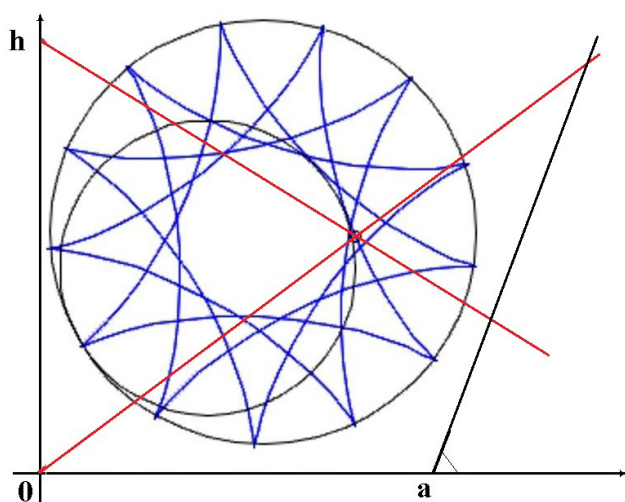


Рисунок 6(а) – Фрагмент процесса визуализации графоаналитического кодирования портфеля объектов промышленной собственности: изобретений или полезных моделей (мощность портфеля составляет тринадцать объектов промышленной собственности)

гибкость (масштабируемость) визуальных объектов в ограниченном пространстве плоскости монитора.

Утверждение 2. (Принцип правовой робастности технических решений (ТР) в области информационных технологий (ИТ) экстремальной экономики проектного управления САПР предпринимательством). Для обеспечения правовой робастности ТР в области ИТ необходимо и достаточно обеспечить оригинальность существенных признаков ТР и статических связей между ними в описании и формуле заявляемого ТР, которое позволит сформировать (синтезировать) оригинальную (патентоспособную) совокупность признаков их взаимодействия в ТР в области ИТ экстремальной экономики проектного управления предпринимательством.

Следствие 1. Для обеспечения правовой робастности ТР в области ИТ необходимо и достаточно сформировать оригинальную совокупность признаков способа функционирования ТР на основе оригинальной совокупности системы или устройства для его реализации.

Следствие 2. Минимальный объем притязаний (или экстремальный объем

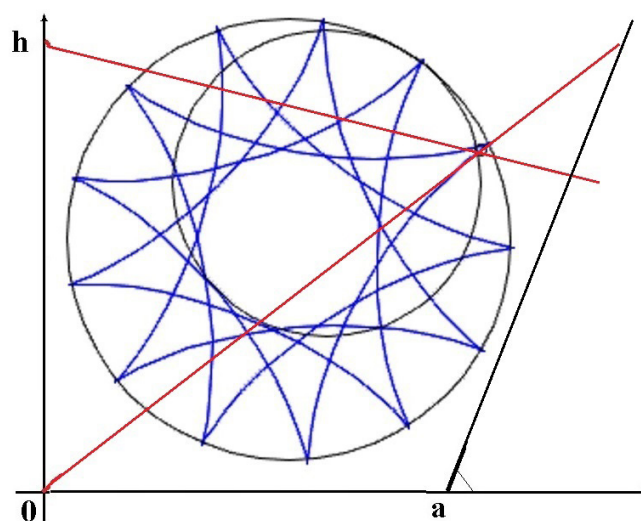


Рисунок 6(б) – Фрагмент процесса визуализации графоаналитического кодирования портфеля объектов промышленной собственности: изобретений или полезных моделей (мощность портфеля составляет тринадцать объектов промышленной собственности)

правовых притязаний) в области ИТ не может быть меньше двух объектов правовой защиты, а именно, на способ функционирования ТР и устройство (или система) для его реализации.

Следствие 3. Нарушение вышеприведенного условия подвергает заявляемое или разработанное решение повышенному риску, с точки зрения его правовой охраноспособности в условиях действия экстремальных «правил» экономики предпринимательства.

Прикладная составляющая разработанных в [1] интеллектуальных (интерактивных) и загрузочных модулей ПК САПР ИЭСТЗ модулей позволяют решать в автоматизированном (интерактивном) режиме задачи, связанные с синтезом патентоспособных технических решений в области государственного и муниципального управления беспилотными транспортными системами, а также решать актуальные задачи, связанные с необходимостью повышения технологической независимости государства в соответствующих отраслях

не только производства, но подготовки специалистов и предпринимателей, необходимых для достижения технологического суверенитета России в заданной предметной области экстремальной экономики проектного управления предпринимательством.

Библиография

[1] Ботуз С.П. Проектное управление основными процессами автоматизированного сетевого синтеза патентоспособных технических решений. В настоящем журнале.

[2] Теория управления (дополнительные главы): Учебное пособие / Под ред. Д.А. Новикова. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 552 с.

[3] О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации / Указ Президента Российской Федерации от 02.07.2021 г. № 400 / <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47046>

[4] Энергетическая стратегия России на период до 2030 года / <https://minenergo.gov.ru/node/15357>

Ретроспектива и перспективы автоматизации контроля надёжности и качества авиационной электронной аппаратуры

Бурова Аделия Юрьевна

Советник Российской Академии Естествознания, редактор научно-технического журнала «Двигатель», старший преподаватель ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

frambe@mail.ru

Малютин Николай Васильевич

Академик Российской академии естественных наук, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора НП «НАЭВИ» по инновационным проектам

mny220609@mail.ru

Кофанов Юрий Николаевич

Академик Российской академии естественных наук, доктор технических наук, профессор Московского института электроники и математики имени А. Н. Тихонова Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики»

Аннотация

Рассмотрены вопросы, связанные с исследованием возможностей виртуализации натурных испытаний авиационной и аэрокосмической техники. Цель исследования – определение основных тенденций автоматизации контроля надёжности и качества электронных компонентов бортового оборудования летательных аппаратов. При выполнении исследования использованы методы направленного перебора и сравнительной оценки публикаций в научно-технических журналах и сборниках материалов научно-практических конференций. Результаты исследования показали и подтвердили, что такими тенденциями можно считать виртуализацию натурных испытаний авиационной электронной аппаратуры и сочетание её виртуальных и натурных испытаний с учётом внешних воздействующих факторов. Отмечено снижение финансовых затрат и затрат времени, необходимых для проведения испытаний авиационной электронной аппаратуры при использовании автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры (АСОНИКА).

Ключевые слова: АСОНИКА, виртуальные испытания, компьютерное моделирование, надёжность и качество, электронная аппаратура.

Retrospective and Prospects of Automation of Reliability and Quality Control of Aviation Electronic Equipment

Burova A.Yu., Malyutin N.V., Kofanov Yu.N.

Abstract

The article considers issues related to the study of the possibilities of virtualization of full-scale tests of aviation and aerospace equipment. The purpose of the study is to determine the main trends in the automation of reliability and quality control of electronic components of on-board equipment of aircraft. The study used the methods of directed enumeration and comparative assessment of publications in scientific and technical journals and collections of materials of scientific and practical conferences. The results of the study showed and confirmed that such trends can be considered virtualization of full-scale tests of aviation electronic equipment and a combination of its

virtual and full-scale tests taking into account external influencing factors. A decrease in financial costs and time costs required for testing aviation electronic equipment using the automated system for ensuring the reliability and quality of equipment (ASONIKA) was noted.

Keywords: ASONIKA, virtual testing, computer modeling, reliability and quality, electronic equipment.

Введение

Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры (АСОНИКА) успешно применяется на научно-производственных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской промышленности как интегрированное средство расчета тепловых, аэродинамических, механических и электрических процессов в проектируемой авиационной электронной аппаратуре (АЭА). АСОНИКА позволяет делать полный расчет показателей надёжности и качества АЭА и решать задачи диагностирования этой аппаратуры и контроля режимов её работы [1-2].

Применение АСОНИКА способствует повышению объективности оценки стойкости АЭА к воздействию дестабилизирующих спецфакторов в соответствии с правилами установления требований к объектам технического регулирования [3-4]. Возможности АСОНИКА реализуются для контроля надёжности и качества электронных компонентов бортового оборудования летательных аппаратов применением различных её подсистем (см. Таблица 1) [5-7].

Создание и разработка информационных технологий АСОНИКА и внедрение ее подсистем, указанных в таблице 1, в авиационную и аэрокосмическую отрасли российской промышленности для использования при разработке, производстве и эксплуатации АЭА обеспечили возможность ее неразрушающего контроля надёжности и качества методами компьютерного моделирования с ранних этапов проектирования АЭА до изготовления ее опытных образцов, чтобы значительно сократить и даже избежать отказа на этапе испытаний опытных образцов и сокращения количества таких испытаний. Это обеспечивает снижение финансовых затрат и затрат времени, необходимых для проведения испытаний АЭА

при использовании для них АСОНИКА [2].

Специальная подсистема управления проектами АСОНИКА-УМ дает возможность провести предварительное планирование работ, проводимых на этапах проектирования, изготовления, испытаний и эксплуатации РЭА. В дальнейшем эта подсистема позволяет проконтролировать ход выполнения план-графика работ и осуществить управление вносимыми изменениями.

Применение АСОНИКА обусловлено её основными особенностями:

1) АСОНИКА обеспечивает возможность выполнения сквозного моделирования АЭА, начиная от моделей верхнего уровня до моделей нижнего уровня, т.е. от несущих конструкций до блоков и печатных узлов электрорадиоизделий (ЭРИ), предназначенных для использования при производстве, преобразовании, распределении и передаче электрической энергии;

2) АСОНИКА ориентирована на разработчика АЭА, например, в её подсистемах АСОНИКА-М и АСОНИКА-ТМ разработаны специальные интерфейсы для ввода типовых конструкций АЭА – шкафов, блоков, печатных узлов, что значительно упрощает анализ физических процессов в такой аппаратуре;

3) АСОНИКА соответствует требованиям национальных стандартов в области САПР и виртуальных испытаний электроники беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники», функционирующего на базе ООО «НИИ «АСОНИКА».

Росстандартом утверждены и введены в действие 7 национальных Стандартов в области виртуальных испытаний электроники на надёжность и внешние воздействующие факторы, разработанных ООО «НИИ «АСОНИКА» в ТК 165.

Таблица 1. Подсистемы САПР АСОНИКА и их назначение

ПОДСИСТЕМЫ	НАЗНАЧЕНИЕ ПОДСИСТЕМ
АСОНИКА-А	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения аэродинамических и гидравлических характеристик АЭА
АСОНИКА-В	Аппаратно-программные средства анализа механических характеристик конструкций шкафов, стоек и блоков АЭА, 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 АЭА при механических воздействиях
АСОНИКА-М	Аппаратно-программные средства анализа объемных конструкций АЭА на механические воздействия
АСОНИКА-Т	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения тепловых характеристик радиоэлектронной аппаратуры
АСОНИКА-ТМ	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения стойкости печатных узлов радиоэлектронной аппаратуры к тепловым и механическим воздействиям
АСОНИКА-П	Аппаратно-программные средства автоматизированной поддержки профессионального творчества в радиоэлектронике
АСОНИКА-Д	Аппаратно-программные средства обеспечения диагностирования и контроля технического состояния АЭА
АСОНИКА-Б	Аппаратно-программные средства для анализа надёжности шкафов, блоков, печатных узлов АЭА
АСОНИКА-БД	Справочные база данных электрорадиоизделий и материалов по геометрическим, физико-механическим, теплофизическим и надёжностным параметрам
АСОНИКА-Р	Аппаратно-программные средства для облегчения и ускорения процесса заполнения карт рабочих режимов АЭА
АСОНИКА-У	Аппаратно-программные средства планирования и управления проектами, программами, разработками и комплексами работ
АСОНИКА-УМ	Аппаратно-программные средства управления моделированием АЭА, относится к системам класса PDM и отвечает всем общим требованиям к системам данного класса
АСОНИКА-С	Аппаратно-программные средства диагностики многопараметрического процесса по результатам статистического контроля
АСОНИКА-К	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения надёжности и качества АЭА
АСОНИКА-К-ЗИП	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения надёжности и качества комплектов ЗИП
АСОНИКА-К-СИ	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения надёжности и качества сложных изделий
АСОНИКА-К-СЧ	Аппаратно-программные средства анализа и обеспечения надёжности составных частей
АСОНИКА-ANSYS	Аппаратно-программные средства интеграции CAD-системы «КОМПАС-3D» с CAE-системами АСОНИКА и ANSYS
АСОНИКА-PDM	Аппаратно-программные средства для сбора всей информации об изделии в интегрированной базе данных и обеспечения совместного использования этой информации в процессах проектирования, производства и эксплуатации АЭА

Цель и методы

Цель проведённого исследования – определение основных тенденций автоматизации контроля надёжности и качества электронных компонентов бортового оборудования летательных аппаратов.

Результаты исследования

Результаты исследования показали и подтвердили, что основными тенденциями автоматизации контроля надёжности и качества электронных компонентов бортового оборудования летательных аппаратов можно считать виртуализацию натурных испытаний авиационной электронной аппаратуры и сочетание её виртуальных и натурных испытаний с учётом внешних воздействующих факторов за счёт внедрения и применения информационных технологий АСОНИКА на научно-производственных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской промышленности.

В нынешнем десятилетии самыми актуальными стали вопросы, связанные с интеграцией разнообразных возможностей, позволяющей автоматизировать не отдельные элементы процесса, а полностью весь процесс проектирования и конструирования АЭА.

Информационные технологии выполнения функций проектирования реализуют Системы Автоматизации Проектных Работ (САПР), которые представляют собой организационно-технические системы, состоящие из персонала и комплексов аппаратных и программных средств. САПР подразделяются на несколько видов:

САПР на базе подсистемы машинной графики и геометрического моделирования (собственно CAD – Computer Aided Design) решают задачи, в которых основной процедурой проектирования является создание геометрической модели, поскольку любые предметы описываются в первую очередь геометрическими параметрами.

САПР системы технологической подготовки производства (CAM – Computer Aided Manufacturing) осуществляют проектирование технологических процессов, синтеза программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ) и модели-

рование механической обработки, в соответствии с созданной геометрической моделью.

Ещё до того, как было сформулировано понятие «Системы автоматизированного проектирования», уже были известны отдельные применения средств вычислительной техники для решения задач проектирования. Основу решения составлял метод конечных элементов. Метод конечных элементов был разработан в 30-е годы для решения краевых задач. В дальнейшем получил применение в системах инженерного анализа (CAE-системах). Термин «САПР» появился с возникновением первых ЭВМ в 50-х годах XX века. В основу идеологии положены разнообразные математические модели, такие как теория В-сплайнов, разработанная И. Шоенбергом (I.J. Schoenberg) в 1946 г. Моделированию кривых и поверхностей любой формы были посвящены работы П. Безье (P.E. Bezier), выполненные в 60-х годах. В этот период сформировалась структура и классификация САПР. Объекты проектирования стали рассматриваться с точки зрения различных областей науки, базовые подсистемы САПР разделились на геометрические, прочностные, аэродинамические, тепловые, технологические, и т. п., впоследствии их стали классифицировать как CAD, CAE, CAM, PDM, PLM. В этот же период появились первые программы для автоматизированного проектирования электронных схем.

История развития САПР достаточно условно можно разбить на 3 этапа:

– В 1970-е годы были получены отдельные результаты, показавшие, что область проектирования в принципе поддается компьютеризации; в этот период основное внимание уделялось системам автоматизированного черчения. Многие программные продукты того времени назывались системами автоматизированного черчения (САЧ).

– В 1980-е годы активно применялись микрокомпьютеры и супермикрокомпьютеры, появлялись базовые программные продукты для них. Этот период характерен использованием разного программного ПО различными подразделениями одного предприятия (период основной автоматизации). Однако в эти же годы наряду с 2D черчени-

ем появились системы 3D моделирования. Теперь стала желательной возможность передавать данные с одного этапа на другой этап ЖЦ. Кроме того, появилось понятие твердотельное моделирование.

– 90-е года – период «зрелости» – некоторые ошибки были исправлены (например, убраны барьеры несовместимости между системами). Сначала стали появляться – третьи сторонние фирмы – разработчики ПО для конвертации данных из системы в систему. Потом крупные системы стали сами предоставлять возможность импорта и экспорта данных с другими распространенными системами.

В настоящее время термином САПР обозначают процесс проектирования с использованием сложных средств машинной графики, поддерживаемых пакетами программного обеспечения для решения на компьютерах аналитических, квалификационных, экономических и эргономических проблем, связанных с проектной деятельностью.

САПР системы инженерного анализа (CAE – Computer Aided Engineering) позволяют анализировать, моделировать или оптимизировать механические, температурные, магнитные и иные физические характеристики разрабатываемых моделей, проводить симуляцию различных условий и нагрузок на детали.

Как правило, эти пакеты работают, используя метод конечных элементов, когда общая модель изделия делится на множество геометрических примитивов, например тетраэдров. Основными модулями программ анализа являются препроцессор, решатель и постпроцессор.

Исходные данные для препроцессора – геометрическая модель объекта – чаще всего получают из подсистемы конструирования (CAD). Основная функция препроцессора – представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде, т.е. в виде множества конечных элементов.

Решатель – программа, которая преобразует модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и рассчитывает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР это форма – графическая. Конструктор может анализировать поля напряжений, температур, потенциалов и т.п. в виде цветных изображений, где цвет отдельных участков характеризует значения анализируемых параметров.

На сегодняшний день существует несколько классификационных подгрупп, из них три основных:

- машиностроительные САПР (MCAD – Mechanical Computer Aided Design);

- архитектурно-строительные САПР (CAD/AEC – Architectural, Engineering, and Construction);

- САПР печатных плат (ECAD – Electronic CAD/EDA – Electronic Design Automation).

Наиболее развитым среди них является рынок MCAD, по сравнению с которым секторы ECAD и CAD/AEC довольно статичны и развиваются слабо.

В 2017 году на III международном «Авиационном IT форуме России и СНГ – 2017» были представлены информационные технологии, разработанные НИИ «АСОНИКА» и апробированная на научно-производственных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской промышленности. Было показано, что использование АСОНИКА дает возможность своевременно предвидеть и оперативно предотвращать все возможные отказы – поломки и сгорания АЭА бортового оборудования летательных аппаратов.

Самолеты, вертолеты, беспилотные летательные аппараты обязательно включают АЭА, которая состоит из печатных плат, микросхем и проч. Их работу значительно ухудшает воздействие вибраций, электромагнитных полей и радиации, а также тепловые и механические воздействия. Поэтому важным этапом создания АЭА являются её испытания на все эти воздействия. Однако такие испытания являются финансово затратными, требуют много времени и не всегда позволяют правильно дать прогноз о том, способно ли выдержать АЭА подобные воздействия в реальных условиях эксплуатации, особенно в критических режимах.

АСОНИКА предполагает и предусматривает замену испытаний АЭА компьютерным моделированием на внешние тепловые, механические, электромагнитные, радиационные и другие воздействия еще до изготовления самой аппаратуры. Таким образом, АСОНИКА в авиации может и должна значительно экономить денежные средства и позволяет сокращать сроки создания АЭА при одновременном повышении её качества и надёжности за счет сокращения количества испытаний в условиях серийного производства.

Однако эффективность применения ИТ-технологий АСОНИКА в авиации во многом определяются различными организационными мероприятиями, поскольку АЭА отличается высокой технической сложностью и плотностью компоновки монтажа.

К АЭА относятся:

- комплексы и системы радиосвязи;
- комплексы и системы радиоэлектронной борьбы;
- комплексы и системы радиоэлектронной разведки;
- радиоаппаратура поисково-спасательных систем
- радиоэлектронные системы бомбометания и десантирования;
- радиотехнические системы навигации, самолетовождения и посадки;
- радиоэлектронные системы управления, наведения и целеуказания;
- системы радиолокационного опознавания и активного ответа;
- электронные вычислительные средства радиоэлектронного оборудования;
- электронные средства радиационной разведки.

Результаты анализа причин недавних аварий воздушных судов и авиационных катастроф в очередной раз актуализировали проблему надежности АЭА наряду с проблемой так называемого «человеческого фактора». Однако своевременная оценка надежности АЭА по результатам автоматического контроля её качества на соответствие требованиям стандартов, применяемых в авиации, может и должна обеспечивать безопасность полёта при профессиональной компетентности авиационного персонала.

Поэтому, чтобы повышать безопасность полёта, решается двудеятельная задача автоматизация контроля надежности и качества АЭА:

- разработка и применение программных моделей АЭА для ужесточения контроля её качества;
- разработка и применение программных моделей АЭА для автоматического контроля качества её работы в различных условиях эксплуатации.

При автоматизации контроля качества АЭА такие модели можно и должно реализовывать на элементной базе микроэлектроники, используя методы и средства цифровой обработки результатов измерений и контроля. Наиболее востребованными до сих пор остаются цифровые сигнальные процессоры и программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС).

Высокие требования национальных и международных стандартов, предъявляемые к надёжности и качеству АЭА позволяют адаптировать её с помощью АСОНИКА для использования такой аппаратуры в аэрокосмической отрасли.

АСОНИКА позволяет моделировать различные физические процессы, которые могут воздействовать на АЭА, с помощью специального программного комплекса, управляющего процессом отображения результатов экспериментов на геометрической модели. В соответствии с пунктом 3.1.2 раздела 3 «Термины и определения» ГОСТ 2.052-2006 «Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Электронная модель изделия. Общие положения»: «...электронная геометрическая модель (геометрическая модель): Электронная модель изделия, описывающая геометрическую форму, размеры и иные свойства изделия, зависящие от его формы и размеров». Программный комплекс АСОНИКА обеспечивает соответствие формата электронного макета АЭА, включающего такую геометрическую модель, требованиям стандарта ГОСТ Р ИСО 10303-1-99 «Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными».

Приведённые в ГОСТ 18675-2012 «Документация эксплуатационная и ремонтная на авиационную технику и покупные изделия

для нее» требования к эксплуатационным и ремонтным документам обеспечивают возможность компьютерного контроля надёжности и качества АЭА методами АСОНИКА при её эксплуатации и ремонте.

Из общего числа эксплуатационных свойств надёжность АЭА является одним из важнейших свойств, которое в значительной степени определяет эффективность применения АЭА по назначению, а также себестоимость ее изготовления. В зависимости от назначения АЭА и условий ее эксплуатации можно и должно характеризовать следующими свойствами:

- безотказностью (свойством АЭА сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки);
- долговечностью (свойством АЭА сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов);
- работоспособностью (свойство АЭА выполнять заданные функции, сохраняя значения параметров в пределах, установленных нормативно-технической документацией);
- ремонтпригодностью (свойством АЭА приспособленности к восстановлению работоспособности после ремонта);
- сохраняемостью (свойством АЭА непрерывно сохранять работоспособность в течение и после хранения и транспортировки).

В соответствии с пунктом 2.11 раздела 2 «Технические требования к методам оценки надёжности технологических систем по параметрам точности» межгосударственного стандарта ГОСТ 27.202-83 «Надёжность в технике. Технологические системы. Методы оценки надёжности по параметрам качества изготавливаемой продукции» при контроле надёжности и качества АЭА «... на этапе изготовления продукции следует использовать, главным образом, опытно-статистические методы...».

Поэтому наиболее успешным может и должен быть контроль надёжности и качества АЭА методами компьютерного моделирования в рамках АСОНИКА.

После эксплуатации АЭА превращается

в отходы, содержащие токсичные вещества, которые представляют собой угрозу жизни и здоровья людей.

Тогда АЭА разделяют на две основные категории:

- АЭА, которое может быть повторно использовано;
- АЭА, которое может быть переработано для целей получения вторичных материальных и энергетических ресурсов.

Все факторы, влияющие на надёжность АЭА, условно можно разделить на две группы: объективные и субъективные (условно, т.е. объективные и субъективные факторы являются совокупным дестабилизирующим фактором). Объективные факторы связаны с влиянием внешней среды, кинематическими, механическими воздействиями и т.д. Субъективные факторы в основном зависят от деятельности человека, поэтому их обобщенно называют человеческим фактором. К ним относятся все мероприятия, связанные с:

- разработкой схемы и конструкции приборов;
- выбором элементной базы и материалов;
- выбором режимов работы приборов и их элементов;
- транспортировкой, эксплуатацией, обслуживанием и хранением.

Условия эксплуатации АЭА усложнены нежелательными воздействиями дестабилизирующих спецфакторов:

- перепады температуры (при работе приборов внутри электронных блоков выделяется дополнительное тепло, повышающее температуру внутри прибора, а при изменении температуры изменяются размеры деталей механизмов, жесткость пружин, электрическое сопротивление проводников, параметры транзисторов, диодов, микросхем, изменяются магнитные свойства радиоэлементов, а также ухудшается изоляция проводов);
- относительная влажность воздуха до 99% (в нижних слоях атмосферы всегда имеются водяные пары, а при увеличении высоты их становится меньше, но при охлаждении они конденсируются в виде влаги, поэтому, высокая относительная влажность

из-за проводимости воды может вызвать короткое замыкание в проводке и внутри самих АЭА);

- плотность воздуха (из-за разрежения воздуха с подъемом самолета снижается надежность некоторых приборов вследствие ухудшения отвода тепла от электрических узлов, а в условиях разреженного воздуха между деталями с различным электрическим потенциалом может возникнуть ионизация, в результате чего произойдет пробой);

- перегрузки при ускорениях, возникающих при выполнении летательным аппаратом виражей и маневров (перегрузки на тяжелых самолетах доходят до 4 относительных единиц, показывающих во сколько раз ускорение, вызвавшее перегрузку, больше ускорения силы тяжести, а на маневренных скоростных – до 10 относительных единиц);

- вибрации с различной амплитудой и частотой от 5 до 2500 Гц, возникающие в результате работы авиационных двигателей и воздействий аэродинамических сил на летательный аппарат.

- одиночные и многократные удары (при взлетах и посадках летательные аппараты подвергаются ударам и тряске со значительной перегрузкой до 15 единиц);

- радиационные излучения (ионизирующие излучения как дестабилизирующий фактор условий эксплуатации АЭА проявляют свое действие в окружающей среде, содержащей источники ионизирующего излучения);

- электромагнитные излучения и электростатические поля.

Поэтому надежность АЭА при выдерживании ими этих дестабилизирующих факторов должна обеспечиваться технологией их производства, включая все этапы её создания, эксплуатации и обслуживания.

Влияние дестабилизирующих факторов можно и должно снижать следующими способами:

- для защиты от влаги применяют различные химические покрытия, а для предохранения от обледенения элементы АЭА, устанавливаемых непосредственно на обшивке самолета, оснащаются электриче-

ским обогревом, так как при замерзании АЭА может становится неработоспособной (АСОНИКА – Т);

- при конструировании АЭА для работы на значительных высотах следует предусматривать хорошую изоляцию электрических цепей (и избегать соседнего расположения в разъемах аппаратуры проводов с большой разностью потенциалов) или применять хорошую герметизацию АЭА (АСОНИКА – ЭМС);

- АЭА необходимо проверять на виброустойчивость во всей полосе частот, которые возможны на летательных аппаратах, причем виброустойчивость АЭА можно обеспечивать выбором собственной частоты упругих колебаний выше частот вибраций летательных аппаратов, (АСОНИКА-В);

- защиту АЭА от значительных перегрузок можно обеспечивать амортизацией либо всей приборной доски, либо конкретной АЭА (АСОНИКА-М, АСОНИКА-В);

- надёжное функционирование АЭА в условиях радиационного излучения можно и должно обеспечивать применением таких средств защиты как композитное радиационно-защитное покрытие АЭА;

- надёжное функционирование АЭА в условиях электромагнитных излучений и электростатических полей можно и должно обеспечивать её экранированием.

Эффект накопленной радиационной дозы может нарушить работу АЭА и привести к исправимому или устойчивому отказу. Для уменьшения воздействия ионизирующего излучения необходимо учитывать конструкцию АЭА и условия её эксплуатации. Предусмотреть возможные последствия воздействия необходимо ещё на первых этапах проектирования АЭА. Перспективная подсистема АСОНИКА-РАД позволяет проводить анализ радиационной стойкости АЭА и оценивать надёжность и качество АЭА при воздействии радиационной накопленной дозы.

Поэтому компьютерное моделирование воздействия на АЭА дестабилизирующих факторов в рамках АСОНИКА способствует повышению безопасности полета летательных аппаратов и позволяет снижать влияние «человеческого фактора» на безопасность их полёта.

Результаты апробации и практического применения компьютерных технологий, разработанных в НИИ «АСОНИКА», подтвердили успешность и полезность автоматизации систем обеспечения надёжности и качества АЭА для снижения финансовых, временных и аппаратно-программных затрат на проверку и подтверждение соответствия ее качества требованиям российских, межгосударственных и международных стандартов и Федеральных авиационных правил РФ [6-7].

Дальнейшее снижение аппаратно-программных затрат на неразрушающий контроль надёжности и качества АЭА с помощью разных подсистем АСОНИКА можно и должно обеспечить использованием методов и средств цифровой обработки результатов измерений и контроля, позволяющих уменьшать вычислительную сложность спецпроцессорной реализации такой обработки на программируемых логических интегральных схемах (ПЛИС) и цифровых сигнальных процессорах [11].

В 2016 г. АСОНИКА зарегистрирована в Реестре отечественного ПО под номером № 1889. Наименование класса по классификатору Реестра: «Информационные системы для решения специфических отраслевых задач».

В 2019 г. Грамоты ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» удостоено исследование методик расчета среднего времени восстановления сложных электронных систем с использованием информационных технологий АСОНИКА, результаты которого были представлены в докладе на XLV Международной молодёжной научной конференции «Гагаринские чтения».

В 2020 г. в ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» создан инжиниринговый Центр «Авионика МАИ», одним из основных направлений работы которого было и остается аппаратно-программное моделирование бортовой АЭА воздушного судна с использованием информационных технологий реализации искусственного интеллекта в авиации. В рамках программы «Приоритет-2030» этот университет реализует стратегический проект «Будущие

аэрокосмические рынки – 2050», который предполагает обеспечение лидерства университета по прорывным технологическим направлениям развития аэрокосмической индустрии.

С 2013 года активно развивается сеть инжиниринговых центров на базе российских университетов.

На сегодняшний день уже созданы и функционируют 76 этих центров и проведено 8 конкурсов на право получения субсидии для развития инжиниринговых центров. Такие центры успешно выполняют научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, а также оказывают инжиниринговые услуги и реализуют программы дополнительного профессионального образования.

Поэтому для дальнейшего развития информационных технологий компьютерного моделирования и виртуальных испытаний надёжности и качества работы АЭА бортового оборудования БПЛА при всевозможных внешних воздействующих факторах целесообразно создать перспективно возможный инжиниринговый центр «АСОНИКА БПЛА» для внедрения в научно-практические разработки авиационной и аэрокосмической техники уникальных информационных технологий, разработанных в ООО «НИИ «АСОНИКА» и одобренных Президентом Российской Федерации Владимиром Владимировичем Путиным на XVIII Международной выставке «Интерполитех». Чтобы в полной мере учесть предложение Президента, можно было бы создать инжиниринговый центр «АСОНИКА БПЛА» как филиал ООО «НИИ «АСОНИКА».

Создание такого центра с целью дальнейшего внедрения и активизации применения АСОНИКА в авиационной и аэрокосмической отраслях российской экономики необходимо и достаточно при дальнейшем решении задач развития информационных технологий АСОНИКА для авиационной техники, АСОНИКА для аэрокосмической техники и АСОНИКА для космической техники с целью повышения надёжности и качества проектируемой АЭА на основе математического моделирования электрических, электромагнитных, радиационных, тепловых, аэродинамических, гидродинамических и

механических (вибраций, ударов, линейных ускорений, акустических шумов) внешних воздействующих факторов.

Виртуальное проектирование на основе АСОНИКА позволяет учитывать взаимосвязь тепловых, механических, электрических факторов при расчёте параметров АЭА как в стационарном, так и в нестационарном режиме её работы. Таким образом, реализуется возможность избежать возникновения возможных отказов разрабатываемой АЭА до выхода её опытного образца за счёт выбора наилучшего варианта конструкции такой аппаратуры. При этом повышается надёжность разрабатываемой АЭА и уменьшаются время и денежные затраты на реализацию проекта, что немаловажно при импортозамещении АЭА в условиях жесткой конкуренции её производителей, поскольку виртуальные испытания на основе АСОНИКА позволяют снизить сроки подготовки разрабатываемой АЭА к производству и сократить число изменений, вносимых в АЭА, а также повысить её надёжность и качество [5-7].

Перспективным направлением работы этого Центра будет компьютерное моделирование и виртуальные испытания АЭА бортового оборудования авиационных и аэрокосмических БПЛА. Совершенствование программно-аппаратного инструментария таких испытаний в инжиниринговом Центре «АСОНИКА БПЛА» станет дальнейшим развитием информационных технологий, разработанных в ООО «НИИ «АСОНИКА».

На базе потенциально возможного инжинирингового центра «АСОНИКА БПЛА» можно было бы образовать нетворкинг НИИ «АСОНИКА» с его партнерами:

- для виртуализации испытаний АЭА бортового оборудования БПЛА при коворкинге научных и производственных предприятий и организаций авиационной и аэрокосмической отраслей российской промышленности в свете цифровой трансформации отечественной экономики;

- для создания цифровых двойников АЭА и проведения их виртуальных испытаний на внешние воздействия в соответствии с правилами установления требований к объектам технического регулирования.

В 2023 г. на совещании по вопросам развития беспилотной авиации Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин заявил, что необходимо ускорить использование цифровых двойников вместо так называемых натуральных испытаний: «... Деятельность цифровой авиации возможна только в цифровой среде, потому нужно шире внедрять созданные с применением российского программного обеспечения ... цифровые платформы ... Такие платформы не только повысят уровень безопасности, они позволят радикально упростить, ускорить ... использование цифровых двойников вместо так называемых натуральных испытаний». Эти идеи Президента РФ ООО «НИИ «АСОНИКА» уже реализует, по своей инициативе и за собственные средства без государственной поддержки, обеспечивая информационную поддержку жизненного цикла АЭА беспилотных летательных аппаратов с использованием системы автоматизированного проектирования (САПР).

Система АСОНИКА много лет используется на предприятиях России, в том числе для космической и авиационной аппаратуры. Тем более, что аналогов АСОНИКА нет как в России, так и за рубежом, что подтверждено официальными документами в Индии, США, Республике Беларусь [6].

Применение подсистем АСОНИКА при разработке, производстве и эксплуатации АЭА для авиационной техники и аэрокосмической техники может и сможет уменьшить риск возникновения нештатных режимов работы бортового оборудования летательных аппаратов из-за тепловых, механических и электромагнитных и радиационных воздействий на его АЭА. Снижение такого риска обеспечивают информационные технологии, разработанные ООО «НИИ «АСОНИКА». Эти информационные технологии позволяют своевременно оценивать надёжность и качество работы АЭА воздушных судов и аэрокосмических аппаратов, но позволит оценивать надёжность и качество работы их АЭА даже в столь маловероятных, но вполне возможных условиях полета, как влияние дестабилизирующих внешних воздействующих факторов при переходе авто-

матической межпланетной станции «Луна-25» на предпосадочную орбиту в 2023 г. перед прилунением.

Внедрение подсистем АСОНИКА на промышленных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской экономики может и должно обеспечить создание высоконадёжной отечественной АЭА с минимально допустимыми затратами и в минимально возможные сроки и позволит достичь технологического суверенитета Российской Федерации, курс на который обозначил её Президент Владимир Владимирович Путин.

Заключение

Автоматизация систем обеспечения надёжности и качества АЭА на основе АСОНИКА обеспечивает возможность виртуализации натурных испытаний этой аппаратуры и сочетания её виртуальных и натурных испытаний в соответствии с указанием Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина, высказанном на совещании по вопросам развития беспилотной авиации в 2023 году.

Реализовать эту возможность позволяет введение в действие национальных стандартов при проектировании.

Основной тренд и перспективное направление этой автоматизации – разработка и применение программных и аппаратных средств обеспечения надёжности и качества АЭА бортового оборудования БПЛА для проведения её виртуальных испытаний в ООО «НИИ «АСОНИКА» и на научно-производственных предприятиях авиационной и аэрокосмической отраслей российской промышленности в соответствии с правилами установления требований к объектам технического регулирования.

Библиография

[1] Подымова О.А., Бурова А.Ю. Автоматизация систем обеспечения надёжности и качества ДЛА // 22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 20-24 ноября 2023 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2023.

[2] Кочетков Н.Ю., Бурова А.Ю. Виртуа-

лизация испытаний электронных компонентов ДЛА программно-аппаратными средствами АСОНИКА // 22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика». 20-24 ноября 2023 года. Москва. Тезисы. – М.: Издательство «Перо», 2023.

[3] Афанасьев В.А., Лебедев В.А., Монахова В.П., Мышелов Е.П., Ножницкий Ю.А. Техническое регулирование и управление качеством. – М.: Книжный дом «Либроком», 2013. – 256 с.

[4] Бурова А.Ю. Сертификация авиационной техники. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 300 с.

[5] Кофанов Ю.Н. Автоматизированная система АСОНИКА в проектировании радиоэлектронных средств: Учебно-методическое пособие. – М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2012. – 58 с.

[6] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учётом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. – М.: Радиотехника, 2013. – 424 с.

[7] Шалумов А. С., Шалумов М. А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. – Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. – 422 с.

[8] Витязев В.В., Витязев С.В., Харин А.В. Многоядерные цифровые сигнальные процессоры платформы TMS320C66xx. Учебное пособие. – Рязань: РГРТУ, 2014. – 181 с.

[9] Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы «ALTERA». Элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 576 с.

[10] Витязев С.В. Цифровые процессоры обработки сигналов. Учебное пособие. – М.: Горячая линия. Телеком, 2017. – 100 с.

[11] Бурова А.Ю. Методы и устройства, позволяющие уменьшать число операций умножения в алгоритмах цифровой обработки сигналов: Монография – М. : Издательство «Доброе слово и Ко», 2023. – 162 с.

[12] Косичкина Т.П., Сперанский В.С. Цифровые сигнальные процессоры и их применение в системах телекоммуникаций и электроники. – М.: Горячая линия. Телеком, 2023. – 312 с.

**Применение методов виртуальной инженерии в
ходе работ по обеспечению стойкости аппаратуры к
воздействию специальных факторов.
Часть 3. Применение САПР АСОНИКА при испытании
аппаратуры, стойкой к воздействию специальных
факторов**

Малютин Николай Васильевич

Профессор, доктор технических наук
mnv220609@mail.ru

Афанасьев Алексей Сергеевич

Начальник Центра военной электроники и электротехники, кандидат технических наук
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

Посысаев Евгений Иванович

Старший научный сотрудник Центра военной электроники и электротехники,
кандидат технических наук
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

Аннотация

В статье рассмотрены примеры проверки обеспечения стойкости к воздействию влияния специальных факторов на аппаратуру.

Ключевые слова: специальные факторы, элементная база, комплектующие изделия, ударная волна и электромагнитный импульс.

**Application of virtual engineering methods in the course of
work to ensure the resistance of equipment to the effects of
special factors.**

**Part 3: The use of CAD ASONICS in the design of equipment
resistant to the effects of special factors**

Malyutin N.V., Afanasiev A.S., Posysaev E.I.

Abstract

The article considers examples of testing the resistance to the influence of special factors on the equipment.

Keywords: special factors, element base, components, shock wave and electromagnetic pulse.

Введение

Значения уровней стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов (СФ), задаётся в техническом задании (ТЗ) на проектирование. Как правило, на этапе

технического проекта выполняют проверку обоснованности выбора ЭРИ, включённых в «Перечень комплектующих изделий» и их режимов работы. Вопросы выбора ЭРИ рассмотрены в части 2 нашего материала,

Таблица 1. Параметры заданных механический воздействий

Воздействующий фактор	Характеристики воздействующего фактора	Значение внешнего воздействующего фактора (ВВФ)	
	Наименование и размерность		
Удар одиночного действия	Время, мс	0-100	101-500 501 – 800
	Ускорение, g	0 -10	10 10 – 0

далее рассмотрим примеры применения САПР АСОНИКА при проверке стойкости аппаратуры к воздействию ударной волны и рекомендации к определению стойкости аппаратуры к воздействию электромагнитного импульса, светового импульса и радиации.

Ударная волна. Расчёт воздействия ударной волны (пример расчёта)

В соответствии с техническим заданием приборы должны обеспечивать эксплуатацию при механическом воздействии ударной волны.

Расчет с помощью подсистемы АСОНИКА-М-3D перемещений, ускорений и напряжений в конструкции блока, зависимостей ускорений в местах крепления печатных узлов от времени (для ударов), а также воздействия давления [2, 3].

Расчёт ударного воздействия на приборы выполнялся с учётом следующих ограничений.

Ударная волна воздействует на боковую поверхность машины с давлением 1 кг/см2. Площадь боковой поверхности машины, подвергающейся наибольшему воздействию ударной волны ЯВ принимаем 10 м2. Максимальное усилие удара на боковую поверхность корпуса машины равно 100 000 кг. Вес машины принимаем равным 10 000 кг. Время воздействия переднего фронта ударной волны – 0,1 сек. Демпфирование колёс на боковой удар машины и смещение машины за этот период времени принимаем равным «0».

В этом случае, можно считать, что на боковую поверхность машины воздействует одиночный удар в 10g.

Прибор установлен внутри объёмного тела на платформе (стол) длиной (параллельно большой стенки), жёстко связанной

с конструкцией объёмного тела. На этой платформе установлен прибор.

В соответствии с техническим заданием блок должен быть рассчитан для надёжной эксплуатации при механическом воздействии окружающей среды, относительно ударных нагрузок согласно требованиям технического задания (ТЗ).

Расчет с помощью подсистемы АСОНИКА-М-3D перемещений, ускорений и напряжений в конструкции блока, зависимостей ускорений в местах крепления печатных узлов от времени (для ударов). Параметры заданных механический воздействий представлены в таблице 1. Ударно-импульсное нагружение оценивается по трем взаимно перпендикулярным направлениям, как показано на рисунке 1:

- оси X и Y находится в горизонтальной плоскости;
- положительная Ось Z соответствует вертикальной оси указывает вниз.

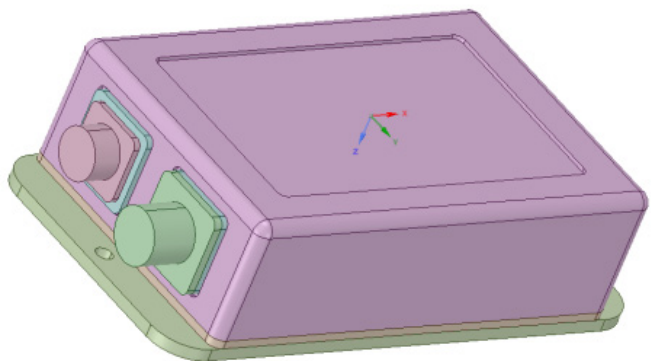


Рисунок 1 – Внешний вид конструкции блока

Расчет ведется по упрощенной 3D модели.

При расчете учитываются массы электронных модулей и компонентов, устанавливаемых внутри блока.

Механическая прочность электронных модулей и компонентов, входящих в состав

блока, не рассматривается.

Блок представляет собой прямоугольную конструкцию. Блок включает в себя основание, корпус, два внешних разъема, электронную сборку модуля питания. Блок имеет точки крепления, которые показаны на рисунках 2-4.

Корпус блока изготовлен из материала АМг 6 ГОСТ 21631-76.

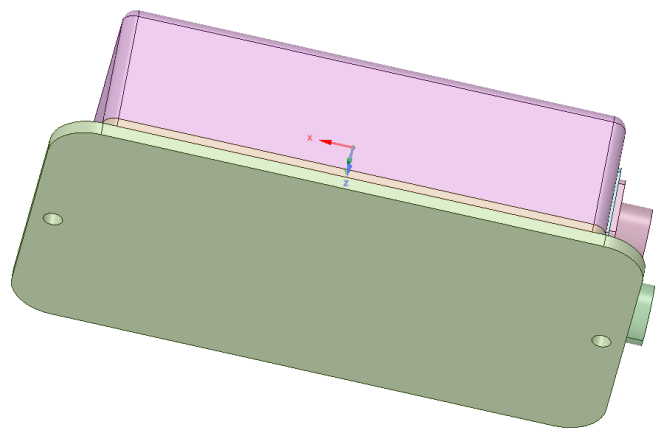


Рисунок 2 – Точки внешних креплений (а, б)

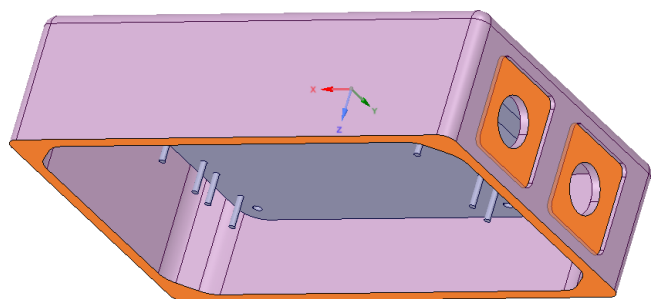


Рисунок 3 – Области креплений деталей блока к корпусу

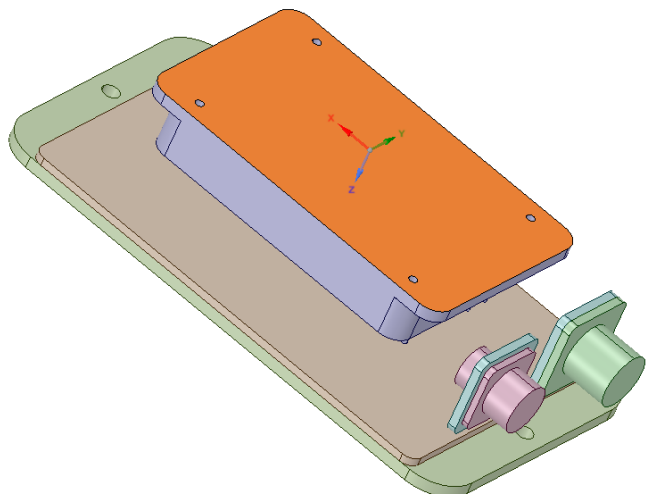


Рисунок 4 – Область креплений модуля питания к корпусу блока

Описание входных конструктивных данных

На рисунке 5 представлена модель конструкции блока, загруженная в подсистему АСОНИКА-М-3D.

Далее модель разбивается на конечные элементы. Сетка конечных элементов представлена на рис. 6.

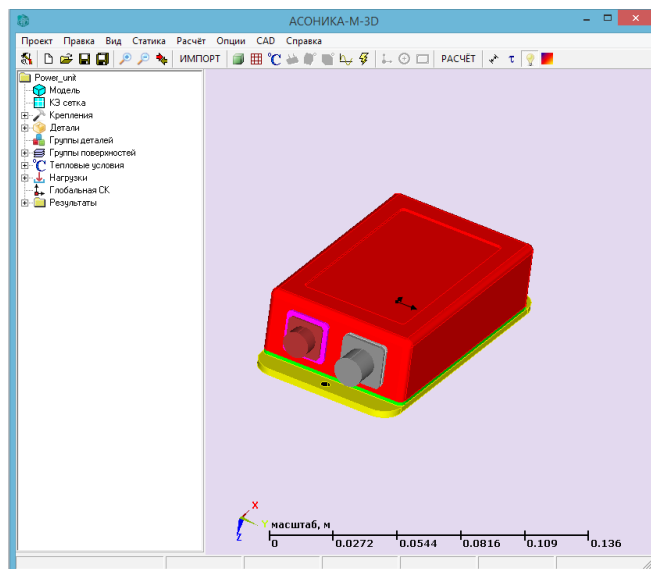


Рисунок 5 – Общий вид импортированной модели

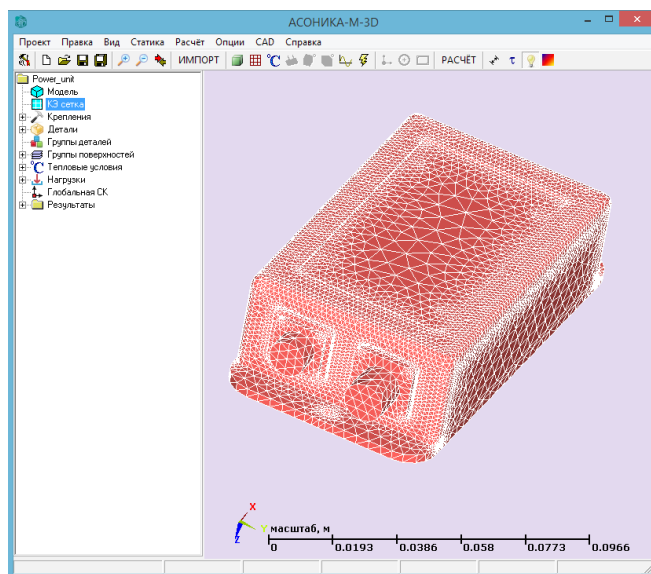


Рисунок 6 – Конечно-элементная сетка блока

Перед импортированием конструкции блока в подсистему АСОНИКА-М-3D в нее вносятся некоторые упрощения, такие как скрытие некоторых электронных компонентов, удаление скруглений, фасок, крепежных элементов и отверстий, а также мелких

деталей, которые не оказывают влияния на точность результатов моделирования.

Без упрощения длительность расчета значительно возрастает, так как количество конечных элементов достигает нескольких миллионов. Для таких моделей недостаточно производительности используемых компьютеров, прежде всего частоты процессора и оперативной памяти.

Результаты моделирования при воздействии ударной волны
Проводилось последовательно три расче-

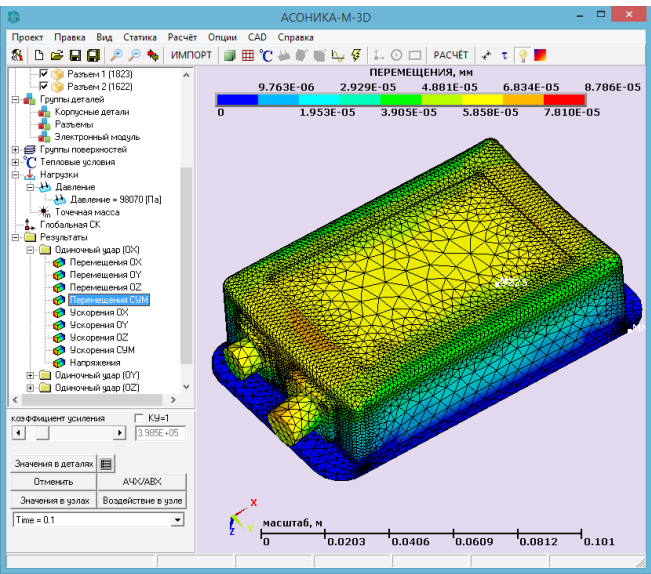


Рисунок 7 – Поле суммарных перемещений для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

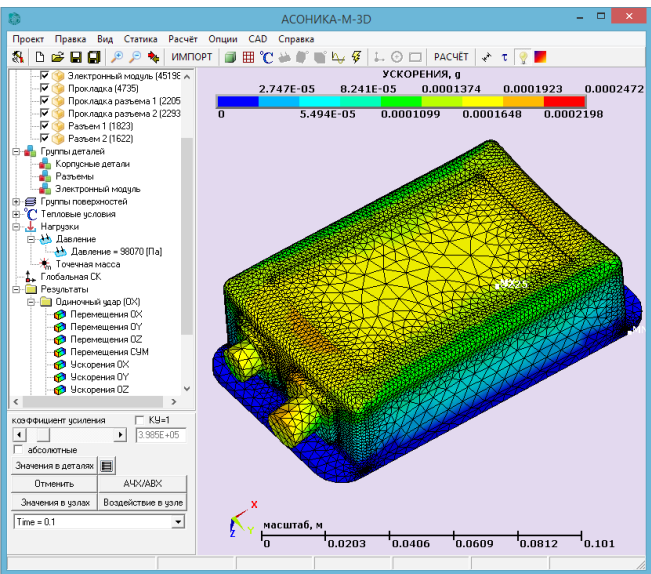


Рисунок 8 – Поле суммарных ускорений для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

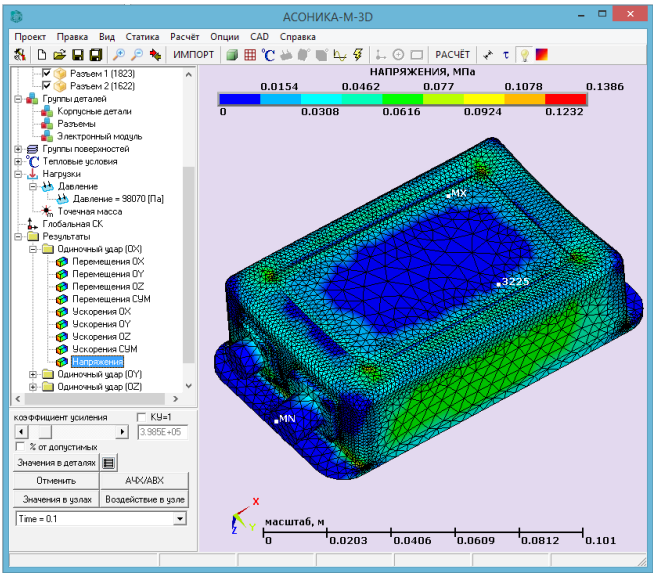


Рисунок 9 – Поле эквивалентных механических напряжений для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

та для каждого из направлений ударного воздействия по осям Ox, Oy и Oz соответственно.

На рисунках 7-9 представлены поля суммарных перемещений, ускорений и эквивалентных механических напряжений в конструкции блока при заданном ударном воздействии по оси OX.

Далее представлены максимальные и минимальные значения суммарных перемещений, ускорений и эквивалентных напряжений для ударного воздействия, заданного по оси OX, в момент времени 0,1 сек для групп деталей:

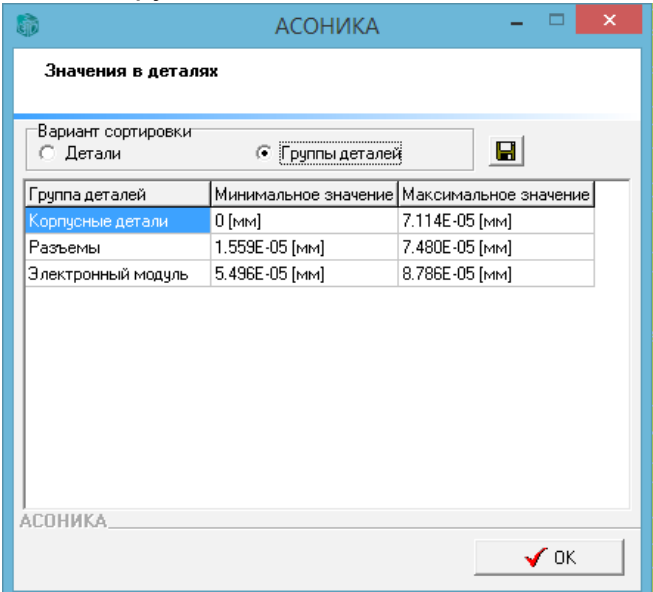


Рисунок 10 – Значения суммарных перемещений в деталях для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

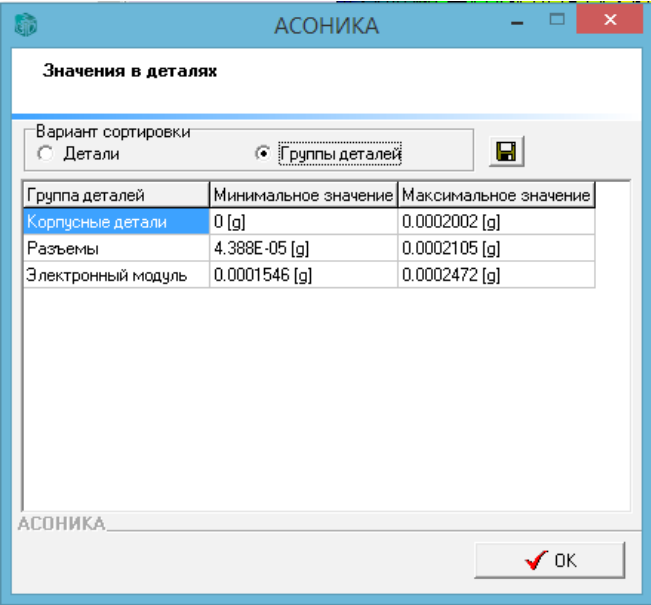


Рисунок 11 – Значения суммарных ускорений в деталях для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

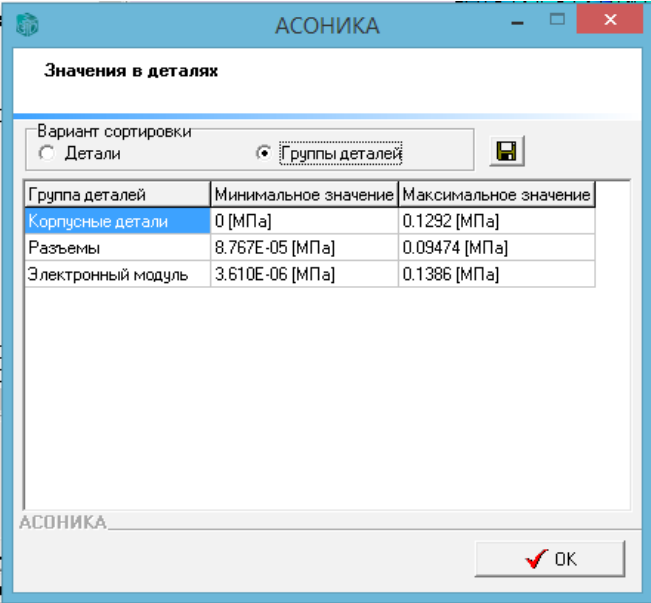


Рисунок 12 – Значения эквивалентных механических напряжений в деталях для воздействия вдоль оси OX в момент времени 0,1 сек

Далее строятся поля суммарных перемещений, ускорений и эквивалентных механических напряжений в конструкции блока при заданном ударном воздействии по осям OY и OZ.

В таблице 2 приведено сравнение расчетных максимальных механических напряжений в группах деталей с допустимым пределом прочности при ударной волне.

Таблица 2. Максимальные эквивалентные напряжения в деталях

Деталь	Материал	Предел прочности материала [МПа]	Расчетное максимальное значение [МПа]
Корпус	АМг 6 ГОСТ 21631-76	300	0,41
Основа	АМг 6 ГОСТ 21631-76	300	0,21
Электронный модуль	Текстолит	80	0,14
Разъем 1	Сталь 3 ГОСТ 380-2005	370	0,20
Разъем 2	Сталь 3 ГОСТ 380-2005	370	0,17

Выводы

Согласно таблице 2, **расчетные напряжения в конструкции** при воздействии ударной волны **не превышают допустимые значения**.

Таким образом, из примера видно, что если приборы крепятся к конструкции носителя непосредственно, то расчёты стойкости сводятся в базе АСОНИКА к расчёту одиночного удара. Если приборы крепятся к конструкции носителя через амортизаторы, то очевидно надо воспользоваться подсистемой АСОНИКА – В [2, 3], произвести расчёт коэффициента демпфирования и учесть его в дальнейших расчётах.

Электромагнитный импульс (ЭМИ)

Подсистема АСОНИКА – ЭМС [2, 3] позволяет выполнять полный комплекс расчётов при воздействии ЭМИ на прибор:

- защита корпуса от электромагнитных волн;
- наводки на внешние кабели прибора;
- наводки внутри прибора.

В поддержку этого НИИ АСОНИКА раз-



Рисунок 13 – Подсистема АСОНИКА – ЭКБ

работал соответствующий ГОСТ Р.

Расчёт радиационной и световой стойкости

Подсистема АСОНИКА – ЭКБ (рисунок 13) может быть дополнена данными в части свойств радиационной и температурной стойкости ЭРИ и материалов [1, 2].

Возможно выполнение НИР для разработки ТЗ на создание соответствующих подсистем в АСОНИКА.

Библиография

[1] Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио

и связь, 1988. 296 с.

[2] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.

[3] Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Кофанова Ю.Н., Малютина Н.В., Шалумова А.С. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.

[4] Перспективы создания цифрового двойника изделия при разработке робототехнических комплексов. Малютин Н.В., Шалумов А.С., Чижиков М.Д., Еретин Ю.Е., «Робототехника и техническая кибернетика» 2021, 4, с. 32-42.

Фитоосвещение ТМ RATEP

Смирнов Антон Олегович

АО «РАТЕП»

okt@ratep.ru

Аннотация

В рамках реализации программы диверсификации с 2018 года АО «РАТЕП» совместно с Концерном ВКО «Алмаз – Антей», в состав которого входит предприятие, начало проект по разработке высокотехнологичного светодиодного оборудования.

Phytolighting TM RATEP

Smirnov A.O.

Abstract

As part of the implementation of the diversification program, since 2018, JSC RATEP, together with the Almaz-Antey Air Defense Concern, of which the enterprise is a part, has launched a project to develop high-tech LED equipment.

Сегодня в линейке представлено более 10000 светильников для уличного, промышленного, административно-офисного, складского, дорожного, жилищно-коммунального и агарного освещения.

В настоящий момент наиболее перспективным направлением развития является фитоосвещение как высоко востребованная продукция на рынке.

РАТЕП Фито – серия светодиодных энергосберегающих светильников, предназначенных для освещения промышленных теплиц и оранжерей. Конструкция светодиодного светильника РАТЕП Фито специально разработана для использования в условиях повышенной влажности и температуры в теплицах. В светильниках для теплиц серии Фито используются высокоэффективные светодиоды последнего поколения, надежные источники питания и электротехнические компоненты. Массивный корпус светильника выполнен из анодированного алюминия и обеспечивает полноценный отвод тепла в условиях эксплуатации в закрытых помещениях. Срок службы светильников составляет до десяти лет.

Возможно: как параллельное соединение светильников для достижения мак-

симальной плотности светового потока на единицу площади, так и их линейное соединение там, где требуется осветить протяженные ряды растений. Светильники можно использовать как для досветки, так и для полной замены естественного освещения, например, при выращивании растений в закрытых помещениях.

Продукция АО «РАТЕП» – это энергоэффективное световое решение для тепличных комплексов. В ассортименте фитосветильников предприятия представлены: фитосветильник для межрядной досветки; потолочный светильник для основного освещения; светильник для выращивания и досветки ягод, овощей и цветов; линейный фитосветильник для стеллажей и теплиц.

В декабре 2023 года предприятие поставило опытную партию светильников торговой марки РАТЕП в крупный тепличный комплекс городского округа Серпухов Московской области для анализа влияния светодиодного фитосветильника на сельскохозяйственную культуру томата «черри кубовидный».

В результате за месяц работы опытной партии фитосветильников РАТЕП-Фито по сравнению с предыдущим периодом уро-

жайность выросла на 16.7%, вес среднего томата – на 11.1%, время созревания сократилось на 8.9%, содержание сахара увеличилось на 18.2%.

Во время опытной эксплуатации светодиодного фитосветильника РАТЕП-Фито был выявлен ряд преимуществ:

- увеличение урожайности. Фитосветильник РАТЕП Фито дополнит естественный дневной свет, за счет чего повысится эффективность фотосинтеза, повысится качество растений и, как следствие увеличится урожайность культур;

- контроль роста. Благодаря постоянной искусственной засветке РАТЕП Фито достигается максимальный эффективный контроль над ростом выращиваемых растений;

- повышение вкусовых и эстетических качеств растений. С помощью РАТЕП Фито повысится положительный эффект в развитии выращиваемых культур.

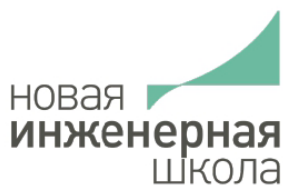
Светильник эффективно дополняет естественный свет синим спектром, предназначенным для стимулирования роста растений, а красный спектр стабилизирует и улучшает качество и урожайность растений. За счет пониженной температуры

светильник обеспечивает возможность подсветки внутри кроны и междурядной подсветки без риска для растений.

Для теплового расчета была применена программа САПР FlowVision. В результате была уменьшена масса прототипа, и получены правильные весогабаритные характеристики для серийного изделия. 3D-моделирование производилось в программе САПР SolidWorks, что позволило сократить время на разработку в 3 раза.

В сентябре 2024 года светодиодный светильник РАТЕП-Фито стал победителем Московского регионального этапа Всероссийского конкурса Программы «100 лучших товаров России – 2024» в номинации «Продукция производственно-технического назначения», что подтверждает высокое качество производимого АО «РАТЕП» оборудования.

Фитосветильник производства АО «РАТЕП» имеет большой научный задел. Уникальная конструкция корпуса позволила использовать его в новых разработках, таких как фитоосвещение для культуры «салат», основное (верхнее) фитоосвещение в тепличных комплексах в качестве альтернативы натриевым лампам.



НОВАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА

Новый уровень дополнительного профессионального образования для специалистов радиоэлектронной промышленности России

Текущий этап развития России и его глобальный контекст предъявляют особые требования к отечественной радиоэлектронной промышленности, разрабатываемым и производимым ею изделиям электронной техники, предназначенным как для гражданских нужд, так и для целей повышения обороноспособности страны. Неслучайно совещание Совета безопасности с участием Президента России Владимира Путина, прошедшее 24 марта 2023 года, было посвящено вопросам развития именно этой отрасли.

Новая Инженерная Школа при создании в 2009 году выбрала в качестве миссии содействие росту глобальной технологической конкурентоспособности и безопасности России путем повышения квалификации разработчиков и конструкторов радиоэлектронного оборудования, а также технологов производств изделий электроники. За прошедшие годы обучение в наших классах прошли несколько тысяч слушателей из более, чем 300 предприятий.

Новая Инженерная Школа реализует эту миссию, организуя краткосрочные курсы повышения квалификации (16–24 академических часа) по следующим направлениям:

- ✓ Технологии электромагнитной совместимости;
- ✓ Технологии проектирования и производства электроники;
- ✓ Обеспечение надежности и стойкости радиоэлектронных средств;
- ✓ Космическое радиоаппаратостроение;
- ✓ Стратегическое развитие.

Новая Инженерная Школа – признанный лидер по подготовке кадров в области обеспечения электромагнитной совместимости электронной техники. Кроме проведения курсов повышения квалификации, мы инициировали и 15 лет поддерживаем издание книжной серии «Библиотека ЭМС», а также издаем журнал «Технологии ЭМС» (входит в Перечень рецензируемых научных изданий, утвержденный Высшей аттестационной комиссией).

Основоположниками научной и образовательной деятельности Новой Инженерной Школы являются известнейшие эксперты, профессора и доктора наук – Л.Н.Кечиев (МИЭМ), А.М.Медведев (МАИ), В.И.Бутин (МИФИ). Все преподаватели школы имеют подтвержденный научный, практический и педагогический опыт.

За годы работы сформировались конкурентные преимущества Новой Инженерной Школы:

- ✓ Специализация на актуальных научно-технических вопросах разработки электронной техники;
- ✓ Фокус на содействии в решении конкретных профессиональных задач, стоящих перед слушателями;
- ✓ Гибкость форматов организации курсов (офлайн и онлайн, в нашем учебном центре и на предприятии) в зависимости от потребностей организаций-заказчиков и слушателей;
- ✓ Консультативный характер занятий, обеспечивающий не только диалог с преподавателем, но и обмен мнениями между слушателями.

Новая Инженерная Школа проводит курсы повышения квалификации на основе бессрочной лицензии на образовательную деятельность, выданной Департаментом науки и образования города Москвы. Занятия проводятся в собственном учебном центре в Москве в районе м. Ботанический сад.

Сайт: www.nesch.ru

Телефон: +7 499 504 16 18

E-mail: info@nesch.ru

КУРСЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

**Профессиональное развитие инженеров, технологов,
разработчиков и конструкторов производственных предприятий
машиностроения и приборостроения**

**Курсы по направлению «Технологии
электромагнитной совместимости»**

1. Обеспечение ЭМС изделий современной техники
2. Проектирование печатных плат быстродействующих цифровых систем
3. Экранирование технических средств и экранирующие системы
4. Схемотехнические методы обеспечения ЭМС
5. Разработка высокоскоростных устройств и систем передачи данных
6. Мощный электромагнитный импульс: воздействия на электронные средства и методы защиты
7. Сертификация и испытания по ЭМС
8. Создание испытательной лаборатории ЭМС
9. Практический семинар «Испытания ЭМС»
10. Методы и средства измерений в области ЭМС
11. Методы обеспечения межсистемной ЭМС
12. Защита электронных устройств от воздействия статического электричества
13. Основы обеспечения ЭМС космических аппаратов
14. Сертификация железнодорожной продукции по требованиям ЭМС

**Курсы по направлению
«Технологии электроники»**

1. Основы электроники
2. Основы аналого-цифровой схемотехники
3. Источники питания
4. Основы устройства ЭКБ
5. Основы технологии производства ЭКБ
6. Приборы СВЧ диапазона. Устройство, средства и методы измерения
7. Прикладная акустика

**Курсы по направлению
«Стойкость и надежность РЭС»**

1. Обеспечение надежности электронных средств при проектировании
2. Обеспечение радиационной стойкости изделий электронной техники
3. Проектирование комплектов ЗИП
4. Методы автоматизированного моделирования РЭС на механические воздействия
5. Методы автоматизированного моделирования РЭС на тепловые воздействия
6. Методы создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий по результатам комплексного моделирования физических процессов в РЭС

**Курсы по направлению
«Космическое радиоаппаратостроение»**

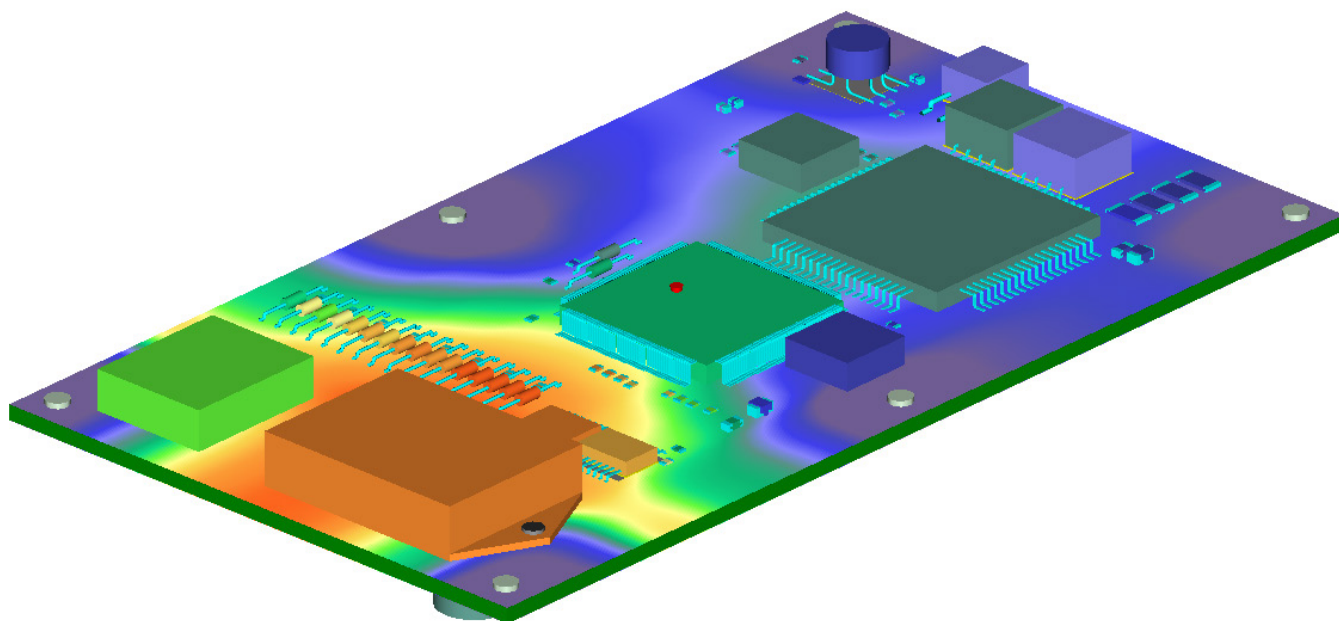
1. Фиксированная спутниковая связь. Принципы проектирования, построение систем и средств
2. Основы современного системного проектирования бортовых радиокомплексов спутниковой связи
3. Технологии спутниковой связи. Рассмотрение и решение типовых задач (практический курс)

**Курсы по направлению
«Стратегическое развитие»**

1. Разработка стратегии компании, находящейся в стадии трансформации

АСОНИКА – наиважнейший инструмент в политике Президента РФ В.В. Путина по достижению технологического суверенитета России в области электроники

als@asonika-online.ru



27.04.2023 на совещании по вопросам развития беспилотной авиации **Владимир Путин** призвал шире внедрять созданные с применением российского программного обеспечения цифровые платформы, которые позволят радикально упростить, ускорить **использование цифровых двойников вместо натуральных испытаний**.

Научный коллектив ООО «НИИ «АСОНИКА», который непрерывно реализует эту задачу уже 44 года, начиная с 1979 года, предлагает российской промышленности готовый и апробированный инструмент для использования цифровых двойников электроники вместо натуральных испытаний согласно [ГОСТ Р 70201-2022 \[1\]](#), а также обучение этому инструменту и услуги по проведению с помощью этого инструмента виртуальных испытаний электроники на внешние воздействия и надёжность:

1. Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА.

2. Ускоренное обучение проведению виртуальных испытаний электроники с помощью системы АСОНИКА.

3. Платные расчёты (виртуальные испытания) с помощью системы АСОНИКА по заказам предприятий.

Рассмотрим более подробно.

1. Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА (www.asonika-online.ru) – это единственная уцелевшая со времён СССР система автоматизированного проектирования и виртуальных испытаний электроники, которая сейчас активно развивается и не имеет аналогов как в России, так и за рубежом. АСОНИКА позволяет прогнозировать и предотвращать потенциальные дефекты и отказы электроники, обеспечивать её высокие показатели надёжности в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов на этапе автоматизированного проектирования при одновременном значительном снижении временных и стоимостных показателей за счёт существенного сокращения количества натурных испытаний.

Рекомендации при выборе подсистем системы АСОНИКА.

В настоящее время требованиям **национальных стандартов [1 – 26]** соответствует только система АСОНИКА, которая предназначена для анализа и обеспечения стойкости электронной аппаратуры (ЭА) и электронной компонентной базы (ЭКБ) к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надёжности ЭА и создания цифровых двойников ЭА и ЭРИ.

АСОНИКА аттестована Министерством обороны РФ и рекомендуется руководящими документами Министерства обороны РФ для применения в процессе проектирования ЭА и замены испытаний на ранних этапах проектирования (до изготовления опытного образца): <https://asonika-online.ru/certificates/>

АСОНИКА – победитель конкурсного отбора конкурентоспособных отечественных решений, преимущественно на базе «сквозных» цифровых технологий, рекомендуемых к тиражированию в субъектах Российской Федерации, в номинации «Цифровое проектирование и моделирование» по заключению Аналитического Центра при Правительстве РФ в 2020 г.: <https://asonika-online.ru/news/435/>

В соответствии с Приказом Минкомсвязи России № 455 от 22.09.2016 сведения о программном обеспечении АСОНИКА включены в единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных. Ссылка на официальном сайте Минкомсвязи России: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/303239/?sphrase_id=702856

В соответствии с **ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 [21]**, **ГОСТ Р 70201-2022 [1]**, **ГОСТ Р 70293-2022 [5]** конечной целью виртуальных испытаний является обеспечение требуемых показателей надёжности электронных шкафов, блоков и узлов ЭА в условиях внешних дестабилизирующих воздействий на основе комплексной модели надёжности.

Исходные данные для расчёта надёжности автоматически передаются из карт рабочих режимов (КРР) ЭКБ в соответствии с **ГОСТ Р 70293-2022 [5]** и **ГОСТ Р 70292-2022 [4]**.

Температуры и ускорения ЭРИ автоматически передаются в КРР ЭКБ по результатам моделирования физических процессов в ЭА в соответствии с **ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20]** и **ГОСТ Р 70293-2022 [5]**.

Таким образом, согласно **ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20]** и **ГОСТ Р 70293-2022 [5]**, анализ показателей надёжности включает в себя:

1. Обеспечение стойкости ЭА к внешним воздействиям.
2. Создание КРР ЭКБ.
3. Обеспечение показателей надёжности ЭА с учетом реальных режимов работы ЭКБ.

В расчётах используется база данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надёжностным параметрам, соответствующая **ГОСТ Р 60.0.7.5-2020 [23]**.

АСОНИКА имеет в своём составе подсистемы, позволяющие решать следующие задачи:

1. Обеспечение стойкости электроники к тепловым и механическим воздействиям:

Минимальный набор:

АСОНИКА-М-3D – шкафы, блоки, ЭКБ – импорт конструкций шкафов, блоков, ЭКБ из CAD-систем в стандартных форматах STEP, IGES;

Соответствует ГОСТ Р 70911-2023 [8], ГОСТ Р 70912-2023 [9], ГОСТ Р 70913-2023 [10], ГОСТ Р 70914-2023 [11], ГОСТ Р 70915-2023 [12], ГОСТ Р 70975-2023 [13], ГОСТ Р 71130-2023 [14], ГОСТ Р 71131-2023 [15], ГОСТ Р 71132-2023 [16], ГОСТ Р 71133-2023 [17], ГОСТ Р 71134-2023 [18], ГОСТ Р 71135-2023 [19], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 536-2021 [25], ПНСТ 535-2021 [26].

АСОНИКА-ТМ – печатные узлы – импорт из САПР печатных плат в стандартном формате IDF;

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20].

АСОНИКА-БД – база данных параметров ЭКБ и материалов, необходимых для моделирования.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.5-2020 [23].

Дополнительно:

АСОНИКА-Т: тепловой расчёт произвольной конструкции, 3D-модель которой ещё отсутствует. В подсистему входит специализированный графический интерфейс, который позволяет ускоренно создавать тепловую модель.

Соответствует ГОСТ Р 70913-2023 [10], ГОСТ Р 70915-2023 [12], ГОСТ Р 71131-2023 [15], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 535-2021 [26].

АСОНИКА-УСТ: проводится расчёт усталостной прочности ЭКБ, установленной на печатной плате, при механических и тепловых воздействиях. При этом импортируется уже созданная в АСОНИКА-ТМ конструкция печатного узла.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20].

АСОНИКА-В: расчёт и оптимизация системы виброизоляции. В подсистему входит специализированный графический интерфейс, который позволяет ускоренно создавать модель конструкции на виброизоляторах.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 536-2021 [25].

АСОНИКА-М: расчёт типовой конструкции блока, 3D-модель которой ещё отсутствует, на механические и тепловые воздействия. В подсистему входит специализированный графический интерфейс, который позволяет ускоренно создавать тепловую и механическую модели.

Соответствует ГОСТ Р 70911-2023 [8], ГОСТ Р 70912-2023 [9], ГОСТ Р 70913-2023 [10], ГОСТ Р 70914-2023 [11], ГОСТ Р 70915-2023 [12], ГОСТ Р 70975-2023 [13], ГОСТ Р 71132-2023 [16], ГОСТ Р 71133-2023 [17], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 536-2021 [25].

АСОНИКА-М-ШКАФ: расчёт типовой конструкции шкафа, 3D-модель которой ещё отсутствует, на механические и тепловые воздействия. В подсистему входит специализированный графический интерфейс, который позволяет ускоренно создавать тепловую и механическую модели.

Соответствует ГОСТ Р 70911-2023 [8], ГОСТ Р 70912-2023 [9], ГОСТ Р 70913-2023 [10], ГОСТ Р 70914-2023 [11], ГОСТ Р 70915-2023 [12], ГОСТ Р 70975-2023 [13], ГОСТ Р 71132-2023 [16], ГОСТ Р 71133-2023 [17], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 536-2021 [25].

АСОНИКА-ИД: подсистема идентификации физико-механических параметров моделей ЭА и ЭКБ.

2. Обеспечение стойкости ЭА к электромагнитным воздействиям»:

АСОНИКА-ЭМС – шкафы, блоки, ЭКБ – импорт конструкций шкафов, блоков, ЭКБ из САД-систем в стандартных форматах STEP, IGES.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 [22].

3. Создание карт рабочих режимов ЭКБ:

АСОНИКА-Р: исходные данные импортируются из АСОНИКА-БД и АСОНИКА-ТМ.

Соответствует ГОСТ Р 70292-2022 [4], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20].

4. Обеспечение показателей надёжности ЭА с учетом реальных режимов работы ЭКБ:

АСОНИКА-Б: исходные данные импортируются из АСОНИКА-БД и АСОНИКА-Р.

Соответствует ГОСТ Р 70293-2022 [3], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 [21].

5. Создание цифрового двойника электроники:

АСОНИКА-ЦДЭ: исходные данные импортируются из всех подсистем системы АСОНИКА.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20].

2. Ускоренное обучение проведению виртуальных испытаний электроники с помощью системы АСОНИКА на базе первого и единственного в России **Центра компетенций «АСОНИКА»** в области моделирования и виртуальных испытаний электронной компонентной базы и электронной аппаратуры на внешние воздействия (<http://asonika-online.ru/centr-kompetencij-asonika/>), созданного в г. Владимире в 2018 году, как структурное подразделение ООО «НИИ «АСОНИКА».

3. Платные расчёты (виртуальные испытания) по заказам предприятий:

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 70911-2023 [8], ГОСТ Р 70912-2023 [9], ГОСТ Р 70914-2023 [11], ГОСТ Р 70975-2023 [13], ГОСТ Р 71130-2023 [14], ГОСТ Р 71132-2023 [16], ГОСТ Р 71133-2023 [17], ГОСТ Р 71134-2023 [18], ГОСТ Р 71135-2023 [19], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 536-2021 [25]:

- определение собственных частот;
- на отсутствие резонансных частот в заданном диапазоне частот;
- на воздействие статических нагрузок (гравитации, давления, распределения температур);
- на виброустойчивость и вибропрочность воздействием синусоидальной или случайной широкополосной вибрации;
- на ударную устойчивость и ударную прочность при воздействии одиночного механического удара;
- на ударную устойчивость и ударную прочность при воздействии многократного механического удара;
- на воздействие линейного ускорения;
- на воздействие акустического шума;
- на воздействие синусоидальной вибрации с повышенной амплитудой ускорения (в критических режимах, в том числе невозпроизводимых при натурных испытаниях);
- на воздействие случайной широкополосной вибрации с повышенной спектральной плотностью ускорения (в критических режимах, в том числе невозпроизводимых при натурных испытаниях);

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 70913-2023 [10], ГОСТ Р 70915-2023

[12], ГОСТ Р 71131-2023 [15], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ПНСТ 537-2021 [24], ПНСТ 535-2021 [26]:

- на воздействие повышенной рабочей температуры среды;
- на воздействие повышенной предельной температуры среды;
- на воздействие пониженной рабочей температуры среды;
- на воздействие пониженной предельной температуры среды;
- на воздействие изменения температуры среды;

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 [22]:

- Испытание на электромагнитную совместимость (ЭМС);

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 70293-2022 [3], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20], ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 [21]:

- Испытание на надёжность с учетом тепловых и механических воздействий.

По результатам виртуальных испытаний в системе АСОНИКА создаются карты рабочих режимов ЭКБ согласно ГОСТ Р 70292-2022 [4], а также создаётся электронная модель изделия согласно ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [20].

Перечень используемых национальных стандартов:

Разработаны ООО «НИИ «АСОНИКА» в рамках ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»:

1. ГОСТ Р 70201-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Оптимальное сочетание натурных и виртуальных испытаний электроники на надёжность и внешние воздействующие факторы. Требования и порядок проведения при выполнении технического задания на НИОКР (Утвержден 07 июля 2022 г. Приказ № 579-ст Введен в действие с 01.08.22)

2. ГОСТ Р 70290-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Термины и определения (Утвержден 18 августа 2022 г. Приказ № 782-ст Введен в действие с 01.10.22)

3. ГОСТ Р 70291-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной аппаратуры (Утвержден 18 августа 2022 г. Приказ № 783-ст Введен в действие с 01.10.22)

4. ГОСТ Р 70292-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема автоматизированного создания карт рабочих режимов электронной компонентной базы (Утвержден 18 августа 2022 г. Приказ № 784-ст Введен в действие с 01.10.22)

5. ГОСТ Р 70293-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема автоматизированного анализа показателей надёжности электронной аппаратуры (Утвержден 18 августа 2022 г. Приказ № 785-ст Введен в действие с 01.10.22)

6. ГОСТ Р 70607-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования печатных узлов (Утвержден 27 декабря 2022 г. Приказ № 1673-ст Введен в действие с 01.02.23)

7. ГОСТ Р 70608-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Состав и структура системы автоматизированного проектирования электронной компонентной базы (Утвержден 27 декабря 2022 г. Приказ № 1674-ст Введен в действие с 01.02.23)

8. ГОСТ Р 70911-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие одиночного механического удара (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 809-ст Введен в действие с 01.10.23)

в действие с 01.10.23)

9. ГОСТ Р 70912-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие акустического шума (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 810-ст Введен в действие с 01.10.23)

10. ГОСТ Р 70913-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на стационарные тепловые воздействия (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 811-ст Введен в действие с 01.10.23)

11. ГОСТ Р 70914-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие случайной вибрации (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 812-ст Введен в действие с 01.10.23)

12. ГОСТ Р 70915-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на нестационарные тепловые воздействия (Утвержден 06 сентября 2023 г. Приказ № 813-ст Введен в действие с 01.10.23)

13. ГОСТ Р 70975-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие синусоидальной вибрации (Утвержден 05 октября 2023 г. Приказ № 1073-ст Введен в действие с 16.10.23)

14. ГОСТ Р 71130-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие акустического шума (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1504-ст Введен в действие с 01.01.24)

15. ГОСТ Р 71131-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на стационарные тепловые воздействия (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1505-ст Введен в действие с 01.01.24)

16. ГОСТ Р 71132-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие статических нагрузок (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1506-ст Введен в действие с 01.01.24)

17. ГОСТ Р 71133-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие линейного ускорения (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1507-ст Введен в действие с 01.01.24)

18. ГОСТ Р 71134-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1508-ст Введен в действие с 10.12.23)

19. ГОСТ Р 71135-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие многократного механического удара (Утвержден 30 ноября 2023 г. Приказ № 1509-ст Введен в действие с 01.01.24)

Разработаны ООО «НИИ «АСОНИКА» в рамках ТК 141 «Робототехника»:

20. ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 Роботы и робототехнические устройства. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жиз-

ненного цикла (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1401-ст Введен в действие с 01.03.21*)

21. ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 Роботы и робототехнические устройства. Метод математического моделирования показателей надежности и виртуализации испытаний на надежность базовых элементов робототехнических комплексов при проектировании (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1402-ст Введен в действие с 01.03.21*)

22. ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 Роботы и робототехнические устройства. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на электромагнитные воздействия при проектировании (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1403-ст Введен в действие с 01.03.21*)

23. ГОСТ Р 60.0.7.5-2020 Роботы и робототехнические устройства. Методы построения баз данных электрорадиоизделий и конструкционных материалов для математического моделирования и виртуализации испытаний базовых элементов робототехнических комплексов на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1404-ст Введен в действие с 01.03.21*)

Разработаны ООО «НИИ «АСОНИКА» в рамках ТК 194 «Кибер-физические системы»:

24. ПНСТ 537-2021 Умное производство. Технология математического моделирования и виртуализации испытаний изделий на внешние воздействующие факторы на всех этапах жизненного цикла. Общие требования (*Утвержден 9 февраля 2021 г. Приказ № 21-пнст Введен в действие с 01.07.21*)

25. ПНСТ 536-2021 Умное производство. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний изделий на механические воздействия при проектировании. Общие требования (*Утвержден 9 февраля 2021 г. Приказ № 20-пнст Введен в действие с 01.07.21*)

26. ПНСТ 535-2021 Умное производство. Методы математического моделирования и виртуализации испытаний изделий на тепловые воздействия при проектировании. Общие требования (*Утвержден 9 февраля 2021 г. Приказ № 19-пнст Введен в действие с 01.07.21*)

– Выход следующего номера журнала «САПР электроники» будет осуществлён по мере появления новых реальных результатов в области отечественных САПР электроники.

– Статьи принимаются постоянно.

– Материалы статей в свободной форме направляются по электронной почте SAPRelektroniki@mail.ru

ПОДПИСКА

Желающие регулярно получать на свою электронную почту уведомления о выходе очередного номера журнала направляют простое письмо по электронной почте SAPRelektroniki@mail.ru

Тема письма: Подписка

В тексте письма: Хочу подписаться на журнал «САПР электроники».

Ф.И.О., место работы и должность, электронная почта.

Все номера журнала находятся в свободном доступе на официальном сайте журнала: <https://asonika-online.ru/journal/>

Там же размещена более подробная информация о журнале