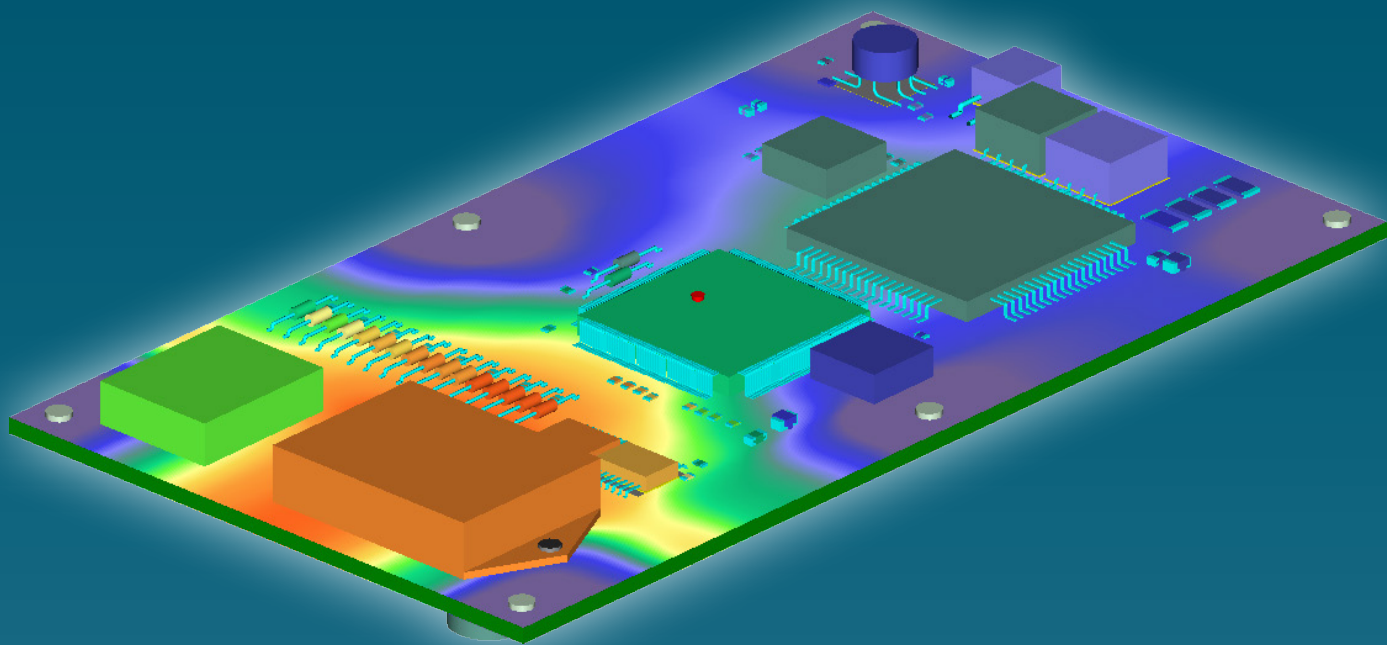

САПР ЭЛЕКТРОНИКИ



ISSN 2949-4966

№ 4 (4)
2023

САПР электроники

Научно-практический журнал

№ 4 (4), 2023

Издается с 2023 г.

Главный редактор

Шалумов Александр Славович – д.т.н., проф., академ. 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», 2023

Дата выхода журнала: 10 декабря 2023 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

Приветствия	3
От главного редактора.....	4
Шалумов А.С. Искусство моделирования в САПР электроники: механические воздействия	7
Рафилович М.И. Итоги форума «Микроэлектроника 2023» в свете развития отечественных САПР электроники и Реестра отечественного ПО	35
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 2. Выбор ЭРИ при проектировании аппаратуры, стойкой к воздействию специальных факторов.....	45
Сумароков Е.С. Переоснащение проектно-технологической базы в области САПР электроники и развитие курсов по подготовке и переподготовке кадров для предприятий ОПК	51
Ильин С.А. Первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной аппаратуры на внешние механические и тепловые воздействия	59
Колотилов А.А. Система моделирования аналоговой электроники SimOne – лучше зарубежных конкурентов?.....	72
Ляшук А.Н., Косых А.В. Применение САПР ADS для моделирования шумовых свойств кварцевого генератора	75
Корнев Н.А. Программный комплекс Союзного государства «МИР-ПОБЕДА».....	81
Блинков Н.Д. Особенности проектирования интегральных генераторов, управляемых напряжением СВЧ диапазона, в САПР ADVANCED DESIGN SYSTEM (ADS)	105
Ерохин В.В., Завьялов С.А. Достоверные модели пассивных элементов для проектирования Si/SiGe/GaAs СВЧ интегральных микросхем в САПР Cadence Virtuoso	109

CAD electronics

Scientific and practical journal

№ 4 (4), 2023

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», 2023

Journal release date: December 10, 2023

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

Greetings	3
From the editor-in-chief	4
Shalumov A.S. The art of modeling in CAD electronics: mechanical influences	7
Rafilovich M.I. Results of the Microelectronics 2023 forum in the light of the development of domestic CAD electronics and the registry of domestic software.....	35
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 2: Selection of electrical radio products when designing equipment resistant to special factors	45
Sumarokov E.S. Re-equipment of the design and technological base in the field of CAD electronics and development of training and retraining courses for defense industry enterprises.....	51
Ilyin S.A. The first national standards in the field of virtual testing of electronic equipment for external mechanical and thermal influences	59
Kolotilov A.A. SimOne analog electronics modeling system – better than foreign competitors?.....	72
Lyashuk A.N., Khosykh A.V. Application of CAD ADS for modeling noise properties of crystal oscillator	75
Korenev N.A. Union State software package «PEACE-VICTORY»	81
Blinkov N.D. Development features of integrated voltage controlled oscillators at microwave range in advanced design system (ADS) CAD	105
Erokhin V.V., Zavyalov S. A. Accurate Passive Elements Models for Si/SiGe/GaAs Microwave Integrated Circuits Design in Cadence Virtuoso CAD	109



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «РЕКЛАМНО-ИНФОРМАЦИОННОЕ АГЕНТСТВО «СТАНДАРТЫ И КАЧЕСТВО»
ООО «РИА «Стандарты и качество». Адрес: 115280, Москва, ул. Мастеркова, д. 4, БЦ «Панорама»
Тел.: (495) 771 6652, 988 8434 Факс: (495) 771 6653, 258 8437. E-mail: secret@mirq.ru. Web: www.ria-stk.ru.
ОКПО 56678027, ОГРН 1027700153986, ИНН/КПП 7706237741/772501001

Уважаемые коллеги!

От имени Всероссийской организации качества (ВОК) и Информационно-просветительского центра ВОК — РИА «Стандарты и качество» — хочу выразить искреннюю признательность за проделанную вами работу.

Сегодня, когда особенно остро встает вопрос импортозамещения электронной компонентной базы, огромную роль в создании и внедрении САПР электроники играют современные национальные стандарты, которым в первых трех номерах научно-практического журнала «САПР электроники» уделено большое внимание. Важно, что в опубликованных статьях подробно представлены новые стандарты, разработанные в техническом комитете по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники».

На площадке журнала «САПР электроники» удалось объединить разработчиков и пользователей систем автоматизированного проектирования электроники, что позволяет вскрыть существующие в отрасли проблемы и найти пути их решения, активно обмениваться опытом, совместно решать перспективные задачи.

Желаю вам дальнейших успехов в вашей профессиональной деятельности на благо отечественной электронной промышленности и развития национальной стандартизации.

Татьяна Киселева, МВА

главный редактор Издательства
РИА «Стандарты и качество»,
член Правления Всероссийской
организации качества,
член Союза журналистов России,
член-корреспондент Международной
Академии менеджмента

От главного редактора журнала «САПР электроники»

Уважаемые авторы, читатели и коллеги!

29 декабря исполнится год, как был создан журнал «САПР электроники». Сегодня вышел уже 4-й номер журнала, последний в 2023 году. Информация о всех номерах журнала направляется **всем профильным предприятиям, корпорациям, министерствам России**. Бумажные версии журнала № 3 и № 4 в ближайшее время будут направлены **Президенту РФ В.В. Путину**. Ранее были направлены бумажные версии журнала № 1 и № 2. Администрация Президента РФ незамедлительно подтвердила их получение ответными письмами, направленными на имя главного редактора по почтовому адресу редакции.

Практически все профильные предприятия и вузы скачали три номера журнала с сайта журнала <https://asonika-online.ru/journal/>

Таким образом, журнал «САПР электроники» за год стал самым массовым 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.

9 октября 2023 г. Российской государственной библиотекой журналу выдано Свидетельство о регистрации в Национальном центре ISSN Российской Федерации и присвоении Международного стандартного номера сериального издания (International Standard Serial Number) **2949-4966**.

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 4-х номерах журнала.

Заместитель министра промышленности и торговли Российской Федерации Василий Шпак озвучил задачи российской электронной промышленности до 2030 года в рамках крупнейшего российского

технологического форума «Микроэлектроника 2023» (<https://rg.ru/2023/10/10/vasilij-shpak-nacionalnaia-elektronika-osnovatehnologicheskogo-suvereniteta.html>).

«Самой амбициозной выглядит задача достигнуть всё тех же 70% в области обеспеченности российскими средствами автоматизированного проектирования (САПР) при создании функционально значимого сложного оборудования. При том, что сегодня **доля российского ПО в этой области всего 3%**», – отметил Шпак. **И эта цифра полностью подтверждается по итогам 4-х номеров нашего журнала.**

Минцифры по результатам проверки решений о выдаче грантов в 2022–2023 годах в IT-сфере на проекты в области импортозамещения откажется от продолжения этого вида прямой поддержки компаний, заявил на форуме Сnews глава ведомства **Максут Шадаев** (<https://www.kommersant.ru/doc/6312520>). «Это связано с тем, что у нас не хватает экспертизы и детального понимания разработок, чтобы понять, какой продукт нужно финансово поддержать», – признал он. По мнению участников рынка, решение не повлияет на планы компаний по импортозамещению – они ничего не потеряли от этого, некрупные компании продолжают выживать иными способами. **И об этом также говорилось на страницах нашего журнала.**

6 октября 2023 года было направлено официальное приветствие Председателя технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» Шалумова А.С. участникам Российского форума «Микроэлектроника 2023» (скан-копия размещена ниже по тексту). В приветствии было предложено бесплатно опубликовать в 4-м номере журнала «САПР электроники» (то есть в этом номере) доклады участников форума, посвященные САПР электроники. В рамках форума «Микроэлектроника-2023» состоялись **пленарная сессия и круглый стол** на тему «Системы проекти-

рования и моделирования электронных компонентов и систем». По окончании форума мной, как главным редактором журнала «САПР электроники», были направлены официальные письма руководителям организаций, чьи представители заявили доклады на форум «Микроэлектроника-2023» в секции «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем»: ООО «НМ-ТЕХ», АО «ЭРЕМЕКС», АО «НТЦ «Модуль», АО «НИИМЭ», ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», ФИЦ ИУ РАН, ООО «МАЛЫТ СИСТЕМ», МИЭМ им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ, ИППМ РАН, АНО «Институт стратегий развития», АО «НПО «КИС», АО «НПО «ЭРКОН», ООО «ЗВС». К сожалению, ни одного доклада не было предоставлено для публикации в 4-м номере журнала «САПР электроники»! Очень жаль! Профессиональное сообщество Российской Федерации очень бы хотело ознакомиться с этими докладами.

Аналогичные предложения были направлены практически во все государствен-

ные фонды и в Российскую академию наук, которые годами получают бюджетные деньги, в том числе на развитие САПР электроники. **Результат тот же. Публикаций от них нет!**

Таким образом, полностью подтверждаются выводы Шпака и Шадаева, приведённые выше.

Мы 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

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ
РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

Технический комитет по стандартизации 165
«Системы автоматизированного проектирования электроники»



ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «АСОНИКА»

600017, Россия, г. Владимир, ул. Луначарского, д.16А
Тел. +79165812577 E-mail: als@asonika-online.ru Сайт: www.asonika-online.ru

№ 150 от « 06 » октября 2023 г.

Председателю Программного комитета Российского форума
«Микроэлектроника 2023»,
Президенту Российской академии наук,
академику РАН
Г.Я. Красникову

Глубокоуважаемый Геннадий Яковлевич!

Направляю Вам Приветствие Председателя технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» Шалумова А.С. участникам Российского форума «Микроэлектроника 2023».

Уважаемые организаторы, участники и гости форума «Микроэлектроника 2023»!

От имени технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» и от себя лично приветствую организаторов, участников и гостей форума «Микроэлектроника 2023».

Электроника применяется на всех жизненно важных объектах, в том числе военных, космических, авиационных. Без надёжной электроники сегодня невозможно обеспечить обороноспособность страны и победить в Специальной военной операции. В условиях проведения Специальной военной операции форум является особенно значимым мероприятием.

Проектирование электроники уже невозможно без систем автоматизированного проектирования (САПР). Если у вас нет собственной САПР электроники, то у вас, скорее всего, нет и собственной полноценной разработки – самолёта, вертолёта, беспилотной авиационной системы,

космического корабля, ракеты, подводной лодки, танка, автомобиля, атомной электростанции, компьютера, системы искусственного интеллекта и т.д. Надеюсь, что на форуме будет особое внимание уделено САПР электроники, составляющим особый класс информационных технологий, который требует самостоятельного подхода к решению проблем его импортозамещения.

Предлагаю доклады участников форума, посвящённые САПР электроники, опубликовать в 4-м номере журнала «САПР электроники» (<https://asonika-online.ru/journal/>), выход которого планируется 10 декабря 2023 года. Публикация бесплатная.

Желаю вам успешной и плодотворной работы на форуме на благо достижения технологического суверенитета России, курс на который обозначил Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин.

С уважением, Шалумов Александр Славович,

Председатель технического комитета по стандартизации ТК 165 «САПР электроники», Главный редактор журнала «САПР электроники», Генеральный директор ООО «НИИ «АСОНИКА», доктор технических наук, профессор, академик Международной академии информатизации, лауреат премии Правительства РФ в области науки и техники. Почетный работник науки и техники РФ, руководитель разработки САПР электроники АСОНИКА, руководитель ведущей научной школы НИИ-5574.2014.10 в области знаний «Военные и специальные технологии», член МРГ коллегии ВПК РФ по диверсификации и развитию рыночных механизмов в организациях ОПК в целях импортозамещения и реализации национальных проектов, участник Реестра независимых и внешних директоров организаций ОПК

существенные результаты в данной области не на словах, а на деле.

В ноябре 2023 года я выступил в Москве с итоговым докладом **«Моделирование и виртуальные испытания электроники на внешние воздействия и надёжность»** на двух важных мероприятиях:

1. Круглый стол «Автоматизированные системы проектирования и моделирования электроники», 17 ноября 2023 г. Задачи круглого стола – представить имеющиеся решения российской разработки, обсудить опыт использования открытых САПР, выделить наиболее актуальные проблемы заказчиков и приоритеты в планах разработки САПР электроники. Организатор круглого стола – Ассоциация разработчиков и производителей электроники (АРПЭ). Моё интервью журналу «Современная электроника» по итогам круглого стола можно посмотреть по ссылке на ютуб-канале: <https://www.youtube.com/watch?v=BDsjUOX7MrQ> или по другой ссылке: <https://disk.yandex.ru/d/-d4J9BSVMVSvYg>

2. Кооперационная сессия «Сервисы и средства для разработчиков электроники» в рамках деловой программы выставки электронной продукции российского производства «Электроника России», 30 ноября 2023 г. Организатор кооперационной сессии – Ассоциация «Консорциум дизайн-центров и предприятий радиоэлектронной промышленности» (АКРП).

В обоих выступлениях я уделил особое

внимание деятельности журнала «САПР электроники». С презентацией можно ознакомиться по ссылке: https://asonika-online.ru/uploads/images/Shalumov_ASONIKA.pdf

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

Только опора на реальных (а не мнимых) разработчиков позволит нам в обозримом будущем достичь технологического суверенитета России, курс на который обозначил **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: механические 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 механические воздействия в проектировании электроники; порядок моделирования электронной аппаратуры на механические воздействия в САПР электроники; методика и примеры идентификации физико-механических параметров материалов и параметров виброизоляторов; методика подготовки 3D-модели в САД-системе для последующего моделирования; примеры моделирования механических 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, механические воздействия, электроника, идентификация, национальная стандартизация, САПР.

The art of modeling in CAD electronics: mechanical influences

Shalumov A.S.

Abstract

The article discusses: the role of automated modeling of mechanical influences in electronics design; the procedure for modeling electronic equipment for mechanical effects in CAD electronics; methods and examples of identification of physical and mechanical parameters of materials and parameters of vibration isolators; methodology for preparing a 3D model in a CAD system for subsequent modeling; examples of modeling mechanical processes in electronics using the ASONIKA system; examples of integration of CAD electronics ASONIKA with domestic CAD systems; issues of national standardization. In conclusion, the further steps of the ASONIKA scientific team are determined.

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

Введение

Механические воздействия вызывают от 30 до 50% отказов электронной аппаратуры (ЭА). Подавляющее большин-

ство отказов ЭА из-за механических воздействий связано с выходом за пределы, установленные нормативно-технической документацией (НТД), механических ха-

ра характеристик конструкций ЭА – ускорений, перемещений, напряжений, что приводит к нарушению прочности и устойчивости работы аппаратуры. При этом важно отметить, что ускорение на каждом электрорадиоизделии (ЭРИ) не должно превышать допустимое по техническим условиям значение. Кроме того, к нарушениям прочности ЭА часто приводит накопление усталостных повреждений в выводах ЭРИ, самих ЭРИ и различных элементах конструкции ЭА и их разрушение. В связи с этим время до усталостного разрушения выводов ЭРИ, самих ЭРИ и различных элементах конструкции ЭА, которое не должно быть меньше суммарной длительности механических воздействий на аппаратуру в условиях эксплуатации, также отнесено к механическим характеристикам.

Конструкции бортовой ЭА обычно подвержены вибрационным воздействиям с параметрами: диапазон вибраций 20...2000 Гц, уровень ускорений гармонической вибрации и среднеквадратических ускорений случайной вибрации до 50 g, – которые имеют тенденцию дальнейшего роста; температура участков конструкций бортовой аппаратуры достигает +85 °С. В этих условиях часто не удается избавиться от резонансов в конструкции, что приводит к превышению допустимых ускорений ЭРИ, перемещений и напряжений в элементах конструкций. При вибрационных воздействиях в выводах ЭРИ возникают знакопеременные механические напряжения. Это приводит к накоплению усталостных повреждений в материалах выводов и при длительном воздействии вибрации может привести к обрыву выводов, то есть к потере работоспособности ЭРИ. *Анализ приблизительно 400 отчетов, собранных за 8 лет по результатам механических испытаний приборов и их комплектующих, показал, что усталость является причиной 80% отказов электронных элементов.* В полной мере эти данные относятся к испытаниям на воздействие широкополосной случайной вибрации.

Кроме вибрации, ЭА может подвергаться ударным воздействиям, возникающим при транспортировке, монтаже или

эксплуатации, при действии ударной волны и т.д. В процессе удара нагрузки к элементам аппаратуры прикладываются в течение короткого промежутка времени. Вследствие этого возникающие ускорения, перемещения и напряжения элементов аппаратуры могут достигать больших значений и вызывать различные повреждения. Интенсивность ударного воздействия зависит от формы, амплитуды и длительности ударного импульса. При периодическом приложении ударных импульсов блок ЭА на упругих опорах приходит в колебательное движение. Таким образом, возникает необходимость одновременной защиты от ударов и вибраций.

Линейные ускорения характерны для всех объектов, движущихся с переменной скоростью (например, при разгоне, торможении). Влияние линейных ускорений на детали конструкций и ЭРИ обусловлено инерционными силами, которые могут достигать и во много раз превышать силы тяготения. При движении объекта по криволинейной траектории, например по дуге окружности, элементы конструкции аппарата будут испытывать центробежное ускорение. Трудность борьбы с влиянием линейных перегрузок заключается в том, что они практически не поддаются ослаблению. Только в случае кратковременного действия линейных перегрузок могут быть использованы некоторые конструктивные меры защиты. Во всех же остальных случаях обеспечение требований НТД по механическим характеристикам элементов конструкции может быть достигнуто только за счет увеличения их жесткости, что ведет к увеличению массы.

Воздействие акустического шума приводит к механическому возбуждению деталей и узлов конструкций ЭА, а также различных ЭРИ. Отличие данного вида возбуждения от вызванного механической вибрацией заключается в распределенном воздействии усилий, зависящих не только от уровня звукового давления, но и от площади изделия. При чисто механических воздействиях вибрация передается изделиям, главным образом, через точки крепления. В технических заданиях на разработку бор-

товой ЭА звуковое давление, создаваемое акустическим шумом, задается до 175 дБ в диапазоне частот от 10 до 10000 Гц. Давление в столь широком диапазоне частот может привести к существенным поломкам в аппаратуре, в том числе к усталостным, из-за резонансных колебаний.

Кроме того, в условиях эксплуатации на ЭА **могут одновременно действовать несколько видов механических воздействий**, например, вибрации, удары и акустический шум; линейное ускорение и акустический шум и т.д. Игнорирование этого факта может привести к тому, что реально механические воздействия окажутся более жесткими, чем предполагалось при проектировании. Поэтому вводится понятие «сложное механическое воздействие», что означает одновременное приложение к аппаратуре двух и более видов механических воздействий.

Наличие тепловыделяющих элементов в составе конструкций ЭА в сочетании с широким диапазоном температур окружающей среды приводит к появлению паразитного теплового фактора, оказывающего существенное влияние на механические процессы, в том числе за счет появления температурных напряжений. При этом от температуры зависят такие физико-механические параметры, как модуль упругости, коэффициент механических потерь (логарифмический декремент затухания колебаний (ЛДЗК)), предел усталости. В справочной литературе представлены данные зависимости для отдельных материалов конструкций, применяемых в ЭА. Квалификационные испытания цифровых блоков РЛС показали, что *около 30% отказов отдельных элементов, которые были зафиксированы при воздействии низкой и высокой температур, в действительности обусловлены повреждением этих элементов в процессе комплексного воздействия вибраций и температуры*. Таким образом, необходим учет комплексности воздействия механических факторов и температуры для адекватного принятия мер по обеспечению требований НТД по механическим характеристикам.

Практически в любой ЭА все входные

воздействия, выходные характеристики являются случайными величинами или процессами прежде всего из-за технологических разбросов параметров материалов, а также эксплуатационных разбросов параметров элементов под воздействием случайных внешних факторов. Поэтому на определенных этапах конструкторского и технологического проектирования ЭА необходимо проводить исследования разбросов параметров с применением вероятностных моделей. Если при конструировании ЭА возникает необходимость дополнительной защиты от механических воздействий, то конфликтными становятся ограничения по массе, особенно для авиационной и космической техники. Поэтому актуальной является задача оптимизации параметров конструкций ЭА, отвечающих требованиям НТД по механическим характеристикам, с целью снижения массы.

Указанные факторы определяют необходимость тщательной отработки конструкций и документации на всех этапах проектирования. 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 механические воздействия в проектировании ЭА

Проектирование конструкций ЭА с учетом механических воздействий на сегодняшний день усложняется следующими факторами:

1) наличием в ЭА тысяч ЭРИ, механические характеристики которых надо определить;

2) постоянным ростом интенсивности механических воздействий из-за увеличения скоростей подвижных объектов;

3) многообразием видов механических воздействий – вибрации, удары, линейные ускорения, акустические шумы;

4) одновременным приложением к аппаратуре двух и более видов механических воздействий, в связи с чем введено понятие «сложное механическое воздействие»;

5) комплексным характером приложения тепловых и механических воздействий, приводящим к влиянию тепловых процессов на механические;

6) ограничениями по массе;

7) случайным характером разброса параметров.

Испытательное оборудование для испытаний на различные виды механических воздействий стоит достаточно дорого, например на воздействие случайной вибрации в 100...1000 раз дороже, чем для испытаний на воздействие гармонической вибрации. Сложные механические воздействия на современном оборудовании воспроизвести в полной мере практически невозможно. **Испытания ЭА на комплексные тепловые и механические воздействия обойдутся примерно в 3...5 раз дороже, чем испытания на чисто механические воздействия, причем не для всех классов аппаратуры их можно воспроизвести в полной мере.**

В условиях рыночной экономики предъявляются жесткие требования по срокам проектирования, трудоемкости и стоимости проектных работ. Для сравнения, трудоемкость работ, связанных с подготовкой и проведением испытаний на вибрационные и ударные воздействия конструкции 3-х этажной стойки на одном из оборонных предприятий, составила 17 чел. – дн. Трудоемкость расчета данной стойки на ЭВМ составила 2 чел. – дн. То есть в 8,5 раз ниже. Кроме того, по результатам как моделирования, так и испытаний были обнаружены отказы. В результате пришлось затратить еще несколько месяцев на доработку конструкции.

Применив же на начальных этапах проектирования моделирование, удалось бы избежать значительных затрат в процессе доводки и отработки конструкции.

Существенную роль в повышении эффективности и качества процесса проектирования и сокращении сроков проектирования ЭА, отвечающих требованиям НТД по механическим характеристикам, играет обнаружение ошибок на ранних этапах проектирования. **По мнению зарубежных специалистов, источником дефектов, проявляющихся под воздействием вибрации, температуры и влаги при эксплуатации и испытаниях, в 20...30% случаев являются ошибки конструирования и производства, обусловленные «человеческим» фактором, то есть ошибками человека-оператора.** Анализ наиболее характерных ошибок конструкторской документации показывает, что большинство из них связано с неувязкой или отсутствием размеров, с неточностью компоновки. Эти ошибки, как правило, удаётся обнаружить по традиционной схеме отработки конструкторской документации. Однако обнаружить на ранних этапах ошибки, ухудшающие механические характеристики конструкций, а тем более принять обоснованное решение об изменениях в проекте без математического моделирования практически невозможно. Испытания, как уже отмечено, лишь фиксируют факт благоприятного или неблагоприятного исхода и не дают информации о причинах ухудшения механических характеристик конструкции и, тем более, о путях улучшения конструкции. Представляется целесообразным включение математического моделирования в общую схему отработки качества конструкторских решений и документации.

Следует отметить **трудности, возникающие при постановке и решении задачи расчёта механических характеристик конструкций ЭА.** Известно, что моделирование механических процессов в конструкциях ЭА основано на решении сложных нестационарных краевых задач математической физики. Математические и вычислительные трудности решения подобных задач определяются прежде всего сложной

и неоднородной структурой конструкции, нелинейными характеристиками материалов, а также сложным характером внешних механических возмущений, которым подвергается нестационарная аппаратура. Существует множество различных вариантов конструкций ЭА. Выбор того или иного варианта определяется назначением, использованием и транспортировкой аппаратуры.

Так как подавляющее большинство отказов ЭА, как указывалось выше, является результатом выхода за пределы, установленные НТД, механических характеристик конструкций ЭА, необходимо на ранних этапах проектирования сосредоточить все усилия на расчёте механических характеристик ЭА – ускорений ЭРИ, времени до усталостного разрушения выводов, перемещений и напряжений в элементах конструкции. Для получения механических воздействий на ЭРИ необходимо провести расчёт несущих конструкций аппаратуры при заданных воздействиях. Решение задачи обеспечения требований НТД по механическим характеристикам ЭА на ранних этапах проектирования требует, с одной стороны, упрощения процесса моделирования, а с другой стороны, учета всех изложенных выше факторов. Причем расчёт должен проводиться для каждого вывода ЭРИ.

В связи с тем, что использование детальной модели требует большого объёма вычислений, особенно при решении задач оптимизации, и, учитывая жёсткие требования по срокам проектирования, **для большинства просматриваемых вариантов структуры конструкций должна выполняться лишь ориентировочная оценка механических характеристик конструкций ЭА** (вплоть до каждого ЭРИ) на основе макромоделей. Такая оценка позволит на ранних этапах проектирования без существенных затрат вычислительных ресурсов, исходя из требований НТД по механическим характеристикам, выбрать тип конструкции, элементную базу, размещение ЭРИ, варианты креплений, конструкционные материалы, отсеять большинство неперспективных вариантов и оставить для тщательного анализа малое число вариантов. Использование типовых конструкций – шкафов,

стоек, блоков, печатных узлов (ПУ), ЭРИ – приводит также к упрощению и ускорению проектирования: так, типовые конструкции, а значит и их макромодели, разрабатываются однократно, но в различных проектах применяются многократно.

Ввиду сложности конструкций ЭА (десятки тысяч ЭРИ) **сама оценка возможна только при наличии средств автоматического перехода от реальной конструкции к макромодели**, для чего прежде всего необходимо решить задачу формализации получения математических макромоделей механических процессов в типовых конструкциях ЭА. Входная информация должна задаваться в доступной для конструктора ЭА форме и с использованием привычной для него терминологии. Ввод графической и текстовой информации должен осуществляться на уровне конструкции ЭА, а не на уровне модели. Использование базы данных по конструкционным материалам и ЭРИ и интерфейса с САПР ПУ позволяет существенно сократить трудоемкость ввода данных о конструкции. Кроме данных о конструкции, входная информация включает в себя условия эксплуатации, то есть заданные тепловые и механические воздействия, а также задание на расчёт, содержащее информацию о цели расчёта, о контролируемых параметрах. При этом в зависимости от типа конструкции, анализируемой пользователем, вида воздействия и цели расчёта в программе должен включаться тот или иной алгоритм, который направляет пользователя по заранее продуманному пути. Выходная информация также должна выдаваться в доступной для конструктора ЭА форме.

В случае сложной конструкции ЭА (шкаф, стойка, блок) целесообразно представление конструкции в виде некоторой иерархической структуры, каждый следующий уровень которой входит в виде составной части в предыдущий уровень. Такое представление не только упрощает процедуру описания конструкции, но и существенно упрощает последующий процесс моделирования, анализа чувствительности, оптимизации, то есть всю процедуру решения задачи проектирования.

Построение иерархической структуры конструкции основано на том предположении, что деформации некоторых элементов и узлов можно считать пренебрежимо малыми. Такие элементы и узлы полагаются недеформируемыми (т.е. абсолютно жесткими) на данном этапе расчета и рассматриваются как следующий, по отношению к данной конструкции, более низкий иерархический уровень. Иначе говоря, сложная конструкция рассматривается как совокупность несущей конструкции и недеформируемых масс. При дальнейшей детализации, на следующем этапе расчета, каждая масса рассматривается как несущая конструкция, включающая свои недеформируемые массы и т.п. Изложенное представление иерархической структуры конструкции позволяет унифицировать форму представления исходных данных. Независимо от места конструкции в общей иерархии, входная информация должна содержать данные о её конфигурации и структуре, о связи с предыдущим и последующим уровнями.

Возможность эксплуатации программных комплексов на уровне конструктора, оперирующего привычными и доступными терминами и обозначениями, является одним из необходимых условий широкого использования этих комплексов в конструкторской практике. К наиболее важным требованиям, с точки зрения организации пользовательского сервиса, относится простота описания объекта и уровень автоматизации процесса формирования модели, включая этапы трансляции входных данных, синтеза структуры модели на выбранном базисе элементов, описания неоднородной структуры элементов модели, формирования матриц систем уравнений, описывающих состояние модели. Здесь следует особо отметить возможность автоматизации синтеза дискретной структуры. Основная идея состоит в том, что при анализе описания объекта и сопоставлении структуры объекта и размеров его элементов с заданной пользователем степенью детализации дискретной структуры (размерами дискретных элементов, шагами дискретизации) определяется тип элемента, который интерпретирует ту или

иную связь в модели. Автоматизация этой процедуры существенно упрощает и сокращает весь процесс подготовки данных для решения задач.

Таким образом, проектирование современной ЭА в заданные сроки и в соответствии с требованиями НТД по механическим характеристикам (ускорениям, перемещениям, напряжениям, времени до усталостного разрушения) в общем случае невозможно без использования информационной технологии на ранних этапах разработки (техническое предложение и эскизное проектирование). Необходимость активизации работ на ранних этапах разработки связана с тем, что выявление отказов ЭА из-за механических воздействий на завершающих этапах проектирования (начиная с технического проектирования) как путем математического моделирования, так и путем испытаний опытного образца приводит к длительным итерациям по отработке конструкции, а значит и к резкому возрастанию материальных затрат и увеличению сроков проектирования.

Необходимость использования информационной технологии на ранних этапах проектирования вытекает из следующих соображений. Исходя из требований НТД по механическим характеристикам, нужно выбрать тип конструкции, элементную базу, размещение ЭРИ, варианты креплений, конструкционные материалы. Это требует, в первую очередь, осуществить сбор необходимой для расчетов информации в условиях многообразия ЭРИ и конструкционных материалов, физико-механические параметры многих из которых в настоящее время неизвестны (в том числе и разбросы параметров). Затем следует обработка входной информации, включающая оценочный расчёт на ЭВМ механических характеристик конструкций ЭА (вплоть до каждого ЭРИ) и оптимизацию параметров конструкции с целью снижения массы (в связи с ограничениями в техническом задании). Как исходные данные, так и результаты расчётов должны быть сохранены в базе данных. Так как механические воздействия задаются в целом на аппаратуру, то для

получения механических воздействий на каждом ЭРИ необходимо осуществить при расчёте механических характеристик преобразование и обмен данными между различными уровнями иерархии конструкций ЭА (шкафы, стойки, блоки, ПУ, ЭРИ). Для осуществления ввода в ЭВМ конструкции и механического воздействия, а также принятия решения по результатам расчётов необходимо отобразить в графическом виде входную и выходную информацию на экране компьютера. Решение указанных задач усложняется многокомпонентностью самих конструкций ЭА (тысячи ЭРИ и десятки материалов) и многообразием механических воздействий. Таким образом, проектирование конструкций ЭА с учетом механических воздействий возможно лишь на основе методов и программно-технических средств, объединенных в технологическую цепочку, обеспечивающую сбор, обработку, хранение, распространение и отображение информации с целью снижения трудоемкости процессов использования информационного ресурса, что, по определению, и представляет из себя информационную технологию.

Учитывая сложность расчётов, проведение которых в современных условиях возложено на разработчика ЭА, и жёсткие ограничения по срокам и стоимости проектных работ, реализация подобной информационной технологии в автоматическом или интерактивном режиме не дает положительного эффекта. Наиболее эффективным является автоматизированный режим, представляющий собой специально организованное, в рамках непрерывного технологического процесса автоматизированного конструирования, сочетание в любых последовательностях и пропорциях автоматических вычислений по программам, реализующим типовые проектные процедуры, и взаимодействий конструктора-оператора с системой в интерактивном режиме для разрешения неформализуемых задач оценки результатов, принятия решений и директивных указаний по режимам и условиям дальнейшего конструирования. А это возможно только за счет применения макромоделирования

механических процессов и использования специализированных в области ЭА графических интерфейсов ввода-вывода. Следовательно, научной основой информационной технологии является методология автоматизированного расчёта, решающая указанные выше задачи, а практической реализацией в качестве инструментария проектировщика – соответствующая проблемно-ориентированная подсистема.

Анализ открытых отечественных и зарубежных источников, а также многолетние исследования промышленных предприятий, проведенные автором, показали, что подобная информационная технология, кроме технологии «АСОНИКА», на сегодняшний день отсутствует. Отсутствие специализированных графических интерфейсов ввода-вывода для типовых конструкции ЭА, отсутствие необходимых баз данных, сложность моделей и многое другое делают невозможным применение на ранних этапах проектирования конструкций ЭА существующих универсальных программных комплексов (NASTRAN, COSMOS, ANSYS, COMSOL, Зенит-95, ИСПА, APM WinMachine, ЛОГОС, CAE Fidesys Desktop и др.). Специализированные программные комплексы, кроме системы АСОНИКА, отсутствуют. Главным недостатком математического аппарата универсальных программ является ориентация только на один метод математического моделирования для разных элементов конструкции, что неприемлемо для ранних этапов проектирования. Здесь нужно использовать те методы, которые позволяют получить наиболее простые макромоделей типовых конструкций без больших потерь в точности, сокращая при этом время расчета и создавая предпосылки для автоматического синтеза данных макромоделей на ЭВМ.

Значительную роль в развитии методов автоматизированного проектирования ЭА и информационных технологий сыграли работы Норенкова И.П., Вермишева Ю.Х., Маквцова Е.Н., Тартаковского А.М., Кофанова Ю.Н., Талицкого Е.Н.

Первые работы в направлении автоматизации расчета механических характери-

стик конструкций ЭА в России принадлежат Маквцову Е.Н., за рубежом – американскому ученому Стейнбергу Д.С. Дальнейшее развитие вопросы моделирования механических процессов в конструкциях ЭА получили во многих работах автора. Их около 500, в том числе 14 монографий [1 – 14]. Последние из этих монографий можно бесплатно скачать с официального сайта ООО «НИИ «АСОНИКА» по ссылке <https://asonika-online.ru/books/>

2 Порядок моделирования ЭА на механические воздействия в САПР электроники

Многолетняя (более 40 лет) практика работы с предприятиями по решению задач моделирования электроники на механические 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 сопромата, 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 механических процессов.

Мне в этом плане крупно повезло, так как я учился в институте на радиотехническом факультете по специальности «Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры», где преподавал и был заведующим кафедрой **Талицкий Евгений Николаевич** – автор всесоюзного учебника «Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры». Все 5 лет учёбы я занимался под его руководством научной работой. Первый год я занимался исключительно экспериментальными исследованиями: испытаниями полупроводников на ударные воздействия, печатных плат на вибрационные воздействия, пеноматериалов на комплексные меха-

нические и тепловые воздействия, включая отрицательные температуры, получаемые при воздействии жидкого азота. Это позволило мне уже на этом этапе увидеть ряд особенностей конструкций электроники, отличающих их от машиностроительных конструкций с точки зрения моделирования. Затем я перешёл к моделированию, в том числе процессов накопления усталостных повреждений в выводах ЭРИ, чему и была посвящена моя дипломная работа. Однако для этого нужно было получить входные данные по воздействиям от верхних уровней иерархии. А это значит, что нужно было разработать полноценную CAE-систему для анализа шкафов, блоков, печатных узлов на механические воздействия, базирующуюся как на сеточных методах – методе конечных разностей и методе конечных элементов, так и на уравнении Лагранжа 2-го рода для моделирования систем виброизоляции, а также множестве аналитических методов, в том числе полученных эмпирическим путём.

Знакомство с профессором **Тартаковским Александром Моисеевичем** позволило ознакомиться с его программным комплексом для анализа произвольных конструкций аппаратуры на вибрационные и ударные воздействия методом конечных разностей, оценить все преимущества и недостатки его подхода.

А знакомство с профессором **Кофановым Юрием Николаевичем**, который стал моим научным руководителем по кандидатской диссертации и научным консультантом по докторской диссертации, позволило понять, что CAE-системой решение задачи не ограничивается. Нужно выходить на показатели надёжности. А для этого требуется получить электрические, тепловые, механические характеристики каждого ЭРИ, что потребовало начать создавать собственную базу данных ЭРИ и материалов. Интеграция с САПР печатных плат потребовала создания конверторов из IDF-файлов. А интеграция с CAD-системами потребовала создания конверторов из STEP-файлов.

Знакомство с профессором **Вермишевым Юрием Христофоровичем**, ко-

торый выступал в качестве официального оппонента по моей докторской диссертации, учитывая его тягу к удобным пользовательским интерфейсам, определило новый вектор развития системы АСОНИКА, связанный с пользовательскими аспектами применительно к разработчику ЭА и ЭРИ.

Ну а мой наставник профессор **Норенков Игорь Петрович**, патриарх советских и российских САПР, помог мне выстроить стройную и логичную САПР электроники на базе системы АСОНИКА.

И в довершении ко всему 22 ЦНИИ Министерства обороны РФ в лице полковника **Прыткова Сергея Фёдоровича**, под началом которого я работал в составе комиссии Министерства обороны РФ по приёмке спецтехники, сподвиг меня на то, что в особо важной электронике не обойтись без карт рабочих режимов ЭРИ.

Получилось, как в сказке «Каша из топора». В качестве топора выступила усталость выводов ЭРИ. Вокруг неё объединилось всё остальное, что позволило создать гораздо шире, чем САЕ-систему, – САПР электроники АСОНИКА в части виртуальных испытаний на внешние воздействия и надёжность.

Это позволило определить порядок моделирования ЭА на механические и другие воздействия в САПР электроники (см. рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Комплексный анализ надёжности электроники на основе сквозного моделирования физических процессов с помощью системы АСОНИКА

3 Методика идентификации физико-механических параметров материалов ЭРИ и ЭА и параметров виброизоляторов

Для большинства материалов ЭРИ и ЭА в справочной литературе отсутствуют необходимые для моделирования физико-механические параметры материалов конструкций. Основными параметрами креплений в механической модели являются коэффициент жесткости и коэффициент механических потерь (КМП), которые в отдельных случаях могут сильно зависеть от температуры (например, в виброизоляторах). За исключением виброизоляторов, информация о коэффициентах жесткости и КМП креплений практически отсутствует. Для виброизоляторов в справочной литературе задаются только коэффициенты жесткости и отсутствуют значения КМП. Необходимые для моделирования физико-механические параметры материалов конструкций могут быть получены путем идентификации.

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

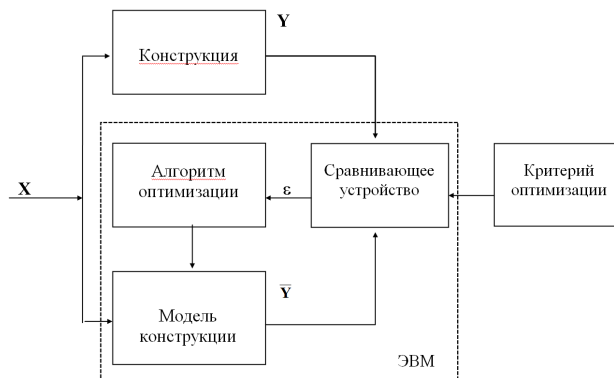


Рисунок 3.1 – Структурная схема идентификации на основе настраиваемой модели

Здесь X – механическое воздействие на конструкцию ЭРИ и ЭА; Y, \bar{Y} – соответственно экспериментальная и расчетная (полученная моделированием на ЭВМ) зависимости амплитуды колебаний в контрольной точке конструкции от частоты; $\varepsilon = |Y - \bar{Y}|$ – 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.

Так как физико-механические параметры материалов конструкций, кроме демпфирующих для ударов и линейных ускорений, не зависят от вида механического воздействия, предлагается проводить идентификацию при гармонической вибрации. В этом случае критерий идентификации имеет вид:

$$U = \int_{f_1}^{f_2} \varepsilon^2(f) df$$

где f_1, f_2 – начальная и конечная частота диапазона гармонической вибрации соответственно; f – текущее значение частоты.

Критерий идентификации демпфирующих характеристик для ударов и линейных ускорений имеет вид:

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

где t_1 – длительность ударного импульса; t – текущее значение времени.

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

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

где m – количество точек измерения по частоте; $a_{0,i}, a_{p,i}$ – экспериментальное и расчетное значения виброускорения на i -й частоте для гармонической вибрации и в i -й момент времени для удара.

Для решения задачи идентификации используется компьютерный измерительный стенд, включающий вибростенд и ударный стенд. Вначале проводится эксперимент: испытуемое изделие устанавливается на вибростенд (ударный стенд) и с помощью вибродатчика (ударного датчика) (желательно бесконтактного, чтобы не вносить дополнительных погрешностей) и виброизмерительной (удароизмерительной) аппаратуры снимается зависимость амплитуды виброускорения (ударного ускорения) от частоты (времени) возмущающих колебаний (ударного импульса). Далее результаты эксперимента заносятся в ЭВМ и путем оптимизации определяются параметры математической модели.

Идентификация должна проводиться последовательно в определенном порядке, так как желательно иметь как можно меньше неопределенных параметров (в лучшем случае – один). Эту последовательность можно проследить на конкретных примерах при идентификации физико-механических параметров материала прямоугольной пластины: модуля упругости, коэффициента Пуассона, γ_0 и k_σ . Ряд параметров идентифицируется с учетом температуры.

Для учета погрешности измерений определение температуры и зависимости амплитуды виброускорения (ударного ускорения) от частоты (времени) гармонической вибрации (удара) повторяется несколько раз, а температура в эксперименте измеряется в нескольких точках платы и затем усредняется. Затем для значений экспериментально полученных вибровоздействий (ударных воздействий) и откликов на них определяются: математическое ожидание, среднеквадратическое отклонение, доверительный интервал. А затем находится погрешность выходного ускорения для каждого значения частоты (времени) как погрешность резуль-

татов косвенных измерений.

1. Идентификация модуля упругости и коэффициента Пуассона.

1.1. Прямоугольная пластина жестко закрепляется винтами по четырем углам на столе вибростенда.

1.2. Экспериментально без нагрева определяется первая резонансная частота пластины.

1.3. С помощью подсистемы АСОНИКА-ИД проводится настройка модели механических процессов (ММП) пластины на экспериментально определенную резонансную частоту. Варьируемыми параметрами при оптимизации являются модуль упругости и коэффициент Пуассона. Коэффициент жесткости опор принимается бесконечно большим, так как винты максимально зажаты. Отсутствие данных по КМП не влияет на результаты идентификации, так как для определения модуля упругости и коэффициента Пуассона достаточно только совпадение резонансных частот и совсем не обязательно совпадение амплитуд виброускорений. Это связано с тем, что в ММП пластины КМП практически не влияет на резонансные частоты. Остальные параметры – геометрические размеры, плотность – известны.

1.4. Измерения пп.1.2-1.3 повторяются при трех значениях температуры поверхности пластины. Коэффициент Пуассона идентифицируется только без нагрева.

1.5. По результатам идентификации строится зависимость модуля упругости от температуры. Далее по методу наименьших квадратов определяются коэффициенты аналитической зависимости модуля упругости от температуры.

2. Идентификация КМП

2.1. Аналогично пп.1.1.

2.2. С датчика в центре пластины без нагрева снимается экспериментально зависимость амплитуды виброускорения (ударного ускорения) от частоты (времени).

2.3. С помощью подсистемы АСОНИКА-ИД проводится настройка ММП пластины на экспериментальную зависимость. При этом идентифицируются параметры зависимости КМП от напряжения γ_0^{20} и k_σ^{20} .

2.4. Измерения, аналогичные пп.2.3, повторяются при трех значениях темпера-

туры поверхности пластины.

2.5. По результатам идентификации строятся зависимости γ_0 и k_σ от температуры для вибрации и удара. Далее определяются коэффициенты аналитических зависимостей для КМП K_γ и K_K соответственно.

3. Идентификация параметров виброизоляторов

Необходимость идентифицировать параметры виброизоляторов в зависимости от температуры окружающей среды отпадает, так как эта зависимость выражена очень слабо.

3.1. Макет изделия устанавливается на виброизоляторы по четырем углам на столе вибростенда.

3.2. Приспособление крепится на столе вибростенда таким образом, чтобы вибрация действовала по оси Z.

3.3. Датчик ускорения устанавливается на крышку макета изделия. Снимается зависимость ускорения датчика от частоты гармонической вибрации по оси Z.

3.4. С помощью подсистемы АСОНИКА-В проводится настройка модели ММП макета изделия на виброизоляторах на зависимость ускорения датчика от частоты гармонической вибрации по оси Z.

3.5. По результатам идентификации определяются следующие параметры виброизоляторов, которые записываются в базу данных и в дальнейшем используются при моделировании:

- коэффициент жесткости по оси X;
- коэффициент жесткости по оси Y;
- коэффициент жесткости по оси Z;
- КМП по оси X для линейного участка зависимости КМП от напряжения изгиба $\sigma_{из}$ при $\sigma_{\mu} = 0$;
- КМП по оси Y для линейного участка зависимости КМП от напряжения изгиба $\sigma_{из}$ при $\sigma_{\mu} = 0$;
- КМП по оси Z для линейного участка зависимости КМП от напряжения растяжения-сжатия $\sigma_{рс}$ при $\sigma_{рс} = 0$;
- коэффициент зависимости КМП по оси X от напряжения изгиба;
- коэффициент зависимости КМП по оси Y от напряжения изгиба;
- коэффициент зависимости КМП по оси Z от напряжения растяжения – сжатия.

4 Пример идентификации физико-механических параметров материалов ЭРИ и ЭА

Идентификация параметров для крышки микросхемы.

Крышка микросхемы закреплена на корпусе в 4 местах (см. рисунок 4.1). Необходимо провести идентификацию в точке и в диапазоне частот гармонической вибрации всех возможных физико-механических параметров при помощи подсистемы АСОНИКА-ИД.



Рисунок 4.1 – Крепление крышки микросхемы

Определение параметров пластинки:

- Длина, (мм): 39.6
- Ширина, (мм): 39.6
- Толщина, (мм): 0.5
- Размер дискрета: 2
- Количество элементов крепления: 4
- Диаметр элементов крепления, (мм): 3
- Отступ от края пластинки, (мм): 5

Файл с экспериментальными данными представлен на рисунке 4.2.

Начальные параметры материала:

- Модуль упругости материала, (ГПа): 30
- Коэффициент Пуассона материала, (отн. ед.): 0.4
- γ_0 , (отн. ед.): 0.01
- κ , (отн. ед.): 1E-9
- Плотность материала, (кг/м³): 7251

Диапазон изменения параметров материала при проведении сеанса идентификации модуля упругости и коэффициента Пуассона:

- Модуль упругости, (ГПа): от 20 до 40

- Коэффициент Пуассона, (отн. ед.): от 0.3 до 0.45
- Количество итераций: 15
- Ошибка, (Гц): 10
- Резонансная частота (экспериментальная), (Гц): 1080

REZplate2 (Режим совместимости)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1				plate								
2				g								
3	Частота[Гц]	Сигнал мониторинга[m/s ²]	Linear	Amplitude								
4	100	10.4950199	100	1.0495020								
5	101	10.4879379	101	1.0487938								
6	102	10.4755020	102	1.0475502								
7	103	10.4738731	103	1.0473873								
8	104	10.4708500	104	1.0470850								
9	105	10.4683267	105	1.0468327								
10	106	10.4877377	106	1.0487738								
11	107	10.4983263	107	1.0498326								
12	108	10.5047588	108	1.0504759								
13	109	10.5127888	109	1.0512789								
14	110	10.5351268	110	1.0535127								
15	111	10.5461359	111	1.0546136								
16	112	10.5562801	112	1.0556280								
17	113	10.5544558	113	1.0554456								
18	114	10.5499697	114	1.0549970								
19	115	10.5439225	115	1.0543922								
20	116	10.5372849	116	1.0537285								
21	117	10.5414133	117	1.0541413								
22	118	10.5361824	118	1.0536182								
23	119	10.5420084	119	1.0542008								
24	120	10.5379631	120	1.0537963								
25	121	10.5363445	121	1.0536345								
26	122	10.5392914	122	1.0539291								
27	123	10.5434961	123	1.0543496								
28	124	10.5514212	124	1.0551421								

Рисунок 4.2 – Результат эксперимента

Диапазон изменения параметров материала при проведении сеанса идентификации γ_0 и κ :

- γ_0 , (отн. ед.): от 0.005 до 0.035
- κ , (отн. ед.): от 1E-9 до 1E-6
- Количество итераций: 30
- Ошибка, (Гц): 1
- Резонансное ускорение (экспериментальное), (g): 29.8175476

Введем эти данные в подсистему АСОНИКА-ИД (рисунок 4.3). Проведем расчет. Результаты представлены на рисунке 4.4 и рисунке 4.5. Сохраним входные данные и полученные значения в отчеты с помощью возможностей подсистемы АСОНИКА-ИД (рисунок 4.10, рисунок 4.11).

Далее перейдем к графическому расчету. Введем диапазон частот от 100 до 2000 Гц с шагом 10, диапазон амплитуды воздействия от 1 до 1 g, отметим галочкой «абсолютные значения» и «масштабировать сетку автоматически» (рисунок 4.6). Запустим расчет, а затем отображение расчетного графика. В результате получим график, представленный на рисунке 4.7 (его можно сохранить с помощью соответствующей функции). Далее загрузим экспериментальный график, указав путь к нему и столбец с необходимой переменной. Результат на рисунке 4.8.

Далее определим резонансные частоты при расчете (рисунок 4.9).

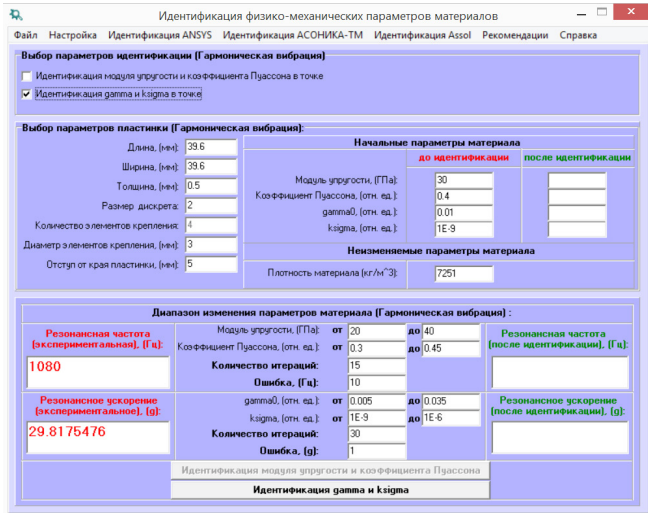


Рисунок 4.3 – Входные данные

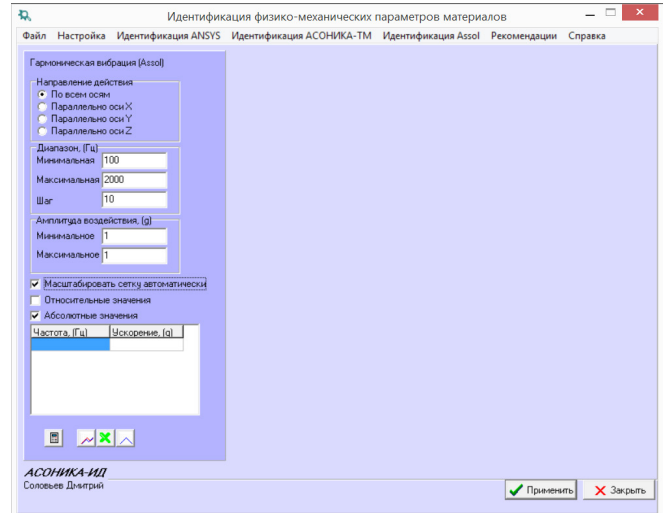


Рисунок 4.6 – Запуск графического расчета

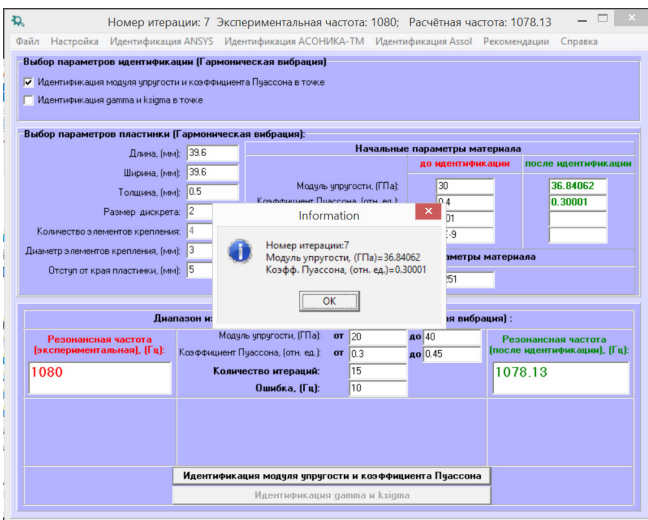


Рисунок 4.4 – Определение модуля упругости, коэффициента Пуассона и расчетной резонансной частоты

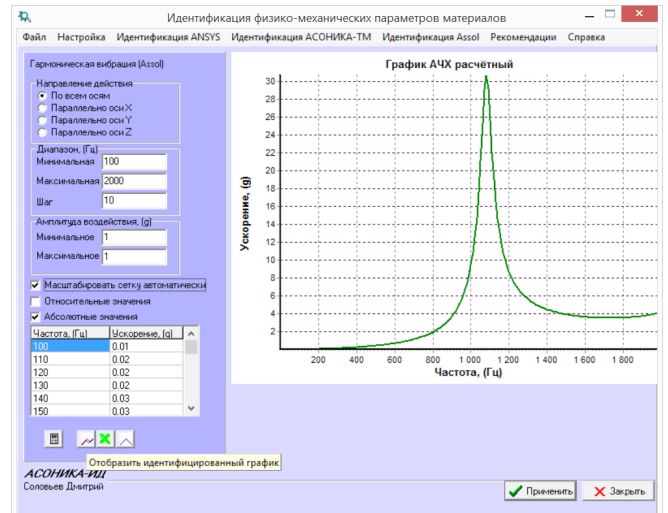


Рисунок 4.7 – Расчетный график

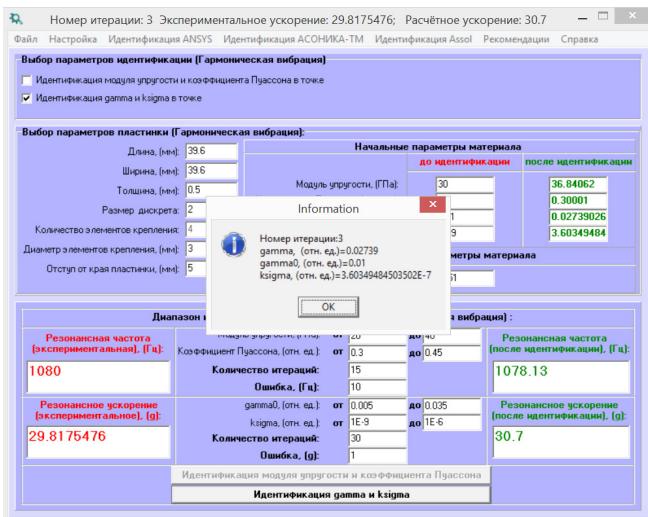


Рисунок 4.5 – Определение gamma, ksigma и расчетного ускорения

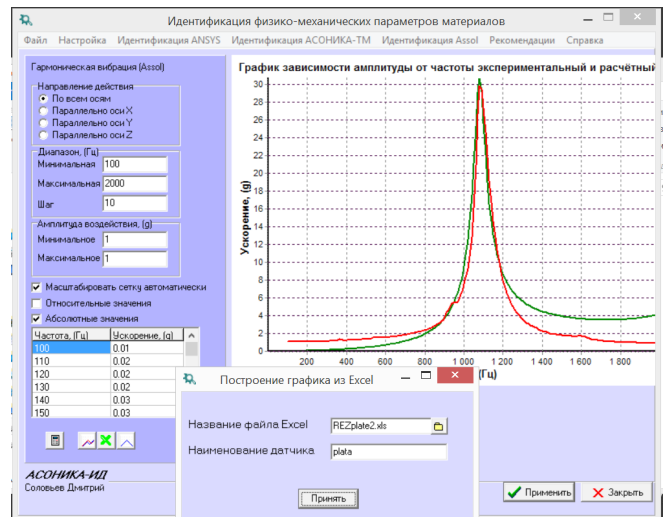


Рисунок 4.8 – Построение экспериментального графика

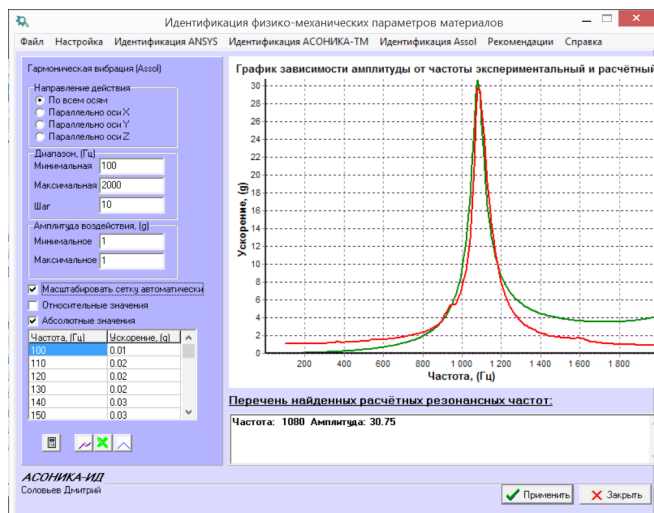


Рисунок 4.9 – Резонансные частоты при расчете

5 Пример идентификации параметров виброизоляторов в подсистеме АСОНИКА-В

Задача расчета

Используя результаты испытаний на вибрацию макета картографа, установленного на виброизоляторах АТРМ 20/70-4, идентифицировать с помощью подсистемы АСОНИКА-В следующие параметры виброизолятора: коэффициенты жесткости и ко-

эффициенты механических потерь (КМП) по трем направлениям.

Данные для расчета:

эскиз конструкции макета картографа (рисунок 5.1);

масса макета: 5,5 кг;

габаритные размеры: 300×152×60 мм;

результаты испытаний макета на воздействие гармонической вибрации в трех направлениях: по осям X,Y,Z (таблица 5.1).

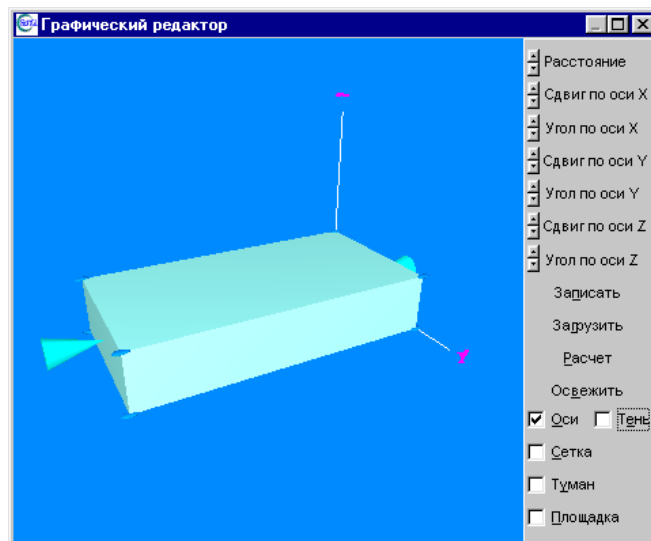


Рисунок 5.1 – Эскиз конструкции макета картографа

Файл входных данных параметров идентификации при гармонической вибрации.	
Определение параметров пластинки:	
Длина, (мм):	39.6
Ширина, (мм):	39.6
Толщина, (мм):	0.5
Размер дискрета:	2
Количество элементов крепления:	4
Диаметр элементов крепления, (мм):	3
Отступ от края пластинки, (мм):	5
Начальные параметры материала:	
Модуль упругости материала, (ГПа):	30
Коэффициент Пуассона материала, (отн. ед.):	0.4
gamma0, (отн. ед.):	0.01
ksigma, (отн. ед.):	1E-9
Плотность материала, (кг/м ³):	7251
Диапазон изменения параметров материала при проведении сеанса идентификации модуля упругости и коэффициента Пуассона:	
Модуль упругости, (ГПа):	от 20 до 40
Коэффициент Пуассона, (отн. ед.):	от 0.3 до 0.45
Количество итераций:	15
Ошибка, (Гц):	10
Резонансная частота (экспериментальная), (Гц):	1080
Диапазон изменения параметров материала при проведении сеанса идентификации gamma0 и ksigma:	
gamma0, (отн. ед.):	от 0.005 до 0.035
ksigma, (отн. ед.):	от 1E-9 до 1E-6
Количество итераций:	30
Ошибка, (Гц):	1
Резонансное ускорение (экспериментальное), (g):	29.8175476

Рисунок 4.10 – Отчет с входными данными

Файл результатов идентификации при воздействии гармонической вибрации.	
Результаты идентификации модуля упругости и коэффициента Пуассона:	
Модуль упругости материала, (ГПа):	36.84062
Коэффициент Пуассона материала, (отн. ед.):	0.30001
Результаты идентификации gamma и ksigma:	
gamma, (отн. ед.):	0.0273902679095045
ksigma, (отн. ед.):	3.60349484503502E-7
Результаты по ускорению и частоте до и после идентификации:	
Резонансная частота (экспериментальная), (Гц):	1080
Резонансное ускорение (экспериментальное), (g):	29.8175476
Резонансная частота (после идентификации), (Гц):	1078.13
Резонансное ускорение (после идентификации), (g):	30.7

Рисунок 4.11 – Отчет с результатами расчета

Таблица 5.1 – Результаты испытаний макета

Частота вибрации, Гц	Амплитуда виброускорения, м/с ² (g)	Показание датчика, м/с ² (g), при направлении вибрации		
		X	Y	Z
20	19,6 (2)	2,95	2,7	2,9
25	- " -	3,0	3,5	1,45
31,5	- " -	1,6	4,7	0,8
40	29,5 (3)	1,0	7,8	1,0
50	- " -	0,8	2,2	0,59
63	- " -	0,6	1,7	0,52
80	- " -	0,34	1,4	0,23
100	- " -	0,16	0,6	0,16
125	- " -	0,09	0,72	0,09
160	- " -	0,18	0,26	0,11
200	- " -	0,12	0,45	0,1
250	- " -	0,04	0,29	0,042
315	- " -	0,064	0,19	0,038
400	- " -	0,34	0,3	0,16
500	- " -	0,13	0,17	0,032

Анализ исходных данных

Так как заданы разные значения входных ускорений (2g и 3g), для проведения идентификации удобнее перейти к амплитудно-частотной характеристике (АЧХ), представляющей собой частотную зависимость отношения выходного ускорения к входному. АЧХ приведена в таблице 5.2.

Результаты расчета

Путем идентификации были получены следующие параметры виброизолятора АТРМ 20/70-4: коэффициенты жесткости и КМП по трем направлениям. Результаты идентификации приведены в таблице 5.3.

Результаты расчета макета по параметрам таблицы 5.3 приведены на рисунках 5.2–5.3.

Выводы

Полученные путем идентификации параметры виброизолятора АТРМ 20/70-4 приведены в таблице Г.3 и могут быть использованы при моделировании на ЭВМ с помощью системы АСОНИКА конструкций приборов, установленных на виброизоляторах данного типа, при механических воздействиях.

Таблица 5.2 – АЧХ

Частота вибрации, Гц	Отношение выходного ускорения к входному, при направлении вибрации		
	X	Y	Z
20	1,47	1,35	1,45
25	1,5	1,75	0,72
31,5	0,8	2,35	0,4
40	0,33	2,6	0,33
50	0,26	0,73	0,19
63	0,20	0,56	0,17
80	0,11	0,46	0,07
100	0,05	0,2	0,05
125	0,03	0,24	0,03
160	0,06	0,087	0,036
200	0,04	0,15	0,033
250	0,013	0,097	0,014
315	0,021	0,063	0,013
400	0,113	0,1	0,053
500	0,043	0,057	0,011

Таблица 5.3 – Параметры виброизолятора АТРМ 20/70-4, полученные по результатам идентификации

Направление оси координат	Коэффициент жесткости, Н/м	КМП, отн.ед.
X	50000	0,6
Y	160000	0,27
Z	29000	0,5

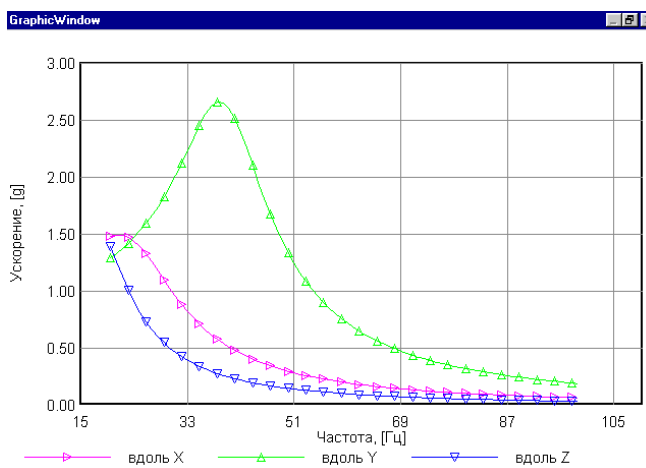


Рисунок 5.2 – АЧХ макета в диапазоне 20...100 Гц

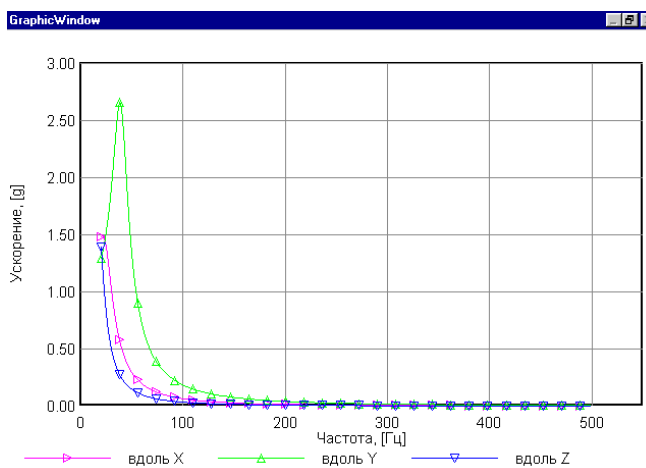


Рисунок 5.3 – АЧХ макета в диапазоне 20...500 Гц

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

При проведении механических расчетов, при создании расчётной модели сложной конструкции становится актуальным использование идеализации её геометрии, которая в дальнейшем оказывает влияние на достоверность результатов, полученных при расчете. Это связано с тем, что часто модель непригодна для расчёта вви-

ду наличия элементов, её усложняющих. В данной методике представлены способы упрощения 3D-модели конструкции, применение которых позволяет подготовить её к расчёту в САЕ-системе.

Расчётная модель конструкции состоит из массива узлов сетки конечных элементов. Однако при создании расчётной модели сложной конструкции необходимо несколько идеализировать её форму, при этом степень идеализации оказывает влияние на достоверность результатов, полученных при расчёте. Особое внимание должно уделяться таким местам конструкции, где наиболее вероятно возникновение механических напряжений (места крепления, опоры, разного рода соединения). Тем не менее, невыполнение упрощения электронной модели изделия ведет к увеличению времени, а то и невозможности выполнения расчётов. Ниже рассматриваются причины, которые приводят к усложнению конечно-элементной модели.

6.1. Особенности 3D-моделей, выполненных в САД-системах.

С точки зрения прочностных расчетов, изделия ЭА осложнены:

1) Значительным количеством радиоэлектронных компонентов (свыше тысячи), расположенных на печатных платах модулей, встроенных в конструкцию. Это существенно замедляет процесс расчета или делает его невозможным для расчета на ЭВМ. На рисунке 6.1 и рисунке 6.2 представлены импортированная в САЕ-систему модель и её фрагмент.

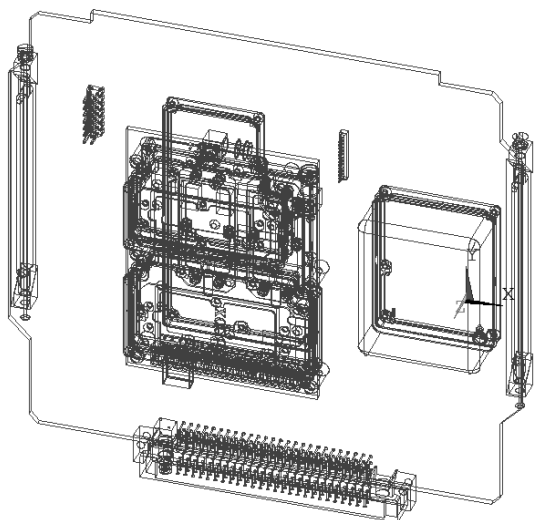


Рисунок 6.1 – Импортированная, не идеализированная модель

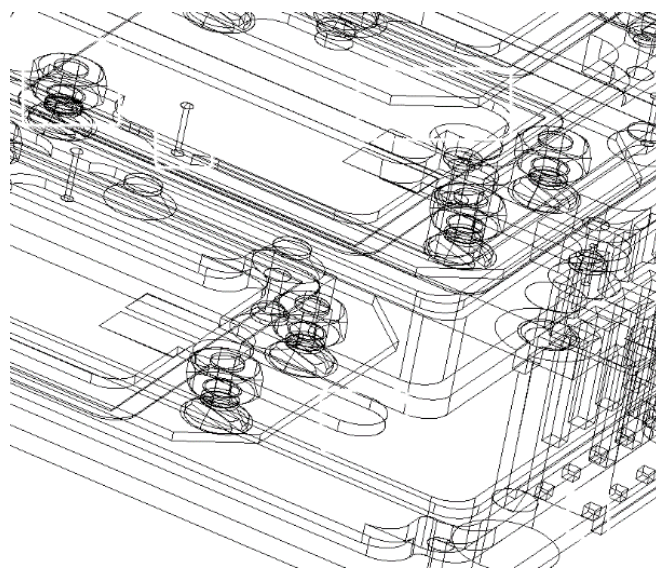


Рисунок 6.2 – Фрагмент импортированной, не идеализированной модели

2) Наличием в модели малогабаритных деталей: винты, кабели, шайбы, что в свою очередь, приведет к «сложным» соединениям и затруднит разбиение конструкции на конечные элементы. Пример представлен на рисунке 6.3. Перечисленные модели влияют на размер конечных элементов, их количество, вероятность безошибочного импорта конструкции и, как было сказано выше, на время дальнейших расчетов. Некоторыми такими деталями можно пренебречь, т.к. вносимая ими жесткость мала, и это мало отражается на результате расчета. Болты, гайки, шайбы, свою прямую функцию не выполняют при расчете. Но они необходимы, если того требует условия задачи.

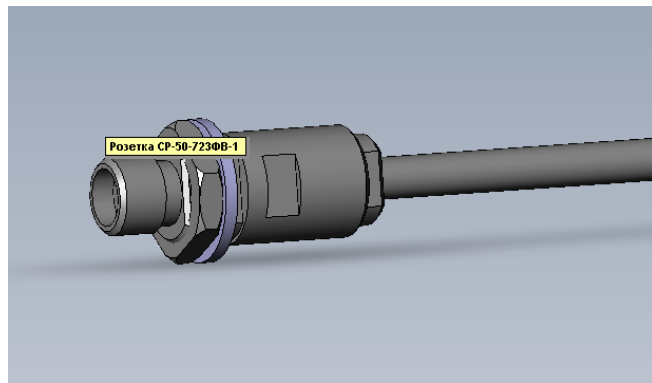


Рисунок 6.3 – Исполнение малогабаритной детали

3) Конструктивным исполнением некоторых деталей. К примеру, наличие отвер-

стей, фасок и скруглений. Примеры представлены на рисунках 6.4 – 6.6. На границе данных областей происходит «сгущение» сетки конечных элементов, что приводит к увеличению их количества, и уменьшению их размера, увеличению времени расчета, уменьшению вероятности расчета конструкции (т.к. срабатывает ограничение программы по количеству конечных элементов).

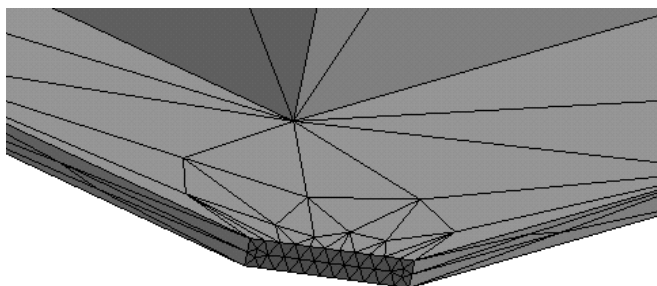


Рисунок 6.4 – Сгущение сетки конечных элементов в области фаски

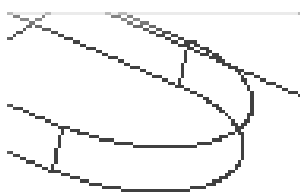


Рисунок 6.5 – Пример скругления

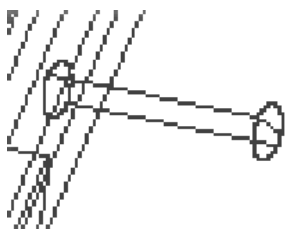


Рисунок 6.6 – Пример отверстия

В конце концов, при стремлении к точности моделирования увеличивается время на импорт модели, затрудняется создание сетки конечных элементов и увеличивается время расчета. Связано это с тем, что увеличивается количество деталей, а, как следствие, поверхностей, сборка становится более громоздкой. При расчете в САЕ-системах используют идеализированную расчетную модель.

Для решения задач по расчету произвольных конструкций на механические воздействия была разработана методика по

работе с САЕ-системами, которая может быть применена к подсистеме АСОНИКА-М-3D. На примере данной подсистемы показано применение методики подготовки данных к расчетам на механические воздействия.

6.2. Пример применения методики.

Как показывает практика, конструкции ЭА часто могут отличаться от стандартных форм исполнения (блок кассетный, блок цилиндрический, шкаф). В подсистеме АСОНИКА-М-3D имеется возможность рассчитывать воздействия механических факторов моделей любого конструктивного исполнения, импортированных из САД-систем, таких как SolidWorks, Pro-Engineer и др. Это позволяет повысить сходимость результатов моделирования с данными эксперимента, за счет более точно воспроизведенной геометрии конструкции, в отличие от применения типовых конструкций в АСОНИКА-М, предназначенных для более быстрого получения результата расчета, но менее точного.

На рисунке 6.7 представлена последовательность действий по работе с САЕ-системой на примере подсистемы АСОНИКА-М-3D.

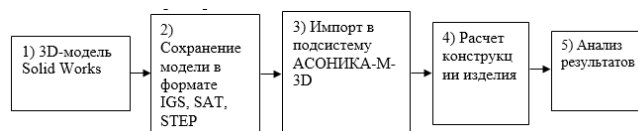


Рисунок 6.7 – Схема по работе с подсистемой АСОНИКА-М-3D

6.2.1. Исходная модель. Как упоминалось ранее, перед сохранением в формате, необходимом для передачи в подсистему АСОНИКА-М-3D, зачастую требуется идеализировать модель конструкции блока. На рисунке 6.8 представлена исходная модель изделия, созданная в SolidWorks:

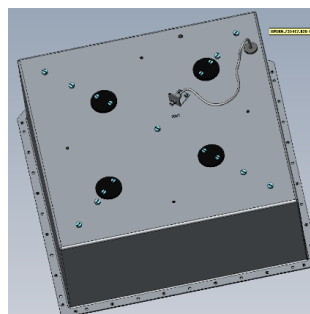


Рисунок 6.8 – Исходная модель конструкции

В данном примере применяются следующие методы по упрощению конструкции:

- исключаются малогабаритные по сравнению с конструкцией детали;
- исключаются, где это представляется возможным, фаски и скругления.

Рассматриваются условия закрепления конструкции, так как закрепление необходимо задать точно. Упрощенное закрепление (например, по линии вместо точки), повлияет на сходимость результатов расчета с результатами эксперимента.

Также проверяется отсутствие пересечений деталей в сборке.

На рисунке 6.9 представлена идеализированная модель конструкции изделия.

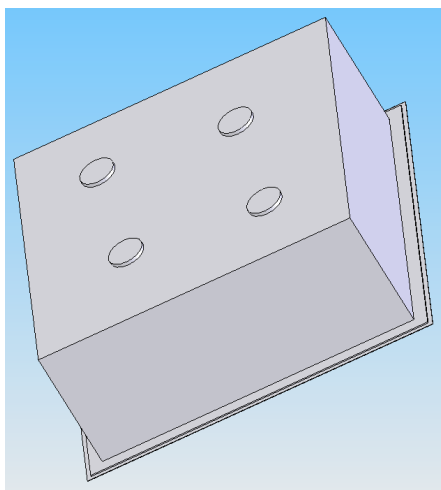
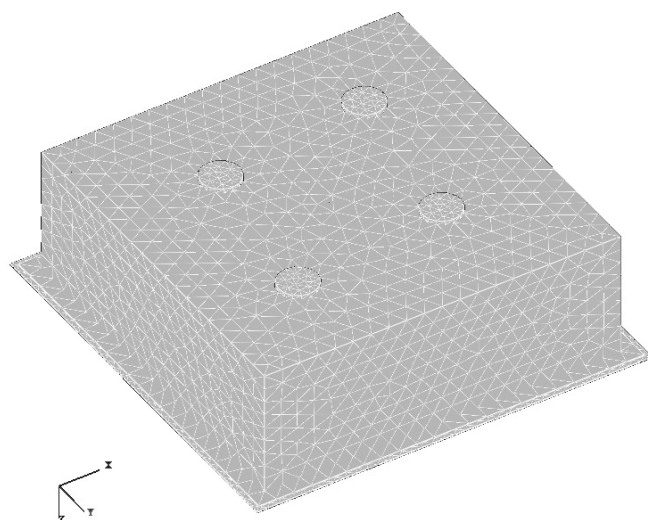


Рисунок 6.9 – Идеализированная модель конструкции изделия

6.2.2. Сохранение модели. В современной САД-системе имеется возможность сохранить геометрию конструкции в любом формате. В подсистеме АСОНИКА-М-3Д имеется возможность импорта данных, сохраненных в форматах *.SAT, *.IGS, *.STEP. Многообразие форматов для сохранения объясняется тем, что не из каждой САД-системы можно безошибочно импортировать геометрию конструкции в том или ином формате в САЕ-систему. Так, например, если конструкция была создана в Pro-Engineer, то для ее сохранения применяется формат IGS. При сохранении в SolidWorks, наиболее безошибочными форматами для сохранения геометрии являются форматы SAT и STEP. Данная конструкция была сохранена в формате STEP.

6.2.3. Импорт в подсистему АСОНИКА-М-3Д. В подсистеме АСОНИКА-М-3Д создается новый проект, сохраняется, осуществляется переход к интерфейсу по работе с моделью, осуществляется импорт модели. Далее создается конечно-элементная модель, производится задание материалов конструкций и закреплений. На рисунке



ке 6.10 представлена конечно-элементная модель конструкции изделия.

Рисунок 6.10 – Модель, разбитая на конечные элементы

6.2.4. Задание параметров расчета. Далее производится задание параметров расчета. Интерфейс представлен на рисунке 6.11. Цель расчета: определение первой резонансной частоты.

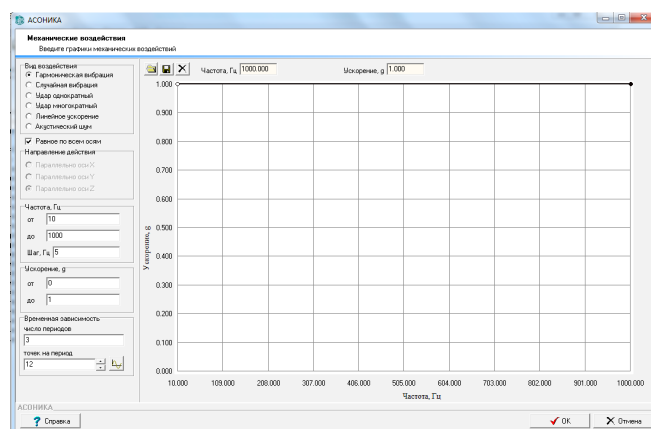


Рисунок 6.11 – Параметры расчета

6.2.5. Анализ результатов. На рисунке 6.12 представлено поле ускорений на резонансной частоте.

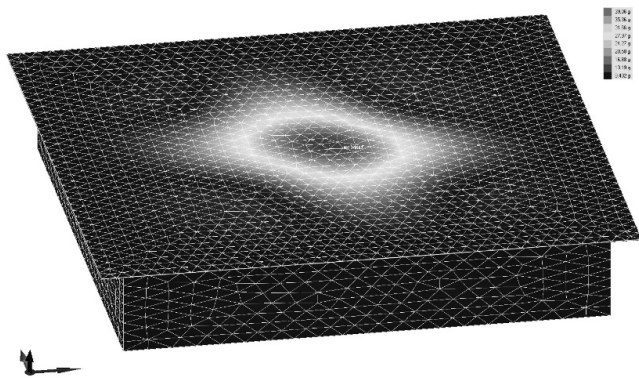


Рисунок 6.12 – Поле ускорений на резонансной частоте

На рисунке 6.13 представлен график, содержащий резонансную частоту. График построен на основании данных, содержащихся в узле модели, где возникают максимальные ускорения.

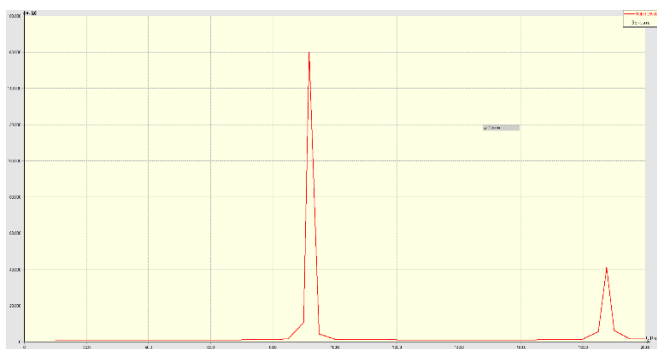


Рисунок 6.13 – Резонансная частота

6.3. Рекомендации.

6.3.1. Устранение ошибок:

1. Проверить всю модель на пересечения деталей друг относительно друга – пересечений деталей быть не должно (Global interference).

2. Склеить детали относительно друг друга (mate, consistent).

3. У разъемов проверить зазор крепления деталей на рамки или другие поверхности крепления, пересечений быть не должно, то есть когда одна деталь «заходит» на другую (они должны касаться друг друга).

4. Разъемы с отверстиями (мама/папа) полностью заполнить материалом (не должны остаться штырьки и отверстия).

5. Если есть отверстия в крепежных деталях разъемов, то отверстия этих деталей «залить» материалом.

6. Не допускать вариантов, когда одна деталь касается другой по линии или точке

(поверхностью касания двух деталей является линия или точка), то есть одна деталь должна касаться другой по некой поверхности с какой-либо площадью.

6.3.2. Упрощение:

1. Убрать все крепежные детали, все винты,

2. Убрать фаски, лыски, мелкие скругления ($r \leq 2$ мм).

3. Поверхности сложной формы – мелкие оребрения крупных поверхностей – сделать гладкими.

4. Если в модели есть шестигранники (в сечении детали шестигранник), например стойки этажерочной конструкции и др., скруглить грани шестигранника радиусом скругления 1 мм.

5. После проведения перечисленных упрощений удалить (засупрессить) все отверстия всех деталей, кроме крепежных отверстий прибора.

6. Затем для проведенных упрощений подогнать массу прибора относительно настоящей массы прибора (плотностью деталей), а именно главное, подогнать массу печатных узлов, а также разъемов, входящих в состав прибора.

7. Далее сохранить модель в формате STEP (IGES, SAT). При сохранении выбрать «solids» (твердые тела).

7 Примеры моделирования механических процессов в ЭРИ и ЭА с помощью системы АСОНИКА

7.1. Моделирование механических характеристик печатных узлов 1 и 2 при воздействии гармонической вибрации и сравнение полученных результатов с экспериментальными значениями

Задача расчета:

провести с помощью системы АСОНИКА-ТМ моделирование механических характеристик 2-х печатных узлов 1 и 2 при воздействии гармонической вибрации и сравнить полученные результаты с экспериментальными значениями.

Данные для расчета:

чертежи конструкций печатных узлов (рисунок 7.1, рисунок 7.2); перечни элементов; выходные файлы САПР печатных узлов в формате IDF; параметры гармониче-

ской вибрации: 5...500 Гц, 5g.

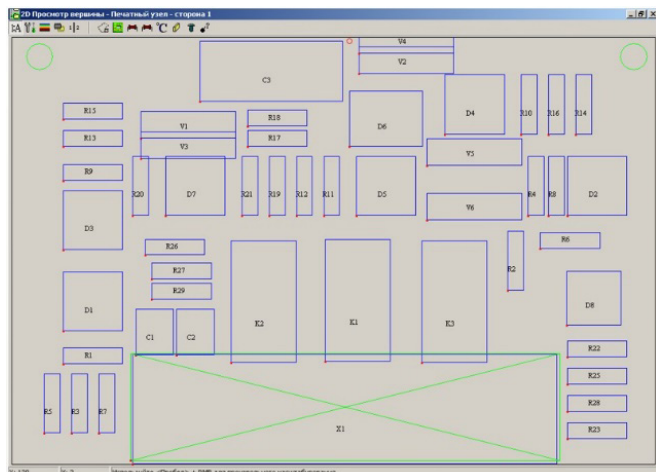


Рисунок 7.1 – Изображение печатного узла 1 в графическом редакторе подсистемы АСОНИКА-ТМ

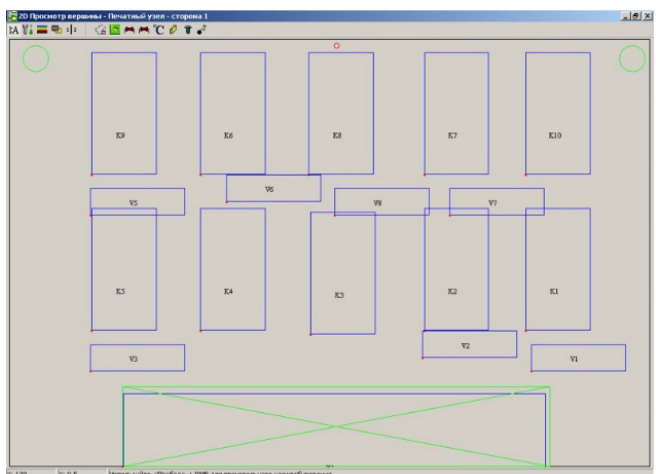


Рисунок 7.2 – Изображение печатного узла 2 в графическом редакторе подсистемы АСОНИКА-ТМ

Результаты расчета.

Размещение ЭРИ было автоматически считано подсистемой АСОНИКА-ТМ из выходных IDF-файлов САПР печатных узлов. Затем были заданы крепления (на рисунке 7.1, рисунке 7.2 окрашены в зеленый цвет) и контрольные точки (на рисунке 7.1, рисунке 7.2 показаны красным кружком). Контрольные точки имитируют вибродатчики.

Было задано входное механическое воздействие (см. рисунок 7.3).

Результаты моделирования представлены на рисунках 7.4 – 7.7 и в таблицах 7.1, 7.2.

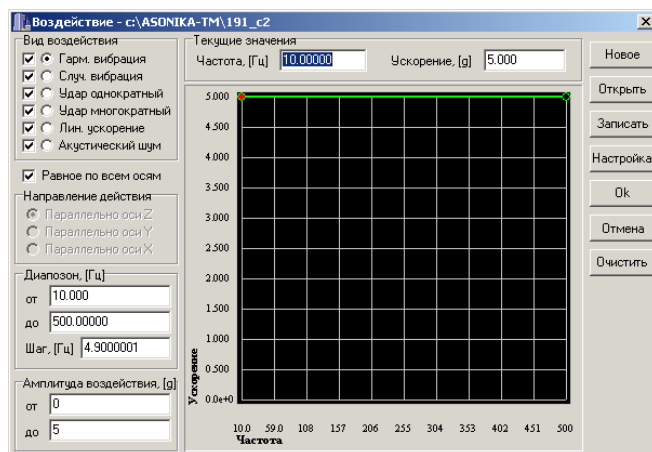


Рисунок 7.3 – Заданное входное вибрационное воздействие

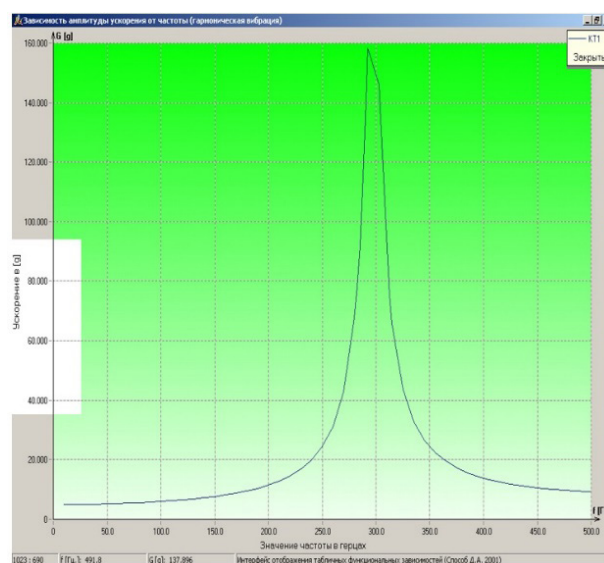


Рисунок 7.4 – Зависимость виброускорения в контрольной точке от частоты для печатного узла 1

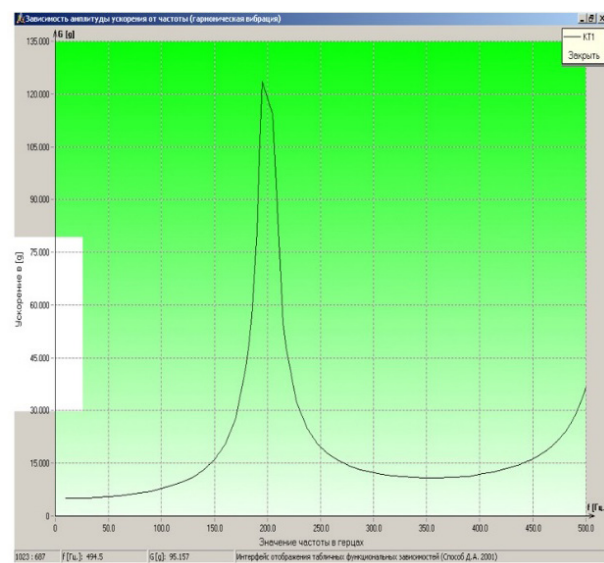


Рисунок 7.5 – Зависимость виброускорения в контрольной точке от частоты для печатного узла 2

Таблица 7.1 – Карта механических режимов работы ЭРИ для печатного узла 1 (при гармонической вибрации)

N	ОБОЗНАЧЕНИЕ	У С К О Р Е Н И Е Э Р Э			КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ Э Р Э, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА Э Р Э, [G]
		ЧАСТОТА, [Гц]	МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО Т У, [G]		
П/П	Э Р Э	3	4	5	6	7
1	C1	292.50	7.81	30.00	0.260	
3	C3	292.50	137.18	30.00	4.573	107.18
4	D1	292.50	9.51	30.00	0.317	
7	D4	292.50	89.13	30.00	2.971	59.13
8	D5	292.50	99.27	30.00	3.309	69.27
9	D6	292.50	133.18	30.00	4.439	103.18
10	D7	292.50	67.90	30.00	2.263	37.90
12	K1	292.50	29.83	30.00	0.994	
15	R1	500.00	5.51	30.00	0.184	
18	R4	292.50	33.72	30.00	1.124	3.72
24	R10	292.50	46.74	30.00	1.558	16.74
25	R11	292.50	105.76	30.00	3.525	75.76
26	R12	292.50	104.27	30.00	3.476	74.27
30	R16	292.50	31.68	30.00	1.056	1.68
31	R17	292.50	121.98	30.00	4.066	91.98
32	R18	292.50	134.62	30.00	4.487	104.62
33	R19	292.50	100.95	30.00	3.365	70.95
34	R20	292.50	41.91	30.00	1.397	11.91
35	R21	292.50	91.94	30.00	3.065	61.94
39	R26	292.50	36.71	30.00	1.224	6.71
43	V1	292.50	82.18	30.00	2.739	52.18
44	V2	292.50	137.09	30.00	4.570	107.09
45	V3	292.50	78.09	30.00	2.603	48.09
46	V4	292.50	137.80	30.00	4.593	107.80
47	V5	292.50	77.92	30.00	2.597	47.92
48	V6	292.50	58.64	30.00	1.955	28.64
49	X1	290.00	5.00	30.00	0.167	

Таблица 7.2 – Карта механических режимов работы ЭРИ для печатного узла 2

N	ОБОЗНАЧЕНИЕ	У С К О Р Е Н И Е Э Р Э			КОЭФ-ЕНТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ Э Р Э, [ОТ.ЕД.]	ПЕРЕГРУЗКА Э Р Э, [G]
		ЧАСТОТА, [Гц]	МАКСИМАЛЬНОЕ РАСЧЕТНОЕ, [G]	МАКСИМАЛЬНОЕ ДОПУСТИМОЕ ПО Т У, [G]		
П/П	Э Р Э	3	4	5	6	7
1	K1	500.00	32.03	30.00	1.068	2.03
2	K2	195.00	40.27	30.00	1.342	10.27
3	K3	195.00	50.18	30.00	1.673	20.18
4	K4	195.00	42.38	30.00	1.413	12.38
5	K5	500.00	32.28	30.00	1.076	2.28
6	K6	195.00	89.97	30.00	2.999	59.97
7	K7	195.00	83.65	30.00	2.788	53.65
8	K8	195.00	113.86	30.00	3.795	83.86
9	K9	195.00	33.65	30.00	1.122	3.65
10	K10	195.00	31.01	30.00	1.034	1.01
11	V1	500.00	17.07	30.00	0.569	
14	V5	195.00	36.04	30.00	1.201	6.04
15	V6	195.00	84.39	30.00	2.813	54.39
16	V7	195.00	50.71	30.00	1.690	20.71
17	V8	195.00	82.00	30.00	2.733	52.00
18	X1	192.50	5.00	30.00	0.167	

В таблице 7.3 приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 1. В таблице 7.4 приведены результаты сравнения расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 2.

Таблица 7.3 – Сравнение расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 1

№ п/п	Характеристика	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность, %
1	Резонансная частота	292 Гц	300 Гц	2,6
2	Виброускорение в контрольной точке	158g	150 g	5,3

Таблица 7.4 – Сравнение расчетных и экспериментальных результатов для печатного узла 2

№ п/п	Характеристика	Расчетное значение	Экспериментальное значение	Погрешность, %
1	Резонансная частота	195 Гц	184 Гц	6

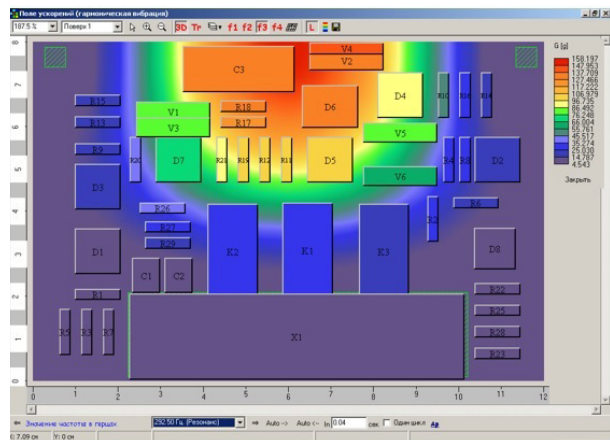


Рисунок 7.6 – Поле виброускорений в печатном узле 1 на резонансной частоте

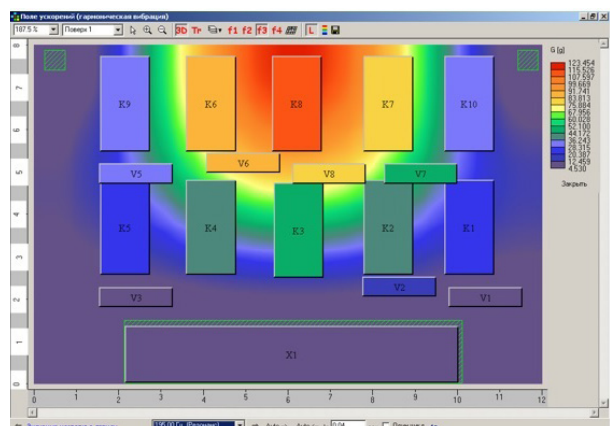


Рисунок 7.7 – Поле виброускорений в печатном узле 2 на резонансной частоте

2	Виброускорение в контрольной точке	124 g	150 g	17
---	------------------------------------	-------	-------	----

Выводы.

В результате сравнения расчетных и экспериментальных результатов было получено, что погрешность расчетов для печатного узла 1 составляет 2,6 % по частоте и 5,3 % по амплитуде. Погрешность расчетов для печатного узла 2 составляет 6 % по частоте и 17 % по амплитуде. Погрешность расчетов в подсистеме АСОНИКА-ТМ является вполне удовлетворительной для инженерных расчетов.

Таким образом, подсистема АСОНИКА-ТМ может быть использована при проектировании конструкций электронной аппаратуры на предприятии.

7.2. Фрагменты расчета механических характеристик шкафа

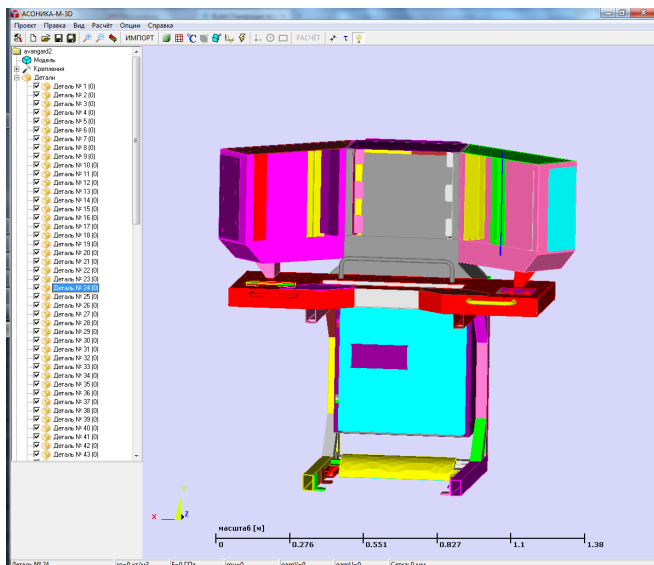


Рисунок 7.8 – Внешний вид шкафа

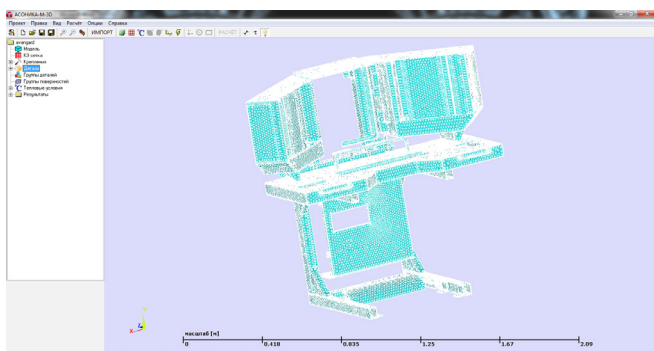


Рисунок 7.9 – Конечно-элементная модель шкафа

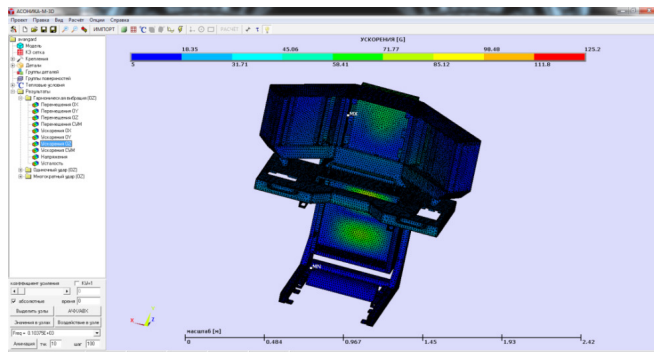


Рисунок 7.10 – Ускорения по оси Z на частоте 103 Гц

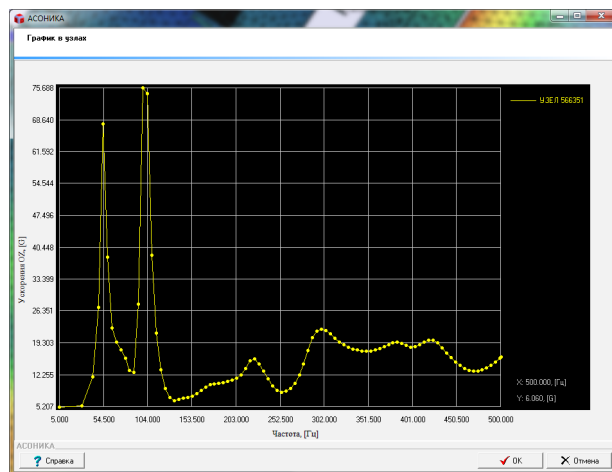


Рисунок 7.11 – Зависимость ускорения от частоты в точке максимума по оси Z

7.3. Фрагменты расчета механических характеристик блока

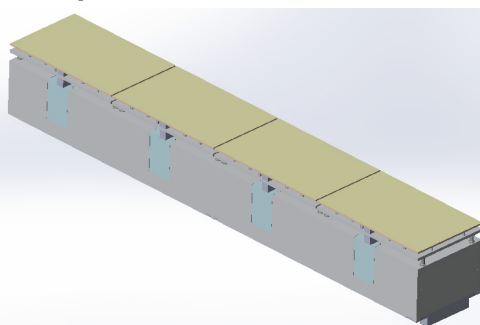


Рисунок 7.12 – Внешний вид конструкции блока

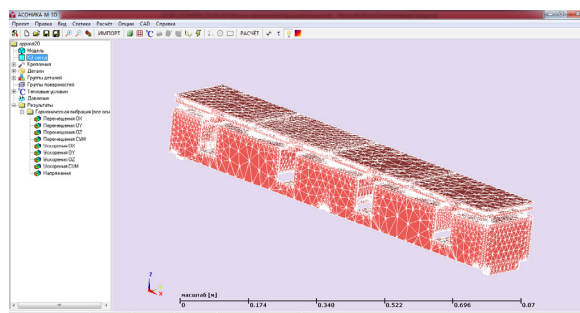


Рисунок 7.13 – Конечно-элементная сетка блока

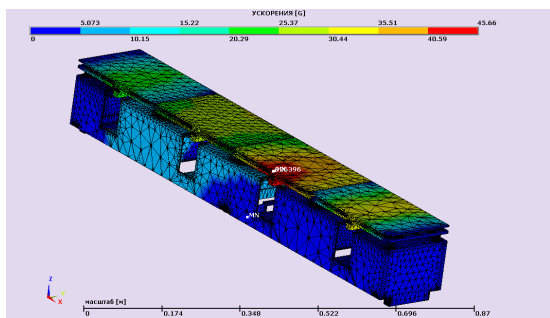


Рисунок 7.14 – Поле максимальных суммарных ускорений



Рисунок 7.15 – Зависимость максимального суммарного ускорения от частоты гармонической вибрации (в точке МХ на рисунке 7.14)

7.4. Фрагменты расчета механических характеристик микросхемы

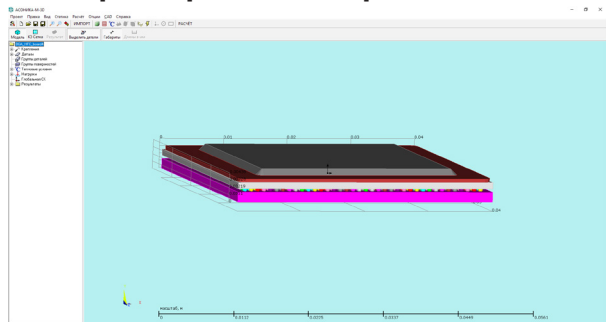


Рисунок 7.16 – Общий вид микросхемы в подсистеме АСОНИКА-М-3Д

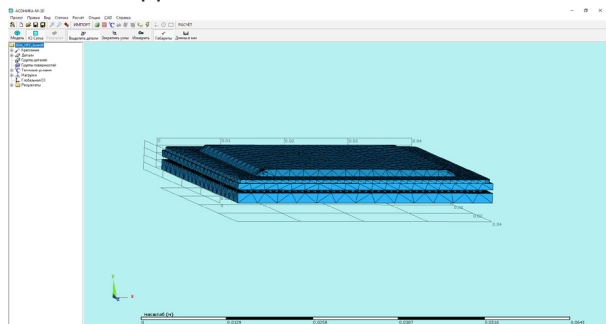


Рисунок 7.17 – Конечно-элементная модель микросхемы в подсистеме АСОНИКА-М-3Д

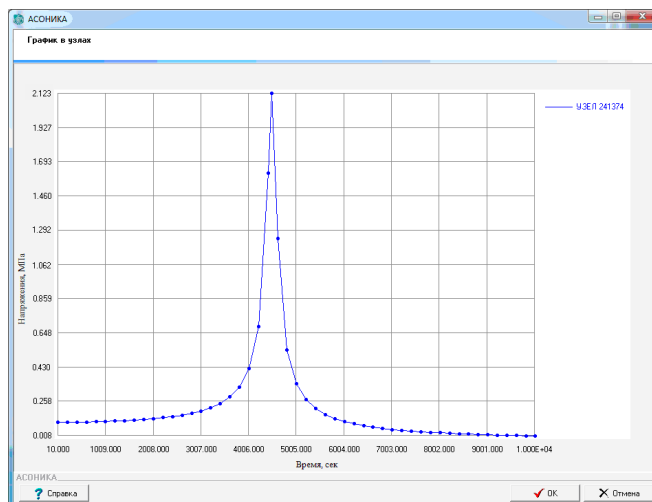
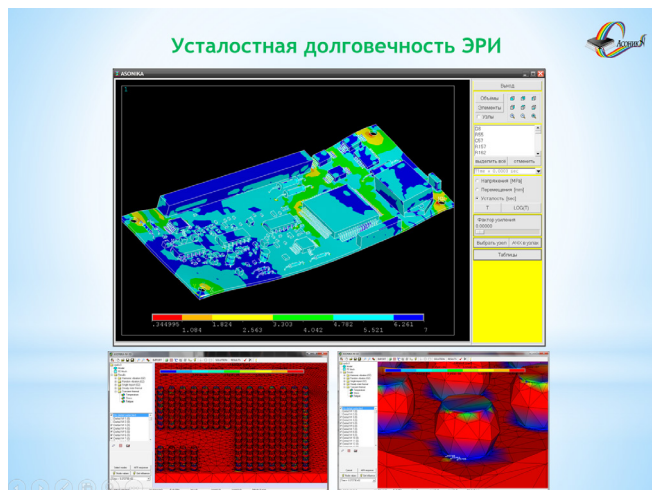
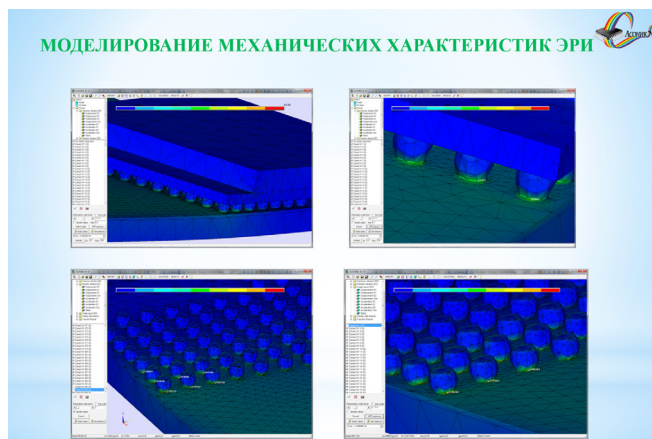
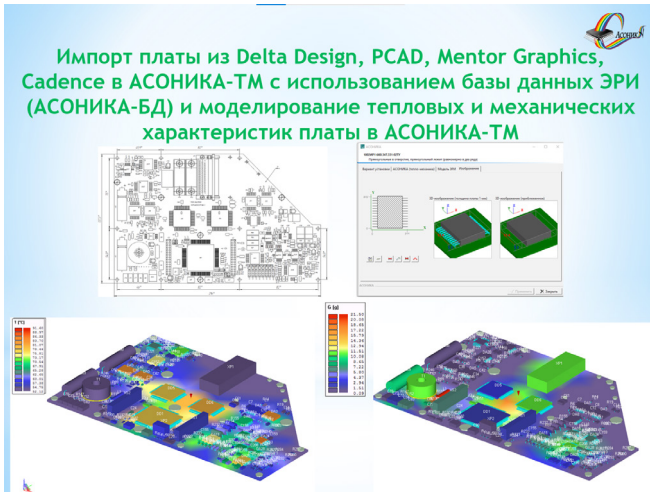


Рисунок 7.18 – Резонансная характеристика микросхемы в подсистеме АСОНИКА-М-3Д (резонанс на частоте 4486 Гц)



8 Примеры интеграции САПР электроники АСОНИКА с отечественными САПР

8.1. Моделирование на внешние 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-Р) - ускорения и температуры ЭРИ автоматически передаются из АСОНИКА-ТМ

Формы 5

Карты рабочих режимов ЭРИ применены при механических воздействиях, соответствующих требованиям ПДД

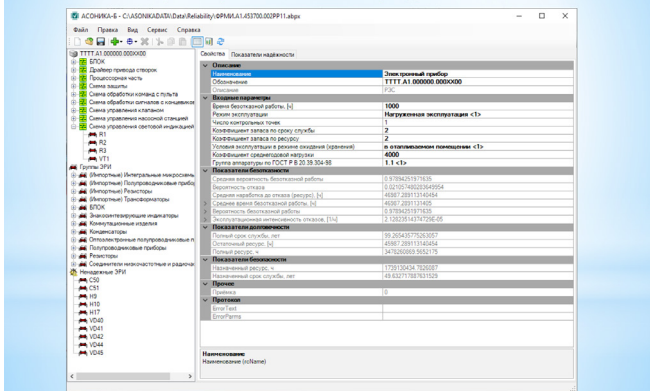
Условие эксплуатации	в виброударе	в виброударе	в виброударе	в виброударе	в виброударе
Вибрация	стандарт МС-8-203	1	1,5	1,5	1,5
Механические удары	стандарт МС-8-203	по оси X	100	100	100
		по оси Y	100	100	100
Механические удары	стандарт МС-8-203	по оси X	100	100	100
		по оси Y	100	100	100

Формы 63

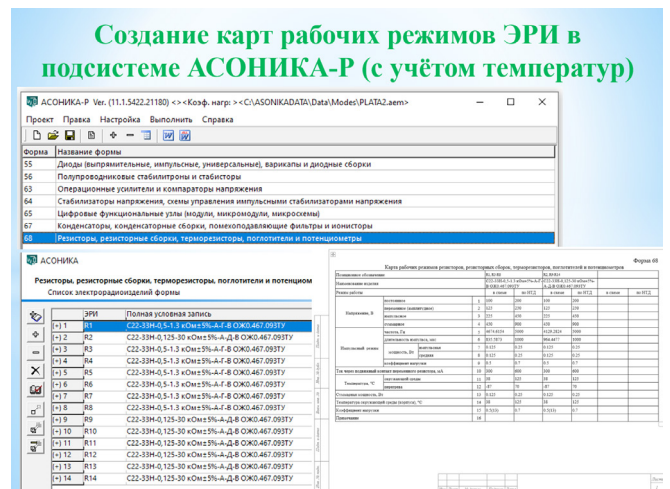
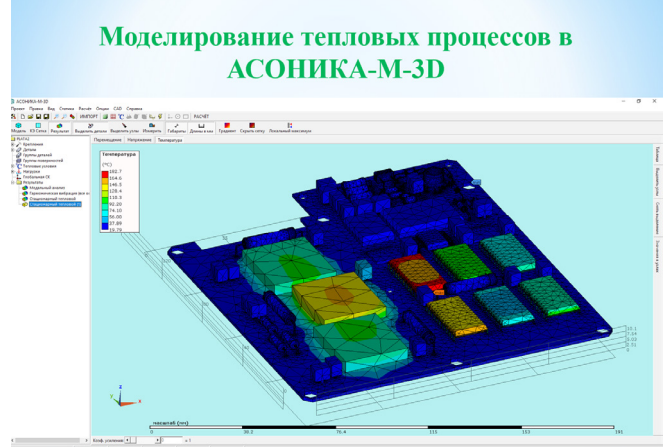
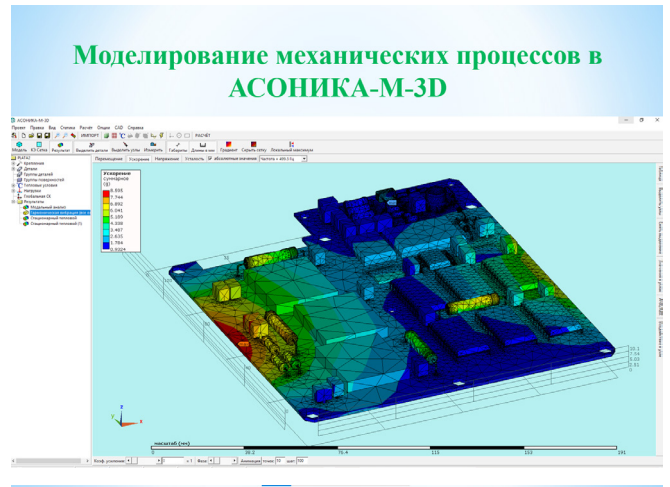
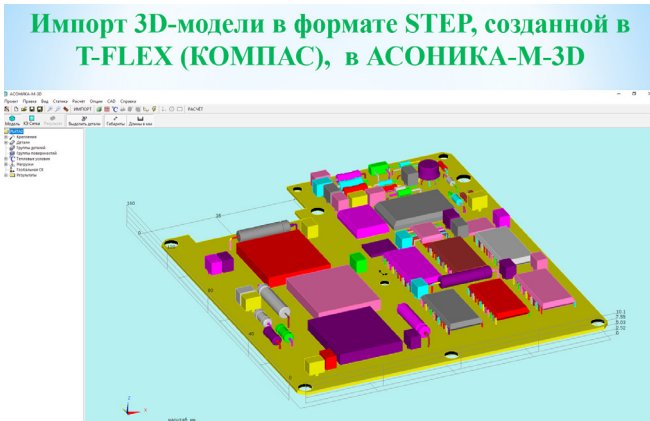
Карты рабочих режимов ЭРИ применены при механических воздействиях, соответствующих требованиям ПДД

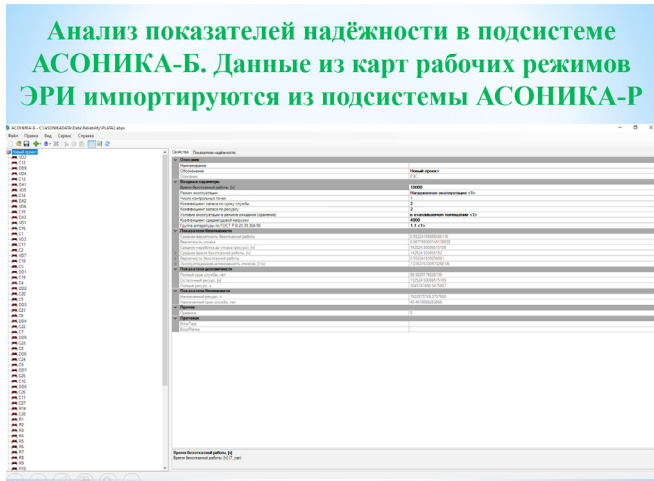
Условие эксплуатации	в виброударе	в виброударе	в виброударе	в виброударе	в виброударе
Вибрация	стандарт МС-8-203	по оси X	100	100	100
		по оси Y	100	100	100
Механические удары	стандарт МС-8-203	по оси X	100	100	100
		по оси Y	100	100	100

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



8.2. Интеграция T – FLEX CAD (КОМ-ПАС) и АСОНИКА для электроники.





Автоматическое формирование отчёта в подсистеме АСОНИКА-Б

А. РАСЧЁТ НАДЁЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Показатели безопасности:

- Плотность отказов (λ , 10^4 , $1/\text{ч}$): 7016,3163
- Среднее время безотказной работы (T_b , ч): 142525
- Вероятность безотказной работы (P_b): 0,9322

Показатели долговечности:

- Полный срок службы (C_b , лет): 86,922

Показатели безопасности:

- Наличный ресурс ($T_{\text{на}}$, ч): 1522873749,2738 ч
- Наличный срок службы ($C_{\text{на}}$, лет): 43,461

Перечень элементов, входящих в состав, и их надёжности отказы:

Таблица 1. Проектирование режимов

Обозначение	Наименование и обозначение	λ, 10 ⁴ , 1/ч		Kb		λ, 10 ⁴ , 1/ч	
		исх.	итог	исх.	итог		
VD2	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD3	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD4	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD5	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD6	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD1	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD2	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD3	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD4	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD5	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD6	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		
VD7	ЭП3.362.029-01ТУ	15,0000000590464	0,09665	1	1,5223		

Кb - Коэффициент риска

Таблица 2. Проектирование режимов

В	Классификация	λ, 10 ⁴ , 1/ч	Kb	λ, 10 ⁴ , 1/ч
C1	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C10	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C11	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C12	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C13	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C14	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C15	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C16	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C17	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C18	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C19	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C20	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C21	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C22	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C23	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C24	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C25	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198
C3	К10.17х-Н50-1000 фФ05 %В ОВ0.400.107ТУ	33	0,8406	1 25,4198

9 Национальные стандарты

Моделирование и виртуальные испытания на механические 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. Мишустинным, 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 критиче-**

ской информационной инфраструктуры Российской Федерации».

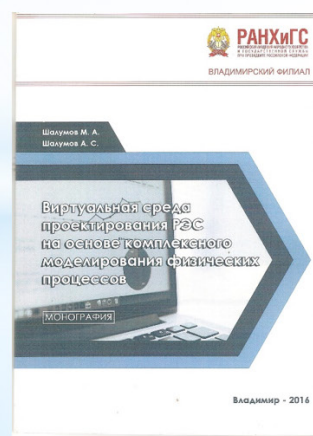
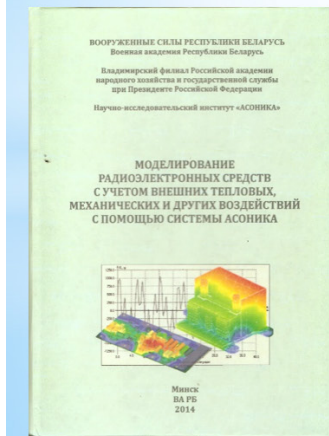
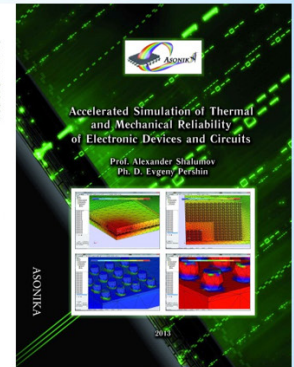
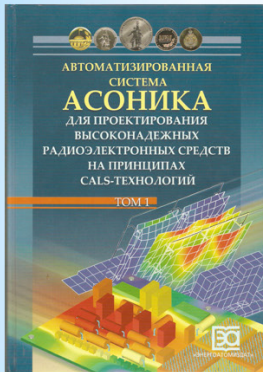
27.04.2023 на совещании по вопросам развития беспилотной авиации **Президент России Владимир Владимирович Путин** призвал шире внедрять созданные с применением российского программного обеспечения цифровые платформы, которые позволяют радикально упростить, ускорить **использование цифровых двойников вместо натуральных 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 собственная **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. Среда 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

По системе АСОНИКА выпущено множество книг:
<https://asonika-online.ru/books/>



стандарты, регламентирующие виртуальные испытания электронной аппаратуры и электронной компонентной базы на механические воздействия:

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. ГОСТ Р 70975-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие синусоидальной вибрации.

3. ГОСТ Р 70914-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие случайной вибрации.

4. ГОСТ Р 71134-2023 Системы автоматизированного проектирования электрони-

ки. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие случайной вибрации.

5. ГОСТ Р 70911-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие одиночного механического удара.

6. ГОСТ Р 71135-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной компонентной базы на воздействие многократного механического удара.

7. ГОСТ Р 71133-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие линейного ускорения.

8. ГОСТ Р 70912-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема виртуальных испытаний электронной аппаратуры на воздействие акустического шума.

9. ГОСТ Р 71130-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема **виртуальных испытаний электронной компонентной базы** на воздействие **акустического шума**.

10. ГОСТ Р 71132-2023 Системы автоматизированного проектирования электроники. Подсистема **виртуальных испытаний электронной аппаратуры** на воздействие **статических нагрузок**.

10 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] Моделирование тепловых и механических процессов в конструкциях радиоэлектронной аппаратуры с помощью подсистемы АСОНИКА-ТМ/ Ю.Н.Кофанов, А.С.Шалумов, К.Б.Варицев и др.; Под ред. Ю.Н.Кофанова. М.: МГИЭМ, 1999. 139 с.

[2] Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Журавский В.Г., Гольдин В.В. Математическое моделирование радиоэлектронных средств при механических воздействиях. М.: Радио и связь, 2000. 226 с.

[3] Автоматизация проектирования и моделирования печатных узлов электронной аппаратуры/ Ю.Н. Кофанов, Н.В. Малютин, А.В. Сарафанов, С.И. Трегубов, А.С. Шалумов А.С. М.: Радио и связь, 2000. 389 с.

[4] Кофанов Ю.Н., Новиков Е.С., Шалумов А.С. Информационная технология моделирования механических процессов в конструкциях радиоэлектронных средств. М.: Радио и связь, 2000. 160 с.

[5] Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Кофанова Ю.Н., Малютин Н.В., Шалумова А.С. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.

[6] Русановский С.А., Шалумов А.С. Математическое и программное обеспечение человеко-машинных интерфейсов для моделирования бортовых приборов и систем. Избранные труды Российской школы по проблемам науки и технологий. М.: РАН, 2007. 168 с.

[7] Титенко Е.А., Шалумов А.С. Информационные системы и технологии. Книга 2/ Отв. ред. Я.А. Максимов. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. 110 с.

[8] Информационные системы и технологии: монография. Кн. 3/ А.А. Белов, В.П. Иващенко, А.С. Шалумов [и др.]. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2011. 302 с.

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

[10] A. Shalumov, E. Pershin. Accelerated Simulation of Thermal and Mechanical Reliability of Electronic Devices and Circuits. Moscow: Printing by PrintLETO.ru, 2013. 128 p.

[11] Кофанов Ю.Н., Шалумов А.С., Увайсов С.У., Сотникова С.Ю. Информационные технологии проектирования радиоэлектронных средств / Под отв. редакцией Ю.Н. Кофанова. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2013. 392 с.

[12] Моделирование радиоэлектронных средств с учетом внешних тепловых, меха-

нических и других воздействий с помощью системы АСОНИКА: монография / А. С. Шалумов, В. М. Ивашко, Н. В. Малютин, Ю. Н. Кофанов, Е. Ю. Тихонова; под ред. проф. А. С. Шалумова. Минск: Военная академия Республики Беларусь, 2014. 372 с.

[13] Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на

основе комплексного моделирования физических процессов. – Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.

[14] Шалумов А.С., Шалумов М.А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 422 с.

Итоги форума «Микроэлектроника 2023» в свете развития отечественных САПР электроники и Реестра отечественного ПО

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 итоги пленарной сессии и круглого стола на тему «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем», состоявшихся в рамках форума «Микроэлектроника-2023». Кратко прокомментированы тезисы каждого докладчика с точки зрения отношения к САПР электроники и результатов их внедрения. Рассмотрен вопрос о публикации докладов по теме «САПР электроники». Рассмотрены САПР электроники в реестре отечественного ПО.

Ключевые слова: САПР электроники, доклады, публикации, реестр, российское программное обеспечение.

Results of the Microelectronics 2023 forum in the light of the development of domestic CAD electronics and the registry of domestic software

Rafilovich M.I.

Abstract

The article discusses the results of the plenary session and round table on the topic “Systems for design and modeling of electronic components and systems”, held within the framework of the Microelectronics-2023 forum. The theses of each speaker are briefly commented on from the point of view of their attitude towards CAD electronics and the results of their implementation. The issue of publishing reports on the topic “CAD Electronics” was considered. Electronics CAD systems in the domestic software registry were reviewed.

Keywords: CAD electronics, reports, publications, registry, Russian software.

Введение

Российский форум «Микроэлектроника» в этом году стал рекордным по целому ряду параметров, в том числе по количеству участников, которое превысило 2 400 человек (https://niiet.ru/23_10_2023/). Значимость мероприятия нашла отражение и в его представительности. В частности, с приветственными словами к участникам форума в начале его пленарной части обратились Председатель Правительства Российской

Федерации Михаил Владимирович Мишустин, председатель Программного комитета Российского форума «Микроэлектроника 2023», академик РАН Геннадий Яковлевич Красников, заместитель Председателя Правительства Российской Федерации – министр промышленности и торговли Российской Федерации Денис Валентинович Мантуров, заместитель Председателя Правительства Российской Федерации Дмитрий Николаевич Чернышенко.

Михаил Владимирович Мишустин в своем видеообращении, помимо прочего, указал на то, что со стороны государства уделяется особое внимание формированию комфортных условий для компаний, которые заняты в области электроники.

«Расширяем меры поддержки по всей цепочке – от прикладных исследований до внедрения готовых образцов аппаратуры, обеспечиваем необходимым финансированием, льготными кредитами, и за счет налоговых преференций только за прошлый год, в частности, организации сэкономили почти девять миллиардов рублей, по страховым взносам – свыше шести миллиардов. Эти средства можно направить на расширение бизнеса, на запуск новых проектов. Благодаря этим мерам оборот производителей радиоэлектроники только за первое полугодие увеличился на треть по сравнению с аналогичным периодом прошлого года», – сказал он.

Денис Валентинович Мантуров, поприветствовав участников форума, отметил, в частности, что в этом году были утверждены Основы государственной политики России в области развития электронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу: «В них четко отражено, что системообразующий статус отрасли требует достижения всеобъемлющего технологического суверенитета», – сказал он. Говоря о текущих достижениях, вице-премьер указал: «Только за девять месяцев текущего года российский реестр электронной продукции пополнился более чем на 70%. Рассчитываем, что разработчики и производители дальше будут поддерживать набранный темп».

Также было отмечено, что стратегические направления развития включают в том числе создание специального оборудования, технологических материалов, технологий, подготовку кадров.

В рамках первого пленарного заседания прозвучало два доклада. Первый из них – посвященный современному состоянию и перспективам развития микроэлектроники – представил Геннадий Яковлевич Красников, познакомив аудиторию в том числе с новыми решениями, создаваемыми в мире

в области микроэлектронных структур для того, чтобы продолжить движение по пути миниатюризации, повышения быстродействия и энергоэффективности устройств. Также в докладе нашли отражение вопросы развития технологий ЭКБ для нейровычислителей и направления квантовых вычислений.

Доклад заместителя министра промышленности и торговли РФ Василия Викторовича Шпака был озаглавлен «Национальная электроника – основа технологического суверенитета». Докладчик сообщил о некоторых достижениях последних лет, в частности о созданных отраслевых консорциумах, которые содействуют диалогу между министерством и отраслью. Основная часть доклада была посвящена Концепции технологического развития на период до 2030 года и Основам государственной политики России в области развития электронной промышленности на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Докладчик рассказал об основных положениях этих документов, поставленных ими целях и мерах по их достижению: «К 30-му году ставим перед собой цель достичь уровня производства 14 нм. Это цель, к которой мы идем. Да, трудно. Да, сложно. Но мы очень будем пытаться в 30-м году её достичь. Теперь по поводу того, как работает регулирование. Я вам могу сказать, что мы сейчас следим за динамикой, и всё так же и будет продолжаться, октябрь, ноябрь, декабрь, то мы в этом году уже пробьём 50% доли российского радиоэлектронного оборудования на регулируемом рынке. Я хочу сказать вам спасибо за то, что вы поверили в себя!»

1 О САПР электроники на форуме

В рамках форума «Микроэлектроника-2023» состоялись пленарная сессия и круглый стол на тему «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем». Предлагаем ознакомиться с ключевыми тезисами докладчиков (<https://russianelectronics.ru/2023-10-12-mikroelektronika-2023-sapr/>). Кратко прокомментируем тезисы каждого доклад-

чика с точки зрения отношения к САПР и результатов их внедрения. А потом обсудим связь этих тезисов с реальным положением дел в области САПР электроники.

Владимир Дождёв, директор департамента цифровых технологий Министерства промышленности и торговли России:

«Самая важная работа из той, что мы ведем, – это работа в области создания отечественного инженерного ПО. Потому что она самая сложная, проблематика – самая острая, а сложность самих продуктов – самая великая. Это действительно топовые технологии, от которых зависит весь облик нашей промышленности».

«У государства, у Минпромторга есть ресурс для поддержки проектов любой степени сложности в этой области. Наша зависимость от зарубежных решений здесь пока почти стопроцентная, и задача импортозамещения стоит очень остро. Крайне важно работать сообща и беречь каждого специалиста в этой области».

«Все стратегические документы в электронной отрасли России составлены до 2030 года, как минимум. Все показатели зависят от объемов потребления, которые растут год от года. Ресурс у властей есть. Дальше будем строить планы исходя из готовности тех или иных продуктов. Это залог технологического суверенитета».

О САПР электроники ни слова! (комментарий автора).

Елена Иванова, АО «НПО «КИС»:

«ЭКБ надо разрабатывать своими собственными САПР, поскольку история различных «закладок» в зарубежных продуктах хорошо известна. Но у нас нет такого количества специалистов по разработке САПР – от силы 300 наберем по всей стране, тогда как у зарубежных создателей САПР их в десятки раз больше. И очень было бы полезно иметь свой коллективный центр прототипирования».

Справедливо сказано о САПР в целом! (комментарий автора).

Сергей Пилкин, АО «ЭРЕМЕКС»:

«Для нашей страны коллектив из ста высококвалифицированных специалистов в области САПР – это уже хорошо. В по-

следний год мы провели большую работу по кадрам и сумели оставить работать в стране ведущих специалистов в этой области».

«В третьем квартале 2024 года мы планируем завершить разработку отечественной САПР Simtera 4.0 с поддержкой отечественной операционной системы Astra Linux и процессоров «Эльбрус» от МЦСТ. Проект поддержан государством».

Планируем завершить ... (комментарий автора).

Алексей Харитонович, Холдинг Т1:

«Мы планируем расширить наш многофункциональный САД не только на целостность питания и сигнала, но и на электромагнетизм, фотонику и оптику, что поможет всесторонне проектировать электронику и смежные устройства. Электромагнетизм запланирован на 2024 год, а фотоника – на 2025-2026 годы».

Планируем расширить ... (комментарий автора).

Алексей Переверзев, НИУ МИЭТ:

«Помимо привлечения к созданию САПР электроники крупных ИТ-компаний, активно внедряются методы проектирования при помощи искусственного интеллекта и облачных технологий. Происходит укрупнение маршрутов проектирования. Создана Рабочая группа из 20 ключевых участников отрасли. Удалось сформировать 18 предложений по ОКР, уже одобрено 8 из них».

«В рамках ОКР разработана СБИС под техпроцесс 180 нм, топология уже передана на изготовление шаблонов. В работе, в частности, платформа портирования топологии IP-блоков, библиотек элементов, фрагментов ИС с 250 нм на 180 и 130 нм».

Создана Рабочая группа ... (комментарий автора).

Леонид Переверзев, ООО «Альфа-чип»:

«Задача проекта «Обсидиан» – разработка маршрута проектирования цифровых СБИС на основе САПР с открытым исходным кодом. Параллельно происходит разработка реально работающей демонстрационной СБИС, которая улучшит свойства серийно выпускаемого «Микроном» продукта. Срок исполнения проекта – сентябрь

2024 года».

«Считается, что на уровне 180 нм (проект демо-СБИС «Обсидиан») уровень перекрестных помех еще не так велик. Однако наше моделирование показало наличие проблем, которые удалось преодолеть специальной оптимизацией. Чип в итоге насчитывает около 9 млн транзисторов и всё разработано с помощью нашего САПР с открытым исходным кодом. На очереди – внедрение ИИ в процесс проектирования».

Происходит разработка ... (комментарий автора).

Сергей Макаров, ООО «Интегральные решения»:

«Отечественный САПР для проектирования и моделирования аналоговых ИС необходим из-за важного госзаказа (государство – якорный заказчик), однако количество потенциальных пользователей мало, рынком не окупается, и такая САПР тесно завязана на особенности отечественных чип-фабрик».

Рынком не окупается ... (комментарий автора).

Сергей Аряшев, НИИСИ РАН:

«Необходимо контролировать весь процесс сквозного проектирования ЭКБ, поэтому нами создано ПО управления проектами и жизненным циклом изделия. Немаловажным этапом также является получение разрешения на продукты проектирования от ФСТЭК для доверенных изделий».

**Необходимо контролировать ...
Получение разрешения ... О САПР электроники ни слова! (комментарий автора).**

Игнат Бычков, ПАО «ИНЭУМ им. И. С. Брука»:

«Компании вынуждены создавать внутрикорпоративные САПР для собственных нужд. Это есть и у Intel, и в не очень больших российских компаниях-разработчиках. Поэтому крупные научные школы необходимо поддерживать. Наши проекты моделирования ЭКБ отстают от западных лет на 8-10, что меньше, чем разрыв в техпроцессах. Поэтому здесь у отечественных разработчиков есть шанс быстро наверстать отставание и вырваться на мировой уровень».

Да, крупные научные школы необходимо поддерживать! Есть шанс ... (комментарий автора).

Фируз Шомахмадов, ООО «НМ-Тех»:

«Созданная нами модель для оценки стойкости микросхем к высоковольтным импульсам и электростатическим разрядам позволит спроектировать структуру защиты от электростатического разряда при проектировании автоэлектроники».

Позволит спроектировать ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Никита Малышев, ЭРЕМЕКС:

«Мы провели НИОКР и выяснили, что итерация развития и сравнительный анализ приводят к выводу, что текущие инструменты алгоритмов и методов оптимизации логического синтеза в САПР микроэлектроники более перспективны в нынешних реалиях».

Провели НИОКР ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Михаил Равилов, ООО «НМ-Тех»:

«В PDK реализованы новые DRC-функции для создания прецизионных аналоговых схем с высоким качеством топологии. Пользование новыми функциями не требует специальных знаний от тополога, а встроены в известный функционал DRC. Реализованный подход имеет потенциал для развития и расширения».

«Для разработчиков силовых микросхем представлен инструмент верификации архитектуры металлической разводки LDMOS и выбранного размера силового ключа. Созданный метод рекомендован для PDK для анализа LDMOS приборов в техпроцессах типа BDC».

PDK, DRC, LDMOS, BDC ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Сергей Мушкаев, АО «НТЦ «Модуль»:

«Реализация потактового эмулятора процессора NeuroMatrix NM6476 на основе Verilator может использоваться как мощный инструмент для анализа и оптимизации существующих программных решений для разных процессоров семейства NeuroMatrix NMC4».

Потактового эмулятора процессора ... А где САПР электроники? (ком-

ментарий автора).

Пётр Верник, АНО «Институт стратегий развития»:

«Нужно объединяться с Китаем в области проектирования и размещения заказов на производство ИС на фабриках SMIC и HLMC (55-28 нм), а также разработки и реализации СФ-блоков для заказчиков в Китае».

Да, нужно объединяться с Китаем ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Владимир Слезкин, ООО «НМ-Тех»:

«Платформа с представленным модулем тестирования P-Cell успешно апробирована и подтвердила качество PDK для 250 нм. С её помощью существенно ускорен процесс разработки PDK для 130 нм. Никаких ограничений по технологиям нет».

Успешно апробирована ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Дмитрий Копейкин, АО «НИИМЭ»:

«Нами создана конструкторско-технологическая платформа проектирования СБИС на базе отечественной технологии КМОП КНИ 180 нм с тремя напряжениями питания от 1,8 до 5 вольт. Быстродействие памяти – до 110 МГц. Приглашаем пользоваться».

Создана конструкторско-технологическая платформа ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Александр Керре, ООО «НМ-Тех»:

«Разработанная нами подсистема миграции иерархических СФ-блоков была применена в нескольких проектах и показала хорошие результаты. Наша система дает выигрыш в 6-7 раз».

Подсистема миграции ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Андрей Сальников, ТУСУР:

«Автоматизированный синтез схем и топологий монолитных СВЧ ИС с использованием морфологического анализа, эволюционных алгоритмов, метода имитации отжига, библиотек элементов фаундри-компаний, а также искусственного интеллекта позволяет разрабатывать большее число схем без увеличения штата. Хотя пока что ИИ нередко уступает инженеру».

Фаундри ... ИИ ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Владимир Розенфельд, ООО «НМ-Тех»:

«Подсистема автоматизированного синтеза топологии квалификационных ячеек для аттестации правил физической верификации топологии ИС позволяет увеличить количество проверяемых ситуаций и улучшить качество тестирования. Методы создания фрагментов топологии из эскизов являются технологически независимыми».

Улучшить качество тестирования ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Леонид Плеханов, ФИЦ ИУ РАН:

«Одна из главных задач синтеза самосинхронных схем – минимизация затрат в транзисторах. Необходимо уменьшать общее число сигналов схемы, включая индикаторные, что также способствует улучшению быстродействия. Мы разработали способы оптимизации синтеза СС-схем на всех его этапах».

Способы оптимизации синтеза ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Александр Монахов, MALT system:

«В нашей компании накоплен большой опыт, позволяющий быстро разрабатывать СнК с использованием открытых библиотек IP-ядер. Такие СнК совместимы с mainline Linux, а кастомизация требуется лишь драйверам специализированных под задачу заказчика блоков».

Кастомизация ... Драйверам ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Алексей Харитонович, Холдинг Т1:

«Мы на рынке находимся уже четверть века и успешно конкурируем с зарубежными аналогами благодаря собственным уникальным технологиям, которые можно применять даже для теплового и прочностного моделирования экстремально сложных плат и систем, в том числе, благодаря нашей эмпирической модели интегрально-го погранслоя».

Четверть века ... Эмпирической модели ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Дмитрий Шипицин, АО «НИИМЭ»:

«В рамках разработки средств проектирования для технологии 28 нм нами было выяснено, что при анализе качества проектирования СБИС уровня 28 нм необходимо проведение IR Drop анализа, включая влияние «смещения земли». Простого соблюдения правил проектирования (DRC) недостаточно для получения планируемых характеристик».

Выяснено ... Необходимо ... Недостаточно ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Аджмаль Али, ООО «НМ-Тех»:

«Нами была разработана полностью электрическая параметризуемая spice-модель коллекторного электродвигателя постоянного тока для верификации ИС автоэлектроники. Калибровка модели под различные номиналы реальных электродвигателей позволила верифицировать реализацию аналогово-цифрового блока на этапе проектирования».

Разработана spice-модель ... Прекрасно! А где её внедрение в конкретной САПР электроники? (комментарий автора).

Игорь Харитонов, МИЭМ НИУ ВШЭ:

«Оценка средствами TCAD стойкости ячеек памяти CO3У к воздействию облучения частицами при уменьшении проектных норм от 90 до 28 нм выявила пути повышения радиационной стойкости перспективных микросхем до 1,5-2 раз, что показало актуальность темы для импортозамещения. Модель была откалибрована по экспериментальным данным для 90-нм и 65-нм ячеек».

Выявила пути ... Показало актуальность ... Прекрасно! А где внедрение в конкретной САПР электроники? (комментарий автора).

Алексей Надин, АО «НИИМЭ»:

«Нами предложена концепция по поддержке средствами проектирования инструментария для разработки СВЧ ИС по стандартной отечественной низкочастотной КМОП-технологии 90 нм. Выявлена необходимость интеграции электромагнитного симулятора в САПР Virtuoso».

Предложена концепция ... Выявлена

необходимость ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Сергей Русаков, ФГБУН «ИППМ РАН»:

«На базе моделирования радиотехнических схем модуляции и демодуляции с мемристорными приборами, обладающими инерционностью и эффектом памяти, подобно нейронам, нами предложен новый тип простых полностью пассивных демодуляторов на базе модуляции мемристорного сопротивления, работающих на частотах 3–21 Гц со сверхнизким потреблением. Это перспективно для ряда биомедицинских применений и нейросетей».

Предложен ... Это перспективно ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Антон Тюрин, АО «НИИМЭ»:

«Использование компилированных математических выражений на основе лямбда-функций для вычисления значений параметров элементной базы аналогового PDK оказалось наиболее надежным из всего, что было создано ранее. Полученный код может быть легко портирован в любую среду, поддерживающую лямбда-функции».

Лямбда-функций ... Портитован ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Александр Потупчик, АО «НИИМЭ»:

«Нами построена Verilog-A модель эффекта вымораживания примеси в LDD-областях кремниевых микроструктур при криогенных температурах. Создан тестовый кремниевый кристалл для натуральных криогенных экспериментов и верификации модели для применения в криогенной электронике».

Построена Verilog-A модель ... Создан тестовый кремниевый кристалл ... Прекрасно! А где внедрение в конкретной САПР электроники? (комментарий автора).

Елена Иванова, АО «НПО «КИС»:

«САПР тоже должен быть доверенным. Поэтому запущена госпрограмма создания отечественных САПР. Она должна быть лет на десять минимум. САПР из открытых источников не покрывает всех потребностей текущих разработок. Один открытый

проект уже обкатывается на «Микроне», хотя проектирование СБИС сопряжено со многими сложностями – чем глубже субмикрон, тем больше проблем. Также есть острая проблема кадров разработчиков САПР и здесь тоже необходима серьезная долговременная госпрограмма».

Справедливо сказано о САПР в целом! (комментарий автора).

Сергей Купарев, ООО «НМ-Тех»:

«Нами предложена эффективная методика оптимизации триггерных схем, использующихся в стандартных цифровых библиотеках, которая позволяет сократить время расчетов до 10 раз. Методика не зависит от технического узла и может быть применена для любого самого современного го техпроцесса».

Эффективная методика ... Может быть применена ... Прекрасно! А где внедрение в конкретной САПР электроники? (комментарий автора).

Константин Петросянц, МИЭМ НИУ ВШЭ:

«Наша новая библиотека SPICE-моделей электронных компонентов РЭА включает весь спектр текущих и многих перспективных полупроводниковых приборов, в том числе на SiC, GaAs, GaN, FinFET и мн. др., а также пассивных компонентов. Она учитывает широкий спектр внешних воздействий и диапазон температур от -269 до +300 градусов Цельсия для гражданских и специальных применений. Серьезное внимание уделено измерениям и экстракции параметров. Верификация моделей проведена с привлечением многих партнеров».

Новая библиотека SPICE-моделей ... Верификация моделей проведена ... Прекрасно! А где внедрение в конкретной САПР электроники? (комментарий автора).

Илья Малышев, АО «НПО «ЭРКОН»:

«Наши библиотеки моделей отечественных пассивных электронных компонентов для САПР Altium и Delta Design позволяют упростить переход на импортозамещение в разработке и производстве РЭА. Мы характеризуем наши компоненты до 18 ГГц и выборочно до 40 ГГц».

Библиотеки моделей для САПР

Altium и Delta Design ... Отлично! Наконец появилось внедрение в САПР электроники? (комментарий автора).

Илья Колотыркин, SimInTech:

«Несколько лет мы формировали нашу экосистему. За 7 лет наш инженерный состав вырос в 7 раз, функциональные возможности – минимум в 6 раз. Платформа SimInTech для математического моделирования, разработки алгоритмов управления и генерации кода работает на ПК под Linux или Windows. Области применения – авиакосмос, робототехника, автомобилестроение. Наша система использует комплексный подход при моделировании сложных проектов, в том числе, распараллеливая задачи между разными подрядчиками. Все наши модели открытые, можно их модифицировать под свои нужды. В планах – разработка инструментов для моделирования микроэлектронной техники».

Несколько лет ... В планах ... А где САПР электроники? (комментарий автора).

Как видно из комментариев автора – это разговор ни о чём. Эдакий межсубойчик. Кстати, ни слова не сказано о необходимости и путях создания на базе отечественных САПР электроники надёжной и качественной военной электроники с целью победы в Специальной военной операции и дальнейшего укрепления обороноспособности России. В обсуждении не принял участие ни один российский лидер в области САПР электроники, ни слова о стандартизации. Это всё равно, что некая группа обсуждает вопросы создания космических кораблей без Королёва. Или обсуждает вопросы создания атомной бомбы без Курчатова и Иоффе. Напомню тему: «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем». А в сущности, должен был идти разговор о уже внедрённых российских САПР электроники и их дальнейшем развитии. Разговор не получился. Состав участников неудачный.

2 О публикации докладов по

теме «САПР электроники»

Как мне стало известно, 23 октября 2023 года профессор Шалумов Александр Славович, Главный редактор журнала «САПР электроники», Председатель технического комитета по стандартизации ТК 165 «САПР электроники», направил официальные письма руководителям организаций, чьи представители заявили доклады на форум «Микроэлектроника-2023» в секции «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем»: ООО «НМ-ТЕХ», АО «ЭРЕМЕКС», АО «НТЦ «Модуль», АО «НИИМЭ», ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники», ФИЦ ИУ РАН, ООО «МАЛЫТ СИСТЕМ», МИЭМ им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ, ИППМ РАН, АНО «Институт стратегий развития», АО «НПО «КИС», АО «НПО «ЭРКОН», ООО «ЗВС». К сожалению, ни одного доклада не было предоставлено для публикации в 4-м номере журнала «САПР электроники»!

Ниже назову доклады, которые были заявлены как в области САПР электроники, но руководители организаций, где работают авторы, или не захотели по каким-то причинам опубликовать их в журнале «САПР электроники», или просто проигнорировали письмо профессора Шалумова, или не сообщили авторам, или сами авторы не захотели опубликоваться. **Хотя странно, что 29 докладов (100%) не представлены к публикации для профессионального сообщества!** Любой специалист, который действительно сделал что-то стоящее, никогда не откажется от бесплатной публикации, которую прочитают профессионалы. Иначе, зачем он это делал? В любом случае, как я понимаю, журнал «САПР электроники» готов в будущем опубликовать по желанию авторов эти доклады, если они соответствуют тематике САПР электроники.

ООО «НМ-ТЕХ»:

1. РАЗРАБОТКА VERILOG-A МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТОЙКОСТИ ИС К ВЫСОКОВОЛЬТНЫМ ИМПУЛЬСАМ И ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ РАЗРЯДАМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОЭЛЕКТРОНИКИ

Шомахмадов Фируз Парвизович

2. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОВЕРКИ ВЗАИМНО СОГЛАСОВАННЫХ ПРИБОРОВ И ГЕНЕРАЦИИ ФИКТИВНЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ВЗАИМНО СОГЛАСОВАННЫХ СТРУКТУРАХ

Равилов Михаил Фяритович

3. ЭКСТРАКЦИЯ ПАРАЗИТНЫХ ПРИБОРОВ И ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ РАЗБИЕНИЯ НА КОНЕЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ УЧЕТА РАСТЕКЕНИЯ ТОКОВ В МЕЖСОЕДИНЕНИЯХ ВЫСОКОМОЩНЫХ ДМОП-ТРАНЗИСТОРОВ

Равилов Михаил Фяритович

4. ПРОДВИНУТАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ СЛОЖНОПАРАМЕТРИЗОВАННЫХ ТОПОЛОГИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК PDK ДЛЯ АВТОЭЛЕКТРОНИКИ

Слезкин Владимир Валентинович

5. ПОДСИСТЕМА МИГРАЦИИ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СФ-БЛОКОВ

Керре Александр Леонидович

6. ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА КВАЛИФИКАЦИОННЫХ ЯЧЕЕК ДЛЯ АТТЕСТАЦИИ ПРАВИЛ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ ТОПОЛОГИИ ИС

Розенфельд Владимир Павлович

7. РАЗРАБОТКА И КАЛИБРОВКА SPICE-МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ИС АВТОЭЛЕКТРОНИКИ

Али Аджмаль Зульфикарович

8. ЭФФЕКТИВНАЯ МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ТРИГГЕРНЫХ СХЕМ ИСПОЛЗУЮЩИХСЯ В СТАНДАРТНЫХ ЦИФРОВЫХ БИБЛИОТЕКАХ

Купарев Сергей Иванович

АО «ЭРЕМЕКС»:

9. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ ЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА, ИХ СРАВНЕНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ В СОВРЕМЕННЫХ САПР МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

Малышев Никита Максимович

АО «НТЦ «Модуль»:

10. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТАКТОВОГО ЭМУЛЯТОРА ПРОЦЕССОРА СЕМЕЙСТВА NEUROMATRIX НА ОСНОВЕ VERILATOR

Мушкаев Сергей Викторович

АО «НИИМЭ»:

11. VERILOG-A МОДЕЛЬ ЭФФЕКТА ВЫМОРЯЖИВАНИЯ ПРИМЕСИ В LDD-ОБЛАСТЯХ ПРИ КРИОГЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Потупчик Александр Георгиевич

12. КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СБИС НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ КМОП КНИ 180 НМ

Копейкин Дмитрий Юрьевич

13. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ IR DROP АНАЛИЗА ДЛЯ СБИС УРОВНЯ 28 НМ

к.ф.-м.н. Шипицин Дмитрий Свято-славович

14. ПОДДЕРЖКА В PDK ИНСТРУМЕНТАРИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ СВЧ ИС В СТАНДАРТНОЙ КМОП-ТЕХНОЛОГИИ

Надин Алексей Семенович

15. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПИЛИРОВАННЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ВЫРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЛЯМБДА-ФУНКЦИЙ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ PDK

Тюрин Антон Вячеславович

16. ПРОБЛЕМАТИКА РАЗРАБОТКИ КОМАНДНЫХ ФАЙЛОВ ДЛЯ СРЕДСТВ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕРИФИКАЦИИ DRC И LVS ДЛЯ САПР С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ

Милютин Сергей Владимирович

17. ОСОБЕННОСТИ ВЕРИФИКАЦИИ МОДЕЛЕЙ МЕЖСОЕДИНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЛЬЦЕВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Нуштаев Алексей Владимирович

18. РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ВЕРИФИКАЦИИ DRC ДЛЯ САПР С ОТКРЫТЫМ ИСХОДНЫМ КОДОМ НА ПРИМЕРЕ LAYOUT

Загидуллина Ольга Равилевна

ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»:

19. ПОДХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ СИНТЕЗУ СХЕМ И ТОПОЛОГИЙ СВЧ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ НА ПРИМЕРАХ СЕКЦИЙ АТТЕНЮАТОРА И ФАЗОВРАЩАТЕЛЯ

к.т.н. Сальников Андрей Сергеевич

ФИЦ ИУ РАН:

20. ОПТИМИЗАЦИЯ СИНТЕЗА САМОСИНХРОННЫХ СХЕМ

Плеханов Леонид Петрович

ООО «МАЛЫТ СИСТЕМ»:

21. ПРИМЕНЕНИЕ ОТКРЫТЫХ IP-ЯДЕР ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СНК С LINUX

Монахов Александр Михайлович

МИЭМ им. А.Н. Тихонова НИУ ВШЭ:

22. ОЦЕНКА СРЕДСТВАМИ TCAD-СТОЙКОСТИ ЯЧЕЕК ПАМЯТИ СОЗУ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ОЯЧ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ ПРОЕКТНЫХ НОРМ ДО 28 НМ

Харитонов Игорь Анатольевич

23. БИБЛИОТЕКА SPICE МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ РЭА И МЕТОДЫ ЭКСТРАКЦИИ ИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ГРАЖДАНСКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ

Петросянец Константин Орестович

ИППМ РАН:

24. ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ С МЕМРИСТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

д.т.н., проф. Русаков Сергей Григорьевич

25. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЦЕДУРА МОДЕЛИРОВАНИЯ МНОГОПЕРИОДНЫХ РЕЖИМОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЯХ С МЕМРИСТОРНЫМИ ПРИБОРАМИ

д.т.н., проф. Русаков Сергей Григорьевич

АНО «Институт стратегий развития»:

26. РЕЗУЛЬТАТЫ СОЗДАНИЯ МАРШРУТА КОНТРОЛИРУЕМОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДОВЕРЕННОЙ ЭКБ

Верник Петр Аркадьевич

АО «НПО «КИС»:

27. РАЗВИТИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ САПР: ПЛАНЫ, КОМАНДЫ, ГОСПОДДЕРЖКА

Иванова Елена Николаевна

АО «НПО «ЭРКОН»:

28. БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ПАССИВНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ САПР

Малышев Илья Николаевич

ООО «ЗВС»:

29. ПЛАТФОРМА SIMINTECH ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ И ГЕНЕРАЦИИ КОДА

Колотыркин Илья Петрович

3 САПР электроники в реестре отечественного ПО

Итак, на 2 декабря 2023 г. в Реестр российского программного обеспечения включено **19 118** ПО (**7 099** Правообладателей) (<https://reestr.digital.gov.ru/>).

Класс 08.04 «Средства автоматизированного проектирования для радиоэлектроники и электротехники (ECAD, EDA)» содержит **52** ПО (**14** Правообладателей). По отношению ко всему ПО из Реестра это соответственно **0,272%** и **0,197%**. **Для такой важной отрасли, как электроника, это очень мало! Но что есть, то есть.** Представлены следующие **Правообладатели**:

- АО «ЭРЕМЕКС», ООО «ЭРЕМЕКС»;
- ООО «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ «АСОНИКА»;
- ООО «АСКОН-Системы проектирования»;
- ЗАО «ТОП СИСТЕМЫ»;
- ООО «Интегральные Решения»;
- АО «ОКБ «Аэрокосмические системы»;
- ООО «ЛАБОРАТОРИЯ СФЕРА»;
- ООО «500М ТЕХНОЛОДЖИЗ»;
- ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»;
- ООО «ГлавКон»;
- НПК «Технологический центр»;
- Трофимов Алексей Валентинович;
- АО «ЦИФРОВАЯ МАНУФАКТУРА».

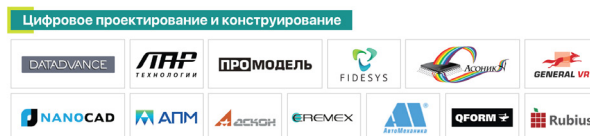
Если сравнить этот список и список организаций, чьи представители заявили доклады на форум «Микроэлектроника-2023» в секции «Системы проектирования и моделирования электронных компонентов и систем», то получится **только 2 совпадения** – АО «ЭРЕМЕКС» и ООО «Интегральные Решения»!

Какой смысл в такой конференции, когда из 14-и российских Правообладателей российских САПР присутствует лишь представители 2-х организаций?

А вот, например, фрагмент карты компаний-разработчиков решений для цифровизации промышленных предприятий, которую создали Аналитический центр TAdviser совместно с фондом «Сколково» и «Инновационным центром Ай-Теко» (https://www.tadviser.ru/images/9/9e/ITsolutions_ver_fin).

jpg):

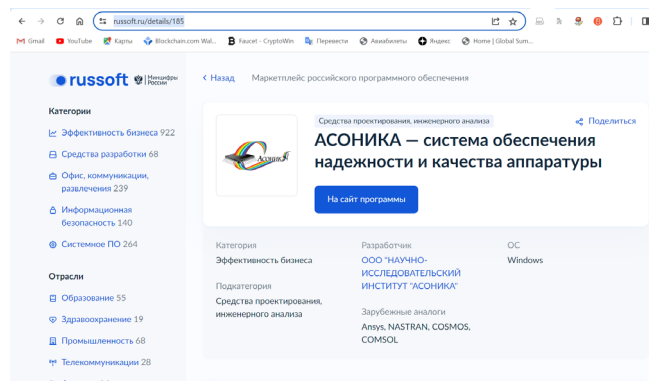
Цифровые технологии проектирования / моделирования, производства и управления жизненным циклом



Как видно, здесь представлены **3 из 14** Правообладателей из Реестра российского ПО: АСОНИКА, АСКОН, ЭРЕМЕКС!

Получается, что остальные, представленные на данном рисунке, к электронике отношения не имеют.

Маркетплейс российского программного обеспечения в подкатегории «Средства проектирования, инженерного анализа» (<https://russoft.ru/details/185>) показывает только 1 САПР электроники – систему АСОНИКА:



Заключение

Чтобы конференции по САПР электроники не становились профанацией, нужно очень тщательно их готовить и привлекать в первую очередь признанных российских разработчиков САПР электроники, чье ПО входит в Реестр отечественного ПО (Минцифры) и которое реально используется в промышленности Российской Федерации.

Кроме того, конференции должны подводить итоги за предыдущий период и давать прогноз на будущее. Предложения участников конференции должны передаваться в Правительство РФ для их реализации на государственном уровне, учитывая важность направления «Электроника». И, конечно, на такие значимые конференции должны приглашаться отечественные лидеры в области САПР электроники.

**Применение методов виртуальной инженерии
в ходе работ по обеспечению стойкости аппаратуры
к воздействию специальных факторов.
Часть 2. Выбор ЭРИ при проектировании аппаратуры,
стойкой к воздействию специальных факторов**

Малютин Николай Васильевич

Профессор, доктор технических наук
mny220609@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 вопросы влияния специальных факторов на обеспечения спец-стойкости ЭРИ.

Ключевые слова: специальные факторы, элементная база, комплектующие изделия.

**Application of virtual engineering methods
in the course of work to ensure the resistance
of equipment to the effects of special factors.
Part 2: Selection of electrical radio products when
designing equipment resistant to special factors**

Malyutin N.V., Afanasiev A.S., Posysaev E.I.

Abstract

The article discusses the influence of special factors on ensuring the special resistance of electronic components.

Keywords: special factors, element base, components, equipment.

Введение

Начальный уровень стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов (СФ), закладываемый при проектировании, зависит от уровней стойкости электрорадиоизделий (ЭРИ).

В первую очередь это справедливо применительно к стойкости аппаратуры по необратимым эффектам. Определяющим

при этом является стойкость к воздействию ионизирующих излучений (ИИ) приборов, выполненных на полупроводниковой основе (биполярных и МДП-структур), например диодов, транзисторов, тиристоров, фоторезисторов, интегральных схем, а также некоторых других типов приборов (конденсаторов, кварцев и т.д.), а также импульсная электрическая прочность ЭРИ, использу-

емых во входных и выходных устройствах аппаратуры [1 – 6].

Выбор комплектующих изделий определяется в первую очередь техническими характеристиками разрабатываемой аппаратуры, а также факторами внешней среды (механическими, климатическими, радиационными, электромагнитными).

1 Перечень комплектующих изделий

Для каждой конкретной разработки аппаратуры (системы) составляется «Перечень комплектующих изделий».

На первом этапе составления такого «Перечня» разработчик включает в него все ЭРИ, которые могут быть использованы в данной аппаратуре, исходя из необходимости обеспечения требуемых электрических и конструктивных характеристик, а также условий эксплуатации (кроме радиационных и электромагнитных). При этом он руководствуется общими перечнями и справочниками серийно выпускаемых ЭРИ, а также информацией о новых комплектующих изделиях и опыте других предприятий по применению элементов, не используемых ранее. На этом же этапе учитывается информация об уровнях воздействующих факторов, оговоренных в техническом задании (ТЗ) на разработку аппаратуры (механических, климатических), и выбираются в первую очередь те ЭРИ, которые по условиям применения полностью соответствуют предъявляемым к разрабатываемой аппаратуре требованиям. В «Перечень» включаются также ЭРИ, которые по техническим и конструктивным характеристикам позволяют обеспечить требуемые технические характеристики аппаратуры, однако имеется некоторое несоответствие между условиями применения ЭРИ, оговоренными в документации на них, в частности в справочниках, и условиями применения, ожидаемыми в аппаратуре. При этом учитывается возможность изменения условий применения ЭРИ в аппаратуре путем соответствующих конструктивных мер защиты (амортизация, термостатирование, экранирование и т.п.).

Уже на первоначальных стадиях фор-

мирования «Перечня» целесообразно учитывать данные о стойкости ЭРИ к воздействию СФ. При отсутствии сведений о стойкости отдельных предполагаемых для применения в разрабатываемой аппаратуре ЭРИ их следует получить путем проведения специальных испытаний этих изделий на моделирующих установках. При наличии сведений о стойкости комплектующих изделий в виде уровней радиационных факторов (интегральный поток нейтронов, дозы гамма-излучения, протонного и электронного излучений), соответствующих допустимым по нормативно-технической документации изменениям параметров, в «Перечень» включаются ЭРИ, для которых соответствующие показатели стойкости не меньше оговоренных в ТЗ на разработку аппаратуры значений [1]. Комплектующие ЭРИ, не удовлетворяющие этому условию, как правило, в «Перечень» не включаются. Только в тех случаях, когда разработка и серийное освоение перспективных вновь разрабатываемых ЭРИ – функциональных аналогов, аналогов по электрическим характеристикам – не могут быть выполнены в сроки, предписанные для разработки аппаратуры, полагают возможным не отказываться от использования изделий, не полностью удовлетворяющих требованиям, заданным на аппаратуру, и эти ЭРИ оставляют в «Перечне». При этом в первую очередь в «Перечне» целесообразно оставить те функциональные аналоги, показатели начальной стойкости которых, определяемые как уровни ИИ, соответствующие начальным изменениям их параметров, не более чем на два порядка ниже заданных уровней. Окончательное решение о возможности применения таких ЭРИ принимается с учетом специфики конкретных схем по результатам последующих расчетов радиационной стойкости этих схем в процессе их разработки. Завершающей операцией при составлении «Перечня» на начальном этапе проектирования является рассмотрение номенклатуры ЭРИ и сортировка ее по степени стойкости к воздействию электромагнитных излучений (ЭМИ). В качестве исходной информации, необходимой для реализации этой операции, используется

информация о характеристиках электрического и магнитного полей (их напряженностях), при действии которых параметры ЭРИ не выходят за пределы установленных норм, а также об импульсной электрической прочности, содержащаяся в справочниках и другой документации.

Специфика поражающего действия ЭМИ применительно к ЭРИ заключается в том, что на их работоспособность могут влиять не только характеристики электрического и магнитного полей, непосредственно воздействующих на ЭРИ, но и, что гораздо более опасно, преобразование системой в токи и напряжения изменение этих характеристик во времени, т.е. наводки в сигнальных и силовых сетях накладывают определенные особенности на выбор ЭРИ. Поэтому целесообразно при выборе ЭРИ, помимо выполнения условия сохранения их работоспособности при непосредственном воздействии ЭМИ, исходить из того, чтобы для ЭРИ, соединенных с сигнальными и силовыми линиями, импульсная электрическая прочность была такой, при которой наводка не приводила бы к нарушению работоспособности.

Поскольку на начальной стадии проектирования информация о значениях наводок на коммуникационных линиях при воздействии ЭМИ с установленными в ТЗ характеристиками практически отсутствуют, целесообразно на этом этапе ограничиться информацией о диапазоне наводок для аппаратуры-аналога, предусмотрев включение в «Перечень» номенклатуры ЭРИ, основным назначением которых является снижение уровня наводок, действующих на ЭРИ, применяемые во входных и выходных схемах, до приемлемого уровня, т.е. включение номенклатуры разрядников, ограничителей, фильтров и т.п.

Допустимые изменения параметров изделий в конкретных схемах, необходимые для определения показателей допустимой стойкости изделия, выбирают исходя из обеспечения сохранения выходных параметров этих схем и аппаратуры в целом в требуемых пределах. Они могут быть определены расчетным путем, экспериментально на макетах схем (путем моделирования

изменений параметров ЭРИ, вызванных воздействием ИИ или подачей импульсов напряжений (токов), близких по амплитуде и форме к тем, которые возникают в цепях аппаратуры при воздействии ЭМИ), а также исходя из опыта проектирования аппаратуры. Соответствующие допустимым в конкретных схемах изменениям параметров ЭРИ показатели стойкости комплектующих изделий к воздействию ИИ также сравниваются с заданным на аппаратуру уровнем стойкости.

Обеспечение стойкости ЭРИ к воздействию ЭМИ можно увеличить за счёт качества корпуса аппаратуры в части герметичности к проникновению внутрь электрических полей. Подсистема АСОНИКА-ЭМС, разработанная ООО «НИИ «АСОНИКА», позволяет автоматизировано выполнить анализ качества экранирования. На рисунках 1, 2 приведён результат такого анализа на одной из частот.

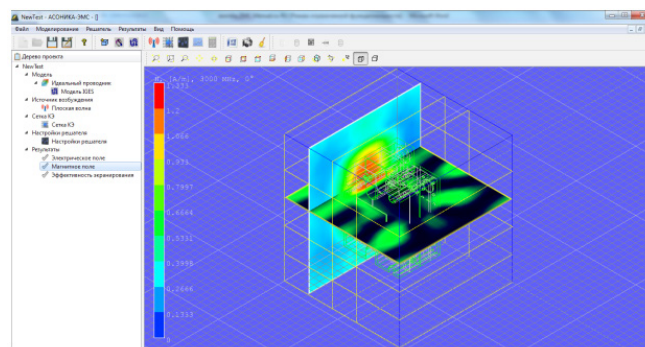


Рисунок 1 – Напряжённость магнитного поля

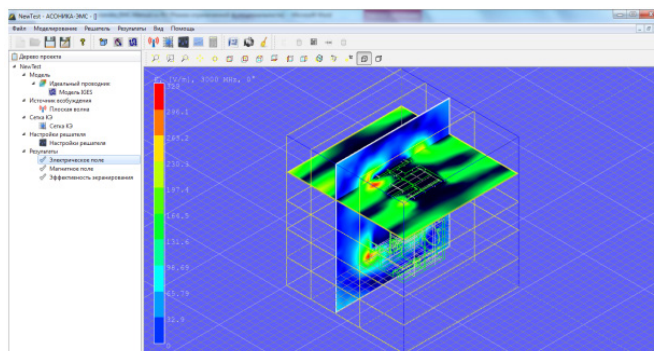


Рисунок 2 – Напряжённость электрического поля

2 Общий алгоритм выбора изделий

Выбор комплектующих изделий для обеспечения заданной на аппаратуру ра-

диационной стойкости может быть упорядочен введением соответствующих критериев, образованных из количественных показателей стойкости изделий и заданных в ТЗ на аппаратуру требований ($R_{ТР}$).

Выбор комплектующих изделий, на которые в технической документации требования по радиационной стойкости не оговорены, при разработке аппаратуры может быть осуществлен с использованием критерия вида [1]:

$$R_{i \text{ нач.}} \geq R_{ТР} \quad (1)$$

$$R_{i \text{ нач.}} \geq 0,01R_{ТР} \quad (2)$$

$$R_{i \text{ пред.}} \geq R_{ТР} \quad (3)$$

где $R_{i \text{ нач.}}$ – максимальное значение соответствующих характеристик СФ, при которых ни один из параметров i -го комплектующего изделия еще не изменяется;

$R_{i \text{ пред.}}$ – значения характеристик излучений, указанные в технической документации на изделие в качестве его предельной спецстойкости.

Выполнение приведенного условия (1) позволяет сделать заключение, что данное комплектующее изделие является «абсолютно» стойким относительно заданного уровня стойкости и, несомненно, подлежит включению в «Перечень», а также может быть использовано в любой схеме, для которой оно приемлемо, исходя из электрических характеристик и условий применения. При невыполнении этого условия используется критерий вида (2). Введение этого критерия вызвано тем, что разброс между показателями стойкости, соответствующими начальным и предельным изменениям параметров комплектующих изделий, может составлять два – три порядка. Поэтому комплектующие изделия, не удовлетворяющие условию (3), не следует включать в «Перечень», так как при их применении отсутствует уверенность в возможности обеспечения заданных на радиоэлектронную аппаратуру (РЭА) требований по стойкости с помощью схемных решений. Изделия, не удовлетворяющие (3), также не могут быть включены в «Перечень».

При выборе комплектующего изделия из «Перечня» для применения в конкретной схеме, помимо проверки пригодности его для использования по электрическим

характеристикам, необходима проверка по критерию радиационной стойкости:

$$R_{i \text{ ТУ.}} \geq R_{ТР} \quad (4)$$

или

$$R_{i \text{ доп.}} \geq R_{ТР} \quad (5)$$

Схемы комплектующих изделий, для которых (4) или (5) не удовлетворяется, подлежат доработке, так как выполнение условия (3) свидетельствует о принципиальной возможности обеспечения заданных на аппаратуру требований по стойкости. В случае невозможности обеспечения необходимой стойкости схемы, при использовании данного комплектующего изделия, путем реализации возможностей схемотехники, от его использования в этой схеме следует отказаться.

Таким образом, предлагаемые показатели, критерии выбора изделий для включения в «Перечень» и использования в конкретных схемах позволяют уже на самых ранних этапах проектирования РЭА принять необходимые меры для повышения уровня стойкости.

В процессе выбора разработчик получает также дополнительную информацию о том, разработке каких схем необходимо уделить большее внимание (к таким схемам, в частности, относятся схемы, в которых предполагается использовать изделия с $R_{ТУ} < R_{ТР}$), а также информацию, позволяющую ориентировочно оценивать стойкость аппаратуры ($R_{РЭА} \geq \min R_{i \text{ доп.}}, R_{i \text{ ТУ.}}$).

Кроме того, предлагаемые показатели позволяют выявить среди изделий, аналогичных по своим электрическим характеристикам, наиболее радиационно стойкие, что при прочих равных условиях способствует созданию РЭА, имеющей более высокую эффективность.

Включение в «Перечень» ЭРИ после выполнения процедур оценки потенциальной возможности обеспечения требуемой стойкости по необратимым повреждениям, зависящим от потока нейтронов (дозы), должны проходить дополнительную проверку на возможность появления необратимых отказов, обусловленных пробоем ЭРИ из-за протекания возникающих ионизационных токов, появления тиристорного эффекта или недостаточной импульсной

электрической прочностью с использованием критериев, по форме аналогичных выражениям (1) – (5).

При нарушениях этих критериев необходимо проанализировать причину и, в зависимости от возможностей структурно-функциональных методов, принять окончательное решение. Так, например, целесообразно выбирать ЭРИ с максимальной по критерию отсутствия сбоя мощностью дозы гамма-излучения, с максимальной импульсной электрической прочностью, с минимальным временем потери работоспособности.

3 Применение математического моделирования для оценки спецстойкости аппаратуры на этапах разработки

На всех этапах создания стойкой аппаратуры, начиная с разработки ТЗ и формирования концепции ее построения, возникает необходимость прогнозирования или определения в том или ином виде показателей её стойкости. Наряду с общими показателями стойкости, описанными выше, используют частные показатели, к числу которых могут относиться время потери работоспособности при воздействии СФ с заданными характеристиками, максимальные уровни СФ по сбою, значения тех или иных параметров подсистем при заданном уровне СФ и т.п. Эти показатели используются, как правило, в интересах разработки мероприятий, направленных на обеспечение требуемой стойкости аппаратуры.

Сложность и многообразие эффектов, возникающих в аппаратуре при воздействии СФ, а также трудности получения математического описания процесса функционирования аппаратуры в виде аналитических зависимостей её выходных характеристик от параметров, входящих в состав аппаратуры подсистем, ЭРИ и конструкционных материалов, обуславливают необходимость многоэтапного процесса оценки стойкости аппаратуры. Каждый из этапов должен быть подчинён решению вполне определенной задачи, имеющей самостоятельное значение. При этом на каждом из этапов оценки стойкости аппаратуры могут

применяться специфические методы решения поставленных задач. Представляется возможным определить показатели стойкости аппаратуры, находящейся на различных стадиях существования, как в вероятностной форме, так и в виде уровней воздействующих излучений.

Общая структурная схема процесса оценки спецстойкости аппаратуры, разработанная на основе накопленного к настоящему времени опыта, приведена на рисунке 3.

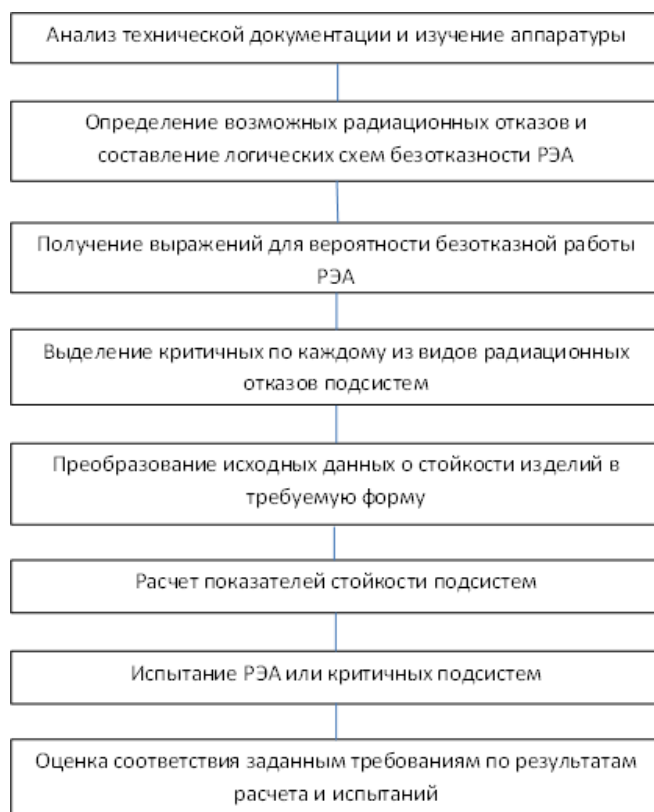


Рисунок 3 – Общая структурная схема процесса оценки стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов

На основании анализа возможных эффектов, возникающих в электрических цепях РЭА в процессе облучения, а также справочных данных о стойкости конструкционных материалов и комплектующих элементов определяются возможные виды отказов и оцениваются последствия, к которым они могут привести в подсистемах и аппаратуре. Этап завершается формулировкой критериев отказов (количественных и качественных признаков) для каждой подсистемы и аппаратуры в целом. С ис-

пользованием этой информации, а также информации об основных и второстепенных задачах, выполняемых аппаратурой, и фазах выполнения этих задач составляется логическая схема безотказности (ЛСБ) аппаратуры.

Следующим обязательным этапом процесса оценки спецстойкости, который может иметь самостоятельное значение, является этап проведения испытаний. Окончательный этап – это оценка соответствия стойкости аппаратуры заданным требованиям по результатам расчёта и испытаний.

Заключение

В настоящее время разработчики РЭА применяют «Перечни», являющиеся аналогами базы данных ЭРИ различных САПР. Поэтому в следующей части мы подробнее рассмотрим применение САПР АСОНИКА для анализа стойкости аппаратуры к воздействию спецфакторов.

Библиография

[1] Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обес-

печение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. 296 с.

[2] Риккетс Л.У., Бриджес Дж., Майлетта Дж. Электромагнитный импульс и методы защиты: Пер. с англ./Под ред. Н.А. Ухина. – М.: Атомиздат, 1979. 328 с.

[3] Ricketts L.W. Fundamentals of Nuclear Hardening of Electronic Equipment. – John. 1972. P. 548.

[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] Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том 1/ Под ред. Кофанова Ю.Н., Малютин Н.В., Шалумова А.С. М.: Энергоатомиздат, 2007. 368 с.

[6] Перспективы создания цифрового двойника изделия при разработке робототехнических комплексов. «Робототехника и техническая кибернетика» 2021, 4, с. 32-42.

Переоснащение проектно-технологической базы в области САПР электроники и развитие курсов по подготовке и переподготовке кадров для предприятий ОПК

Сумароков Евгений Сергеевич

Профессор, доктор технических наук, главный научный сотрудник
ООО «НТЦ «Наномодель» (член технического комитета по стандартизации ТК 165
«Системы автоматизированного проектирования электроники» (Росстандарт)
nanomodel@mail.ru

Аннотация

В статье дана характеристика текущего состояния кадрового потенциала электронной промышленности. Рассмотрены комплекс мероприятий, которые необходимо осуществить для развития инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ, и ожидаемые результаты. Также рассмотрены мероприятия, которые необходимо реализовать для разработки образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности, и ожидаемые результаты.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, электронная компонентная база, подготовка кадров, образовательная программа, технология подготовки, образовательное учреждение.

Re-equipment of the design and technological base in the field of CAD electronics and development of courses for training and retraining of personnel for defense industry enterprises

Sumarokov E.S.

Abstract

The article characterizes the current state of human resources in the electronics industry. A set of measures that need to be implemented to develop the infrastructure of educational institutions for the implementation of educational programs, and the expected results are considered. The activities that need to be implemented for the development of educational programs and technologies for training specialists for the electronics industry, and the expected results are also considered.

Keywords: computer-aided design, electronic component base, personnel training, educational program, training technology, educational institution.

1 Характеристика текущего состояния кадрового потенциала электронной промышленности

Вследствие высокой наукоёмкости разработки и производства электронной продукции данная отрасль нуждается в

высоком уровне подготовленности кадров, способных разрабатывать новые технологии производства.

В период с 2008 по 2017 годы утвердилось относительно стабильное распределение основного научного и про-

изводственного персонала электронной промышленности по уровню образования (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Распределение сотрудников электронной промышленности по уровню образования

Доля сотрудников в общем количестве	Промышленность	Наука
С высшим образованием	52%	83%
Со средним специальным	25%	9%
Со средним общим	23%	8%

Электронная промышленность обладает одним из наиболее высококвалифицированных кадровых составов в радиоэлектронной промышленности. При этом доля сотрудников, получивших высшее образование, постепенно растет, а среди сотрудников со средним общим образованием значительная часть приходится на студентов, имеющих неоконченное высшее образование. Таким образом, основной акцент при развитии отраслевой системы подготовки кадров необходимо делать на высшем, а также на дополнительном профессиональном образовании.

В настоящий момент в России профильные программы подготовки кадров для электронной промышленности имеет 61 высшее учебное заведение и около 30 средних учебных заведений. В среднем за год выпускается около 3 300 специалистов с высшим и 1 000 со средним профессиональным образованием. Только около 600 человек устраивается на микроэлектронные производства и в дизайн-центры.

Менее 10% предприятий отрасли удовлетворены качеством подготовки специалистов. Выпускники требуют продолжительного и дорогостоящего периода дообучения и адаптации. Несмотря на формально достаточный по численности поток выпускников-микроэлектронщиков, ощущается острая нехватка выпускников по специальным направлениям производства и разработки.

На сегодняшний день в ВУЗах России отсутствуют образовательные программы,

соответствующие в полной мере требованиям к профессиональным компетенциям специалистов, создающих современную электронную продукцию. Данные специалисты должны готовиться с привлечением отечественных и зарубежных экспертов, проходить стажировку на действующих производствах и в дизайн-центрах, в том числе за рубежом.

Таким образом, можно резюмировать следующее:

1. Развитие новых производств требует от ВУЗов формирования у обучающихся новых компетенций для решения задач создания материалов, новых технологий, оборудования, средств систем автоматизированного проектирования (САПР). Университеты должны формировать такие компетенции выпускников, которые необходимы не в производстве вообще, а конкретно для решения задач предприятий. В связи с этим необходимо создание образовательных-научно-производственных комплексов, обеспечивающих практико-ориентированные процессы и технологии в подготовке кадров.

2. Новые образовательные программы и модули в рамках мероприятий должны быть разработаны образовательными организациями совместно с предприятиями микроэлектроники с обязательным софинансированием со стороны предприятий через выполнение совместных с ВУЗами НИОКР и с обязательным привлечением к выполнению работ студентов и аспирантов.

При этом необходимо решение следующих обобщенных задач:

I. Развитие инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ.

II. Разработка образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности.

III. Проведение НИОКР в рамках реализуемых образовательных программ подготовки специалистов для электронной промышленности.

IV. Создание Единого центра и системы управления подготовкой кадров для микроэлектронной промышленности.

Главным результатом реализации

данных мероприятий должно стать создание системы подготовки специалистов, способных создавать и работать с современными и перспективными материалами оборудованием и средствами проектирования. При этом содержание образовательных программ должно соответствовать требованиям профессиональных отраслевых стандартов.

Подготовка таких специалистов должна вестись на современном научном и производственном оборудовании, включать практические работы, связанные с решением производственных и научных задач. Мировой опыт показывает, что такой подход к подготовке специалистов может быть реализован только на базе профильных университетов, имеющих тесные связи с промышленностью в лице одной или нескольких крупных компаний.

Главной целью данных мероприятий является развитие образовательного и научно-технологического комплекса для кадрового обеспечения технологической независимости Российской Федерации в области микро- и нанoeлектроники, удовлетворения потребности организаций российской электронной промышленности в высококвалифицированных кадрах.

Для достижения цели должно быть осуществлено **переоснащение проектно-технологической базы и развитие курсов по подготовке и переподготовке для предприятий оборонно-промышленного комплекса (ОПК) конструкторов технологического оборудования и технологов по производству наноразмерных интегральных схем (ИС), технологов-материаловедов, разработчиков САПР и баз данных САПР, разработчиков сверхвысокочастотных (СВЧ) монолитных интегральных схем (МИС), сверхбольших интегральных схем (СБИС) уровня «система на кристалле» (СнК) и электронных модулей уровня «система в корпусе» (СвК), разработчиков радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) на основе СнК и СвК.**

Необходимо развитие и дополнительное инфраструктурное обеспечение образовательных программ по подготовке и переподготовке кадров для предприятий

электроники и радиоэлектроники: разработчиков программных и технических средств САПР, библиотек функциональных элементов и технологий проектирования электронной компонентной базы (ЭКБ) различных номенклатурных классов.

Для обеспечения требуемых профессиональных компетенций выпускников образовательных программ необходимо оснащение вузов и научных организаций новым и перспективным технологическим оборудованием, а также средствами САПР.

Всё это необходимо реализовать в первую очередь в вузах и научных организациях, специализирующихся в области создания ЭКБ, разработки соответствующих САПР, технологии и оборудования, имеющих необходимую инфраструктуру, научно-педагогический и инженерно-технический персонал, необходимые для запуска и эксплуатации технологических линий.

2 Развитие инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ

Для развития инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ необходимо осуществить следующий комплекс мероприятий.

1. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования в части программных и технических средств САПР, обеспечивающих полные маршруты проектирования СБИС с топологическими нормами 28 нм, 16 нм и менее, систем на кристалле, СВЧ МИС и СВЧ полупроводниковых приборов на АЗВ5, радиофотонной и оптоэлектронной ЭКБ и СВЧ электронных модулей (ЭМ), микроэлектромеханических систем (МЭМС) и микрооптических электромеханических систем (МОЭМС), интеллектуальных сенсоров и 3D микросборок, микрокристалльных модулей уровня «система в корпусе» и элементов интегрально-оптических ЭМ.

2. Техническое перевооружение существующих опытного производства и станции техиспытаний финишных радиоэлектронных устройств, включая СнК и

гетерогенных микросборок, включая техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования в части программных и технических средств САПР, обеспечивающих сквозное проектирование аналого-цифровых устройств от ЭКБ до аппаратуры (**АСОНИКА, российские аналоги** ADS, Microwave office, Xilinx ISE, CST, Feko, System Vue, Solid Works, Altium Designer).

3. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования в части программных и технических средств САПР, включая дизайн СБИС, разработку технологии и создание элементной базы фотоники.

4. Реконструкция и техническое перевооружение существующих центров проектирования интегральных схем, устройств нанoeлектроники и микросистем программными пакетами САПР и контрольно-аналитическим оборудованием (с приоритетом отечественных аналогов), обеспечивающих решения научно-технических задач, подготовку и удержание кадров со специализацией по разработке и применению в промышленности, науке и образовании методов прототипирования на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), тестопригодного проектирования, верификации тестированию и аналитических исследований проектов СБИС, СнК, СвК, СВЧ МИС и МЭМС, а также систем и устройств на их основе.

5. Техническое перевооружение существующих дизайн-центров программными и техническими средствами САПР (**АСОНИКА, российские аналоги** ADS, Microwave, Office, CST, HFSS, Cadence, Synopsys, SystemVue), реализующих полные маршруты проектирования:

1) СВЧ МИС на гетероструктурах GaAs /GaN/InP с проектными нормами от 100 нм до 18 нм и рабочими частотами до 400-650 ГГц;

2) радиочастотных (РЧ)/СВЧ СБИС и СнК на основе технологий Si/КНИ/ SiGe с проектными нормами от 90 нм до 10-7 нм и рабочими частотами до 300-400 ГГц, радиофотонной и оптоэлектронной ЭКБ;

3) РЧ/СВЧ 3D-микросборок и многокри-

сталльных модулей СвК;

4) РЧ/СВЧ приемо-передающих модулей (ППМ), радиоэлектронных, телекоммуникационных и оптоэлектронных систем на базе ИС и СнК.

6. Техническое перевооружение имеющихся учебно-научных центров и лабораторий в части аналитического и контрольно-измерительного оборудования, программных и технических средств САПР для проектирования и разработки ИС, СнК и модулей СвК.

7. Техническое перевооружение действующих центров проектирования в части программных и технических средств САПР.

8. Техническое перевооружение научно-образовательных центров в области проектирования микроустройств и технологических маршрутов изделий гибкой печатной электроники и фотоники.

9. Создание учебного дизайн-центра САПР в области проектирования электрических схем, топологии, технологических маршрутов создания изделий твердотельной СВЧ и радиационно-стойкой, высокотемпературной микроэлектроники нового поколения для подготовки специалистов в рамках образовательных программ по направлениям «Электроника и нанoeлектроника» и «Нанотехнологии и микросистемная техника».

10. Техническое перевооружение действующих лабораторий технологического и аналитического проектирования электронной компонентной базы на основе программных и технических средств САПР.

11. Создание Центра коллективного пользования САПР (**АСОНИКА, российские аналоги** Cadence, Synopsys, ADS, Microwave, Office, CST, HFSS, SystemVue), обеспечивающих полные маршруты проектирования СБИС с топологическими нормами 28 нм и менее, МЭМС, СнК, СВЧ МИС и СвК с целью решения научно-производственных задач и подготовки кадров.

12. Техническое перевооружение существующих научно-образовательных центров (НОЦ) и лабораторий «Микропроцессорные системы и микросхемотехника» контрольно-измерительным, вычислительным оборудованием.

13. Техническое перевооружение существующих НОЦ «Нанотехнологии» контрольно-измерительным, вычислительным оборудованием.

14. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования (НОЦ и лаборатории «Микропроцессорные системы и микросхемотехника») в части программных и технических средств САПР.

15. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования (НОЦ «Нанотехнологии») в части программных и технических средств САПР.

16. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования (инжиниринговых центров приборостроения радио и микроэлектроники) в части программных и технических средств САПР.

17. Техническое перевооружение действующих научно-образовательных центров, лабораторий радиофизики и электроники программными и техническими средствами САПР в области моделирования и проектирования планарных активных и пассивных компонентов СВЧ МИС:

– для создания моделей компонентов САПР микроэлектроники на базе технологий АЗВ5;

– для моделирования и анализа отказов элементов ЭКБ и выхода их из строя при воздействии внешних электромагнитных полей, а также анализа особенностей их функционирования в неноминальных режимах работы.

18. Техническое перевооружение действующих учебно-научных центров проектирования в части программных и технических средств САПР.

19. Создание центров компетенций по разработке, развитию и поддержке отечественных САПР для микроэлектронной промышленности.

20. Закупка отечественных программных и технических средств проектирования, прототипирования и приборно-технологического моделирования (**АСОНИКА, российские аналоги Cadence, Synopsys, Siemens (бывший Mentor Graphics),** обеспе-

чивающих полные маршруты проектирования.

3 Разработка образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности

Для разработки образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности необходимо реализовать следующие мероприятия.

1. Разработка содержания и технологий обучения по образовательным программам подготовки разработчиков и пользователей программных и технических средств САПР, библиотек и технологий проектирования ЭКБ различных номенклатурных классов.

2. Разработка содержания и технологий обучения по образовательным программам подготовки разработчиков программных средств и баз данных САПР, разработчиков моделей, библиотек и технологий проектирования ЭКБ применительно к активным и пассивным компонентам, СВЧ ИС и СнК на основе технологий GaAs /GaN/InP/Si/КНИ/SiGe, радиофотонной и оптоэлектронной ЭКБ, 3D-микросборкам и модулям СвК.

3. Разработка содержания и технологий обучения по образовательным программам подготовки «Электроника и нанoeлектроника», «Нанотехнологии и микросистемная техника» конструкторов технологического оборудования и технологов по производству наноразмерных ИС, технологов-материаловедов, разработчиков САПР радиационно-стойких СБИС.

4. Разработка содержания и технологий обучения по образовательным программам подготовки конструкторов технологического оборудования и технологов по производству наноразмерных ИС, технологов-материаловедов, разработчиков САПР и баз данных САПР, разработчиков СВЧ МИС, СБИС СнК.

5. Разработка содержания и технологий обучения по образовательным программам подготовки и переподготовки разработчиков и пользователей программных средств САПР, разработчиков моделей, библиотек и технологий проектирования ЭКБ, включая

активные и пассивные компоненты СВЧ на основе технологий АЗВ5 в соответствии с направлениями подпрограмм комплексной целевой подготовки (КЦП).

6. Непрерывная разработка национальных стандартов в области САПР электроники на базе технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» и их внедрение в учебный процесс и практику проектирования на предприятиях электронной промышленности. В настоящее время уже разработано в ТК 165 и введено в действие 34 ГОСТа (<https://asonika-online.ru/tk165-standard-development/>). И это только за последние 2 года. Эту работу надо активно продолжать и вовлекать в неё разработчиков и пользователей САПР электроники.

4 Ожидаемые результаты развития инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ

По итогам развития инфраструктуры образовательных учреждений для реализации образовательных программ ожидаются следующие результаты.

1. Создан комплекс программно-аппаратных средств для развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся на базе полных маршрутов проектирования СБИС и систем на кристалле, включая технологии уровня 65 нм, 28 нм, 16-14 нм и 10-7 нм. С применением средств **САПР АСОНИКА, российских аналогов Cadence и Synopsys** (в т.ч. система прототипирования СБИС и СнК NAPS-80, комплекс CATS подготовки данных для фотошаблонов), **Siemens** (бывший Mentor Graphics).

2. Создана научно-производственная инфраструктура для организации и развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся по сквозному проектированию финишных устройств радиоэлектроники от ЭКБ до аппаратуры в рамках сетевого кластерного взаимодействия организаций высшего образования с организациями микроэлектронной промышленности в рамках задач

КЦП и на дальнейшую перспективу.

3. Создан комплекс программно-аппаратных средств прототипирования на ПЛИС для развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся на базе полных маршрутов проектирования СБИС и систем на кристалле, включая современные технологии производства ИС, промышленности в рамках задач КЦП и на дальнейшую перспективу.

4. Подразделения профильных вузов оснащены программными пакетами **САПР АСОНИКА** и контрольно-аналитическим оборудованием отечественных производителей, а также **российских аналогов компаний Xilinx, Keysight, Cadence Design Systems, Synopsys, Siemens (бывший Mentor Graphics, Coventor MathWork и других)**, обеспечивающих проектирование: 1) п/п приборов с квантовыми эффектами (НЕМТ и других); 2) СБИС СнК (включая технологии уровня до 10-7 нм и ИС для СВЧ применений), 3) комплексированных систем и устройств на их основе с (от УФ до ГГц диапазона); 4) приборов СвК на базе интеграции МЭМС и СБИС.

5. Создан комплекс программно-аппаратных средств для взаимодействия университетов и организаций микроэлектронной промышленности в рамках решения задач КЦП и практико-ориентированного обучения и переподготовки кадров отечественной микроэлектроники.

6. Создана научно-производственная инфраструктура для развития практико-ориентированного обучения в рамках сетевого и кластерного взаимодействия вузов с организациями микроэлектронной промышленности по направлениям КЦП.

7. Оснащены дизайн-центры программными и техническими средствами САПР для проектирования СВЧ МИС на основе технологий GaAs /GaN/InP, PЧ/СВЧ СБИС и СнК на основе технологий Si/КНИ/ SiGe, радиофотонной и оптоэлектронной ЭКБ, 3D-микросборок и многокристальных модулей СвК, СВЧ ППМ, радиоэлектронных, телекоммуникационных и оптоэлектронных систем на базе ИС и СнК

8. Создана научно-производственная инфраструктура для развития практико-

ориентированного обучения в рамках сетевого и кластерного взаимодействия вузов с организациями микроэлектронной промышленности по направлениям КЦП.

9. Оснащены учебно-научные центры и лаборатории в части аналитического и контрольно-измерительного оборудования, программных и технических средств САПР для проектирования и разработки ИС, СнК и модулей СвК.

10. Оснащены широкопрофильные дизайн-центры современными платформами САПР для проектирования СВЧ МИС, СБИС СнК и электронных модулей СвК, разработчиков РЭА на основе СнК и СвК по современным проектным нормам и технологиям производства. Включение этих центров в практико-ориентированный учебный процесс.

11. Создан программно-аппаратный комплекс для решения практико-ориентированных задач в области проектирования и обеспечения образовательного процесса при реализации операций моделирования, конструирования и программного обеспечения технологических маршрутов изделий гибкой печатной электроники и фотоники, включая 2D и 3D интегрированные системы.

12. Создан учебный дизайн-центр **САПР АСОНИКА, российских аналогов Cadence Design System и Synopsys TCAD** по аналогии с комплексами САПР предприятий электронной промышленности с целью обеспечения образовательного процесса и подготовки кадров в области проектирования СБИС и систем на кристалле в рамках задач предприятий электронной промышленности.

13. Создан комплекс программно-аппаратных средств для развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся в рамках задач кафедральных лабораторий и на дальнейшую перспективу.

14. Создан центр коллективного пользования системами автоматизированного проектирования для разработки цифровых, аналоговых и смешанных монолитных интегральных схем, в том числе СВЧ диапазона на основе кремниевых субмикронных

технологий для развития компетенций обучающихся на курсах по подготовке и переподготовке разработчиков СВЧ МИС, СБИС СнК и электронных модулей СвК.

15. Лаборатории, оснащенные оборудованием для комплексной целевой подготовки для промышленных и проектных организаций и предприятий конструкторов и разработчиков СБИС СнК, радиоэлектронной аппаратуры на основе СнК и СвК, а также баз данных САПР.

16. Лаборатории, оснащенные оборудованием для комплексной целевой подготовки для промышленных и проектных организаций и предприятий конструкторов и разработчиков СБИС СнК, радиоэлектронной аппаратуры на основе СнК и СвК, а также баз данных САПР.

17. Лаборатории, оснащенные серийными средствами САПР для комплексной целевой подготовки для промышленных и проектных организаций и предприятий конструкторов и разработчиков СБИС СнК, радиоэлектронной аппаратуры на основе СнК и СвК, а также баз данных САПР.

18. Лаборатории, оснащенные серийными средствами САПР для комплексной целевой подготовки для промышленных и проектных организаций и предприятий конструкторов и разработчиков СБИС СнК, радиоэлектронной аппаратуры на основе СнК и СвК, а также баз данных САПР.

19. Центр коллективного пользования САПР, оснащенный серийными средствами САПР для проектирования ЭКБ для промышленных и проектных организаций и предприятий, а также подготовке и переподготовке для предприятий ОПК разработчиков САПР и баз данных САПР, разработчиков СВЧ МИС, СБИС СнК и электронных модулей СвК, разработчиков РЭА на основе СнК и СвК

20. Создан программно-аппаратный комплекс для решения задач в области проектирования, конструирования и разработки программного обеспечения для моделирования планарных активных и пассивных компонентов СВЧ МИС, создания моделей компонентов для САПР микроэлектроники на базе технологий АЗВ5. Разработанный комплекс включен в практико-ориентиро-

ванный учебный процесс.

21. Созданы элементы современной базы для моделирования твердотельных электронных приборов и элементов микроэлектроники на базе технологий АЗВ5. Разработана программа взаимодействия образовательных подразделений Вузов с организациями микроэлектронной промышленности РФ.

22. Создан комплекс программно-аппаратных средств для развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся на базе полных маршрутов проектирования СБИС и систем на кристалле, включая технологии уровня 65 нм, 28 нм, 16-14 нм и 10-7 нм, промышленности в рамках задач КЦП и на дальнейшую перспективу.

23. Создан центр компетенции по разработке, развитию и поддержке отечественных САПР для микроэлектронной промышленности в разделах: программные средства САПР, библиотеки сложно-функциональных блоков и технологии проектирования СВЧ МИС на гетероструктурах GaAs и GaN/SiC; программные средства САПР радиофотонной, оптоэлектронной ЭКБ и МОЭМС; технические средства и операционное программное обеспечение САПР СВЧ МИС, СБИС СнК и модулей СвК. Разработаны образцы ЭКБ для силовой и СВЧ микроэлектроники.

24. Создана научно-производственная инфраструктура для организации и развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся в рамках сетевого и кластерного взаимодействия образовательных организаций высшего образования.

5 Ожидаемые результаты разработки образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности

По итогам разработки образовательных программ и технологий подготовки специалистов для электронной промышленности ожидаются следующие результаты.

1. Создан комплекс учебно-методических материалов для развития системы практико-ориентированного развития компетенций обучающихся в рамках сетевого и кластерного взаимодействия образовательных организаций высшего образования с организациями микроэлектронной промышленности в рамках задач КЦП и на дальнейшую перспективу

2. Создан комплекс учебно-методических материалов для развития практико-ориентированного обучения в рамках сетевого и кластерного взаимодействия вузов с организациями микроэлектронной промышленности по направлениям КЦП.

3. Непрерывная подготовка и переобучение разработчиков программных средств и баз данных САПР, разработчиков моделей, библиотек и технологий проектирования ЭКБ применительно к активным и пассивным компонентам, СВЧ ИС и СнК на основе технологий GaAs/GaN/InP/Si/КНИ/SiGe, радиофотонной и оптоэлектронной ЭКБ, 3D-микросборкам и модулям СвК для профильных предприятий.

4. Организован образовательный процесс, основанный на обновленном комплексе учебно-методических материалов, направленный на практико-ориентированное развитие компетенций обучающихся. К образовательному процессу широко привлекаются специалисты предприятий-партнеров.

5. Комплекс организационных, учебных, учебно-методических материалов и учебно-лабораторного оборудования.

6. Создан комплекс учебно-методических материалов для развития практико-ориентированного обучения в рамках сетевого и кластерного взаимодействия вузов с организациями микроэлектронной промышленности по направлениям КЦП. Ведется непрерывная подготовка и переобучение разработчиков САПР, моделей и библиотек, программного обеспечения для моделирования планарных активных и пассивных компонентов СВЧ МИС, создания моделей компонентов САПР микроэлектроники на базе технологий АЗВ5 для профильных предприятий.

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

Первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной аппаратуры 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 аппаратуры на внешние механические и тепловые воздействия, разработанные в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники». Рассмотрены следующие механические воздействия: синусоидальная вибрация, случайная вибрация, одиночный механический удар, акустический шум. Рассмотрены стационарные и нестационарные тепловые воздействия.

Ключевые слова: виртуальные испытания, электронная аппаратура, механические воздействия, тепловые воздействия, синусоидальная вибрация, случайная вибрация, одиночный механический удар, акустический шум, стационарные, нестационарные.

The first national standards in the field of virtual testing of electronic equipment 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 equipment for external mechanical and thermal influences, developed within the framework of the technical committee for standardization TC 165 «Computer-aided design of electronics». The following mechanical impacts are considered: sinusoidal vibration, random vibration, single mechanical shock, acoustic noise. Stationary and non-stationary thermal effects are considered.

Keywords: virtual tests, electronic equipment, mechanical effects, thermal effects, sinusoidal vibration, random vibration, single mechanical shock, acoustic noise, stationary, non-stationary.

Введение

В октябре 2023 года введены в действие национальные стандарты, разработанные Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский

институт «АСОНИКА» (ООО «НИИ «АСОНИКА») в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»:

1. **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)

2. **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)

3. **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)

4. **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)

5. **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)

6. **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)

Это первые национальные стандарты в области виртуальных испытаний электронной аппаратуры (ЭА) на внешние механические и тепловые воздействия. В стандартах рассматриваются следующие механические воздействия: синусоидальная вибрация, случайная вибрация, одиночный механический удар, акустический шум. В стандартах рассматриваются ста-

онарные и нестационарные тепловые воздействия.

Стандарты распространяются на показатели стойкости ЭА 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 ЭА на внешние механические и тепловые воздействия, снижение затрат на разработку, производство и обслуживание за счет повышения качества разработок.

Применение математического моделирования и виртуальных испытаний ЭА на внешние механические и тепловые воздействия на ранних этапах проектирования до изготовления опытного образца позволит избежать отказов ЭА 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 ЭА при одновременном повышении качества и надежности, в том числе в критических режимах работы, делая ЭА конкурентоспособной на отечественном и международном рынке.

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

проекта – испытания опытного образца – доработка проекта и т. д., что значительно увеличивает сроки и стоимость разработки.

Объектами виртуальных испытаний при внешних механических и тепловых воздействиях являются:

- произвольные конструкции шкафов и блоков ЭА без виброизоляторов, 3D-модели которых созданы в САД-системах в формате STEP;

- типовые конструкции шкафов и блоков ЭА без виброизоляторов, 3D-модели которых созданы в специализированных интерфейсах подсистем виртуальных испытаний ЭА на внешние механические и тепловые воздействия;

- произвольные и типовые конструкции шкафов и блоков ЭА, установленные на виброизоляторах.

Примером подсистем виртуальных испытаний ЭА на внешние механические и тепловые воздействия является совокупность подсистем российской САПР электроники в части виртуальных испытаний – автоматизированной системы обеспечения надежности и качества аппаратуры (АСОНИКА) (<https://asonika-online.ru/>), предназначенной для анализа и обеспечения стойкости ЭА и электронной компонентной базы (ЭКБ) к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, для создания карт рабочих режимов ЭКБ, анализа показателей надежности ЭА и создания цифровых двойников ЭА и ЭКБ.

АСОНИКА – это замена натуральных испытаний опытных образцов ЭА 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 ЭА и ЭКБ при одновременном повышении качества и надежности за счет сокращения количества натуральных испытаний.

При внешних механических воздействиях на этапе эскизного проектирования электроники (до создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют следующие подсистемы:

- 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).

При внешних механических воздействиях на этапе технического проектирования (после создания электрических схем, чертежей и 3D-моделей) используют подсистему АСОНИКА-М-3D, которая является подсистемой анализа и обеспечения стойкости произвольных объемных конструкций ЭА и ЭКБ к механическим и тепловым воздействиям с возможностью импорта геометрии из различных САД-систем.

При внешних механических воздействиях на всех этапах проектирования электроники используют следующие подсистемы:

- АСОНИКА-В: подсистема анализа и обеспечения стойкости к механическим воздействиям конструкций ЭА, установленных на виброизоляторах;

- 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 надежности параметрам.

При внешних тепловых воздействиях на этапе эскизного проектирования электроники 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;

- АСОНИКА-М-ШКАФ.

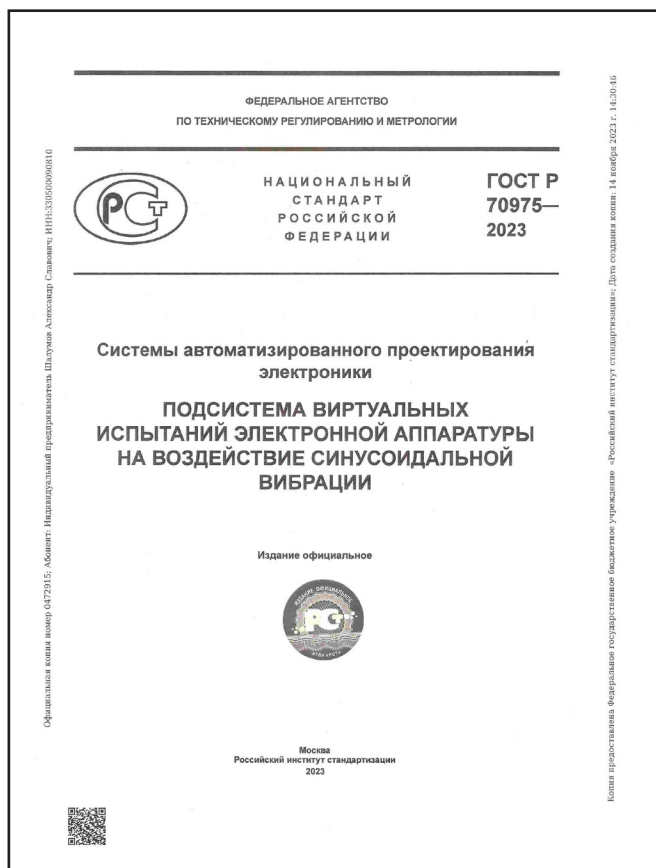
На этапе технического проектирования

используют подсистему АСОНИКА-М-3D.

На всех этапах проектирования электроники используют следующие подсистемы:

АСОНИКА-ИД;
АСОНИКА-БД.

1 ГОСТ Р 70975-2023



Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭА на воздействие синусоидальной вибрации.

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

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.10.

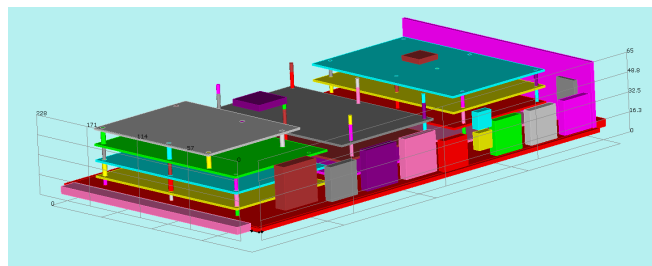
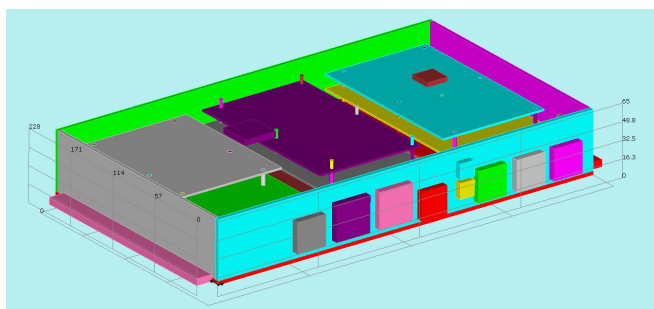


Рисунок 1.1 – Конструкция блока ЭА, импортированная из САД-системы в подсистему АСОНИКА-М-3D

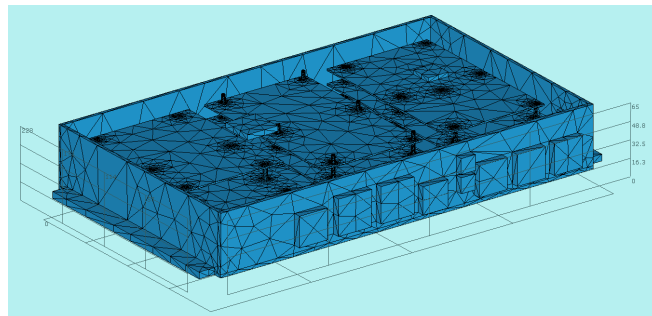


Рисунок 1.2 – Автоматическое разбиение на конечные элементы

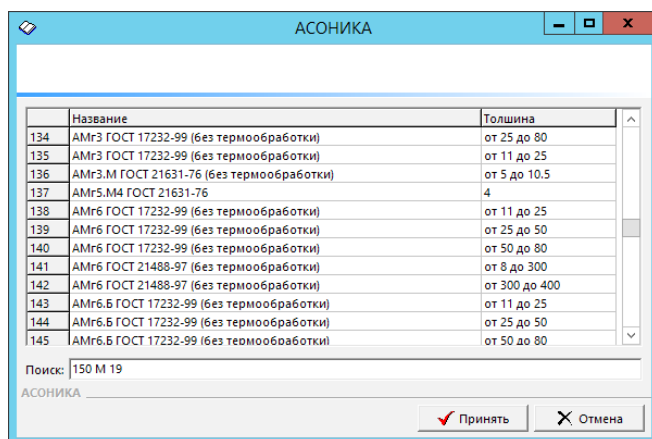


Рисунок 1.3 – Диалоговое окно для выбора материала из базы данных

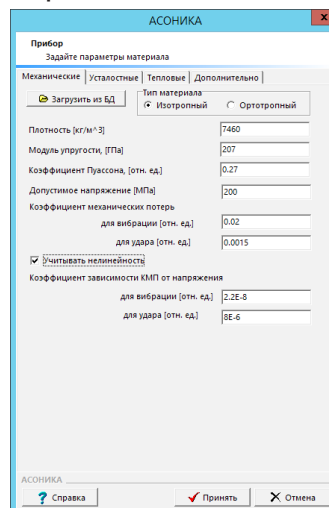


Рисунок 1.4 – Диалоговое окно для задания параметров материала

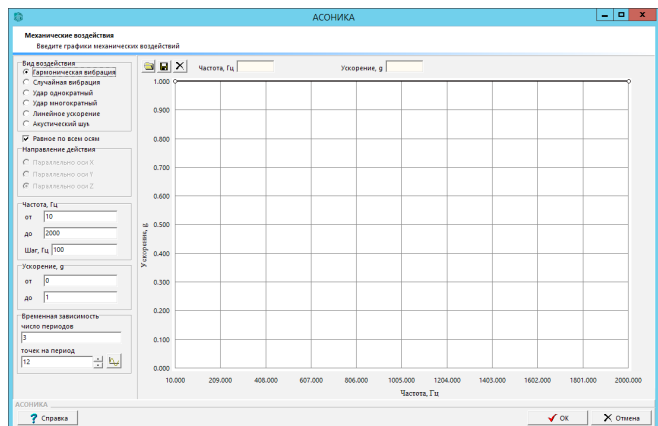


Рисунок 1.5 – График зависимости амплитуды входного ускорения синусоидальной вибрации от частоты

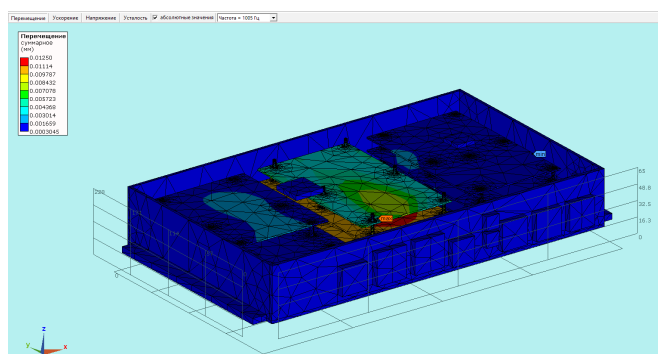


Рисунок 1.6 – Суммарные перемещения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

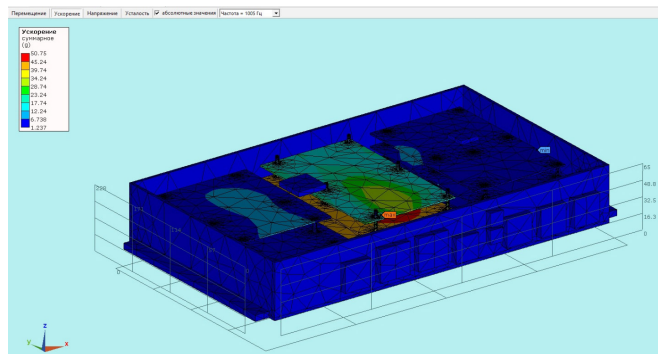


Рисунок 1.7 – Суммарные ускорения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

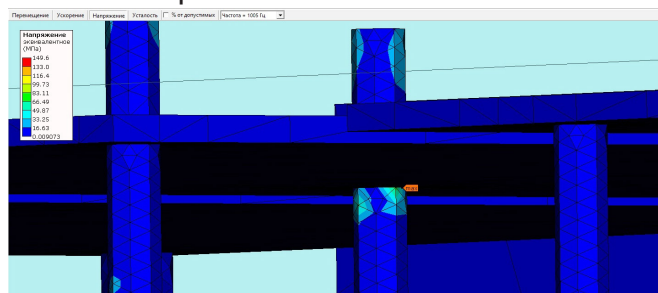


Рисунок 1.8 – Эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

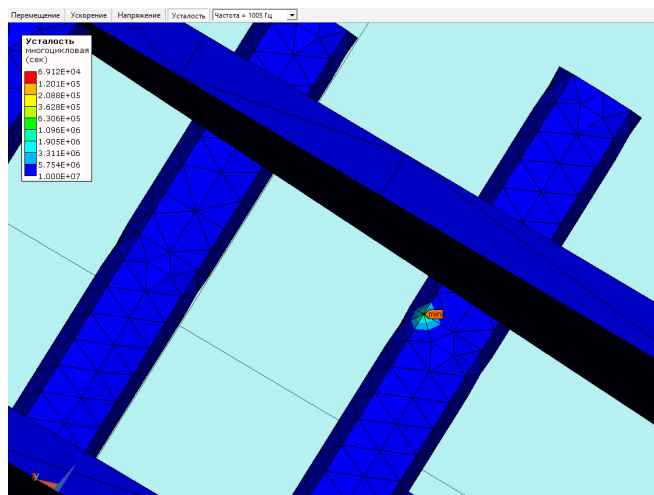


Рисунок 1.9 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

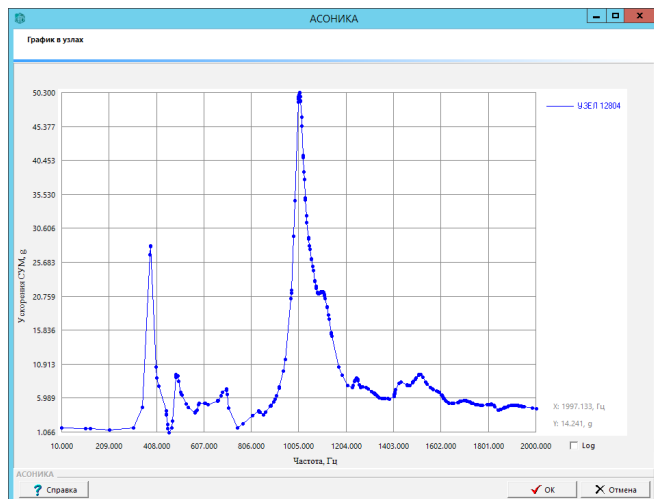


Рисунок 1.10 – График зависимости амплитуды суммарного выходного ускорения синусоидальной вибрации от частоты в контрольной точке

2 ГОСТ Р 70914-2023

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

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

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

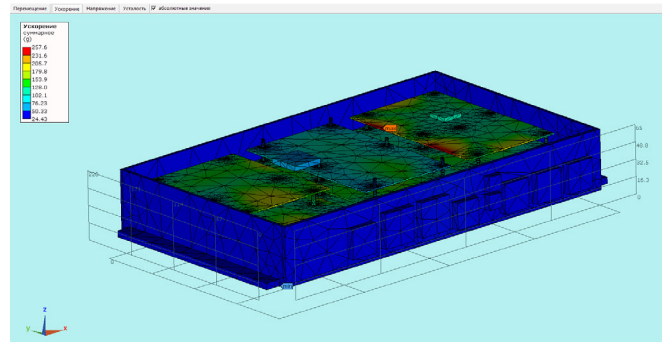
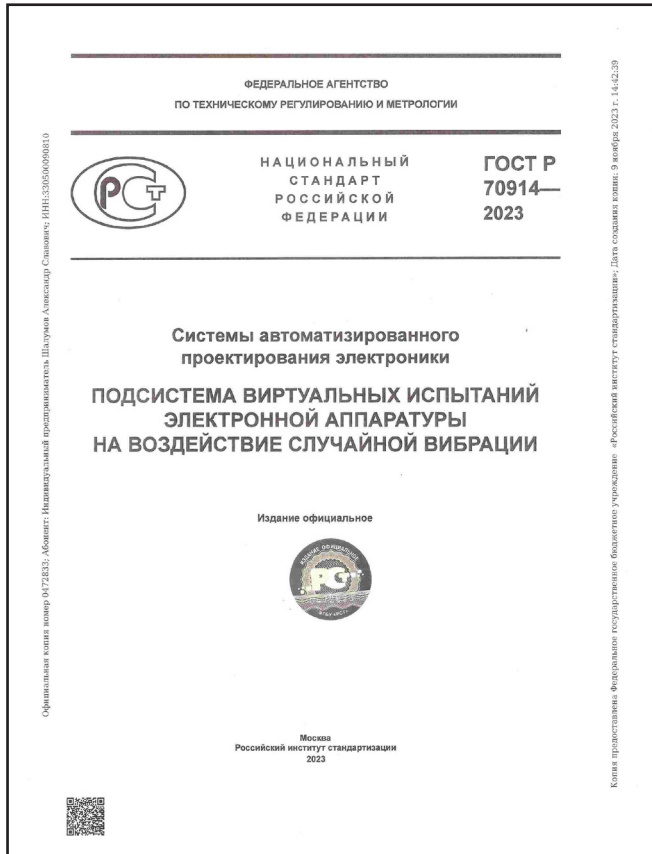


Рисунок 2.3 – Среднеквадратичские суммарные ускорения во всех точках конструкции блока ЭА

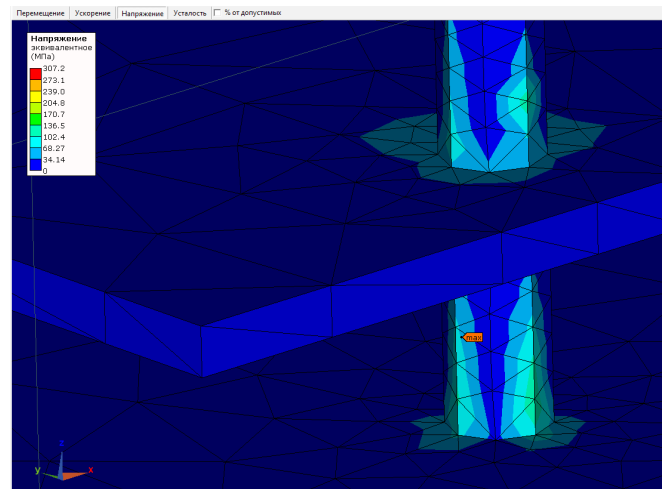


Рисунок 2.4 – Среднеквадратичские эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции блока ЭА

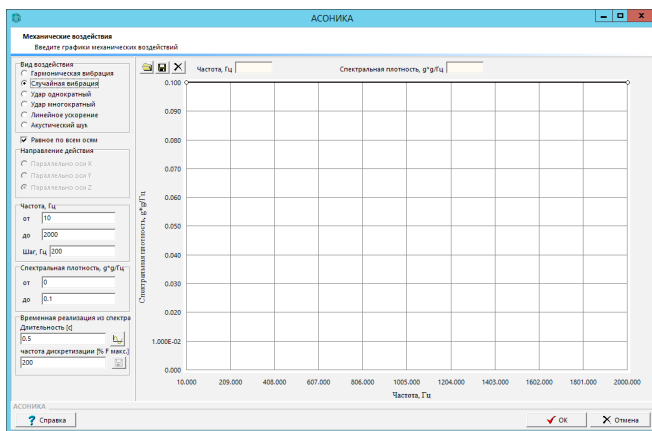


Рисунок 2.1 – График зависимости входной спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты

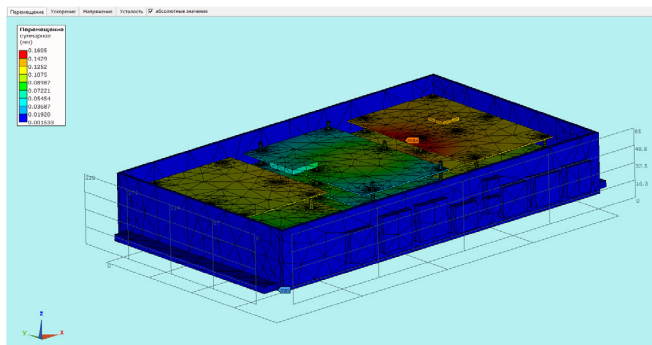


Рисунок 2.2 – Среднеквадратичские суммарные перемещения во всех точках конструкции блока ЭА

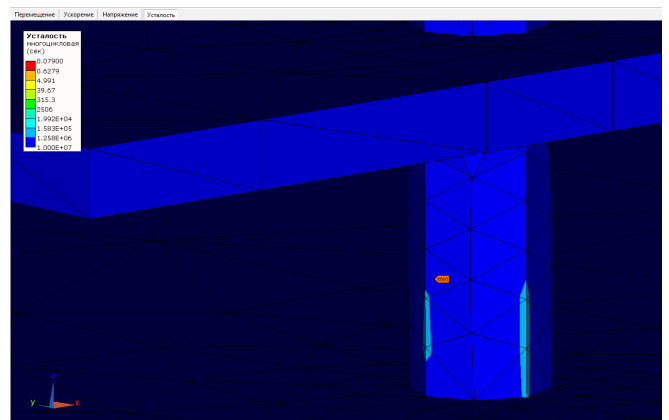


Рисунок 2.5 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции блока ЭА при воздействии случайной вибрации

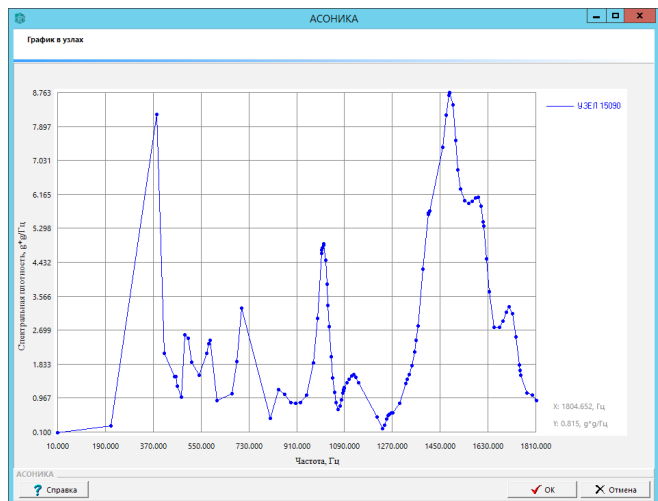
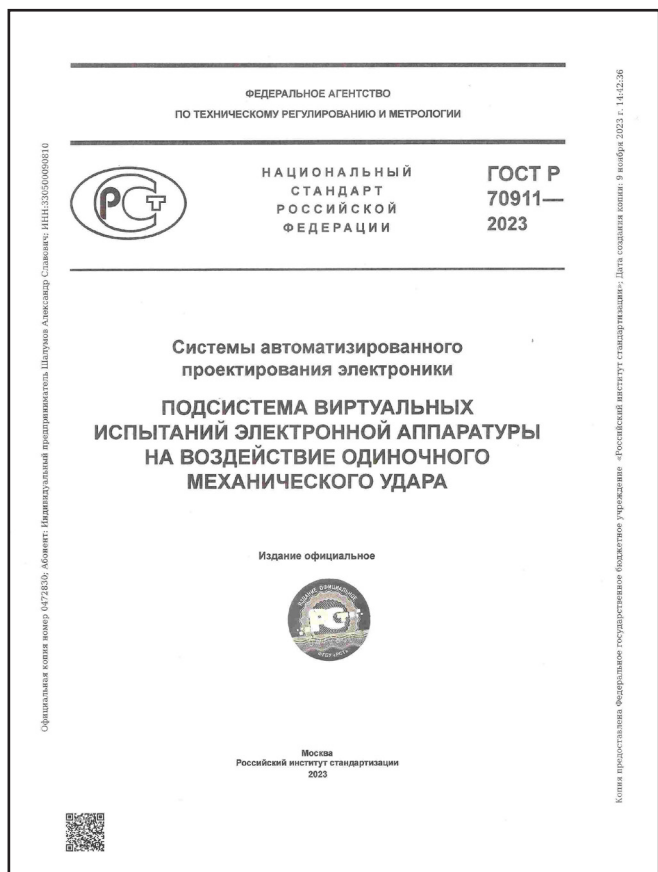


Рисунок 2.6 – График зависимости выходной спектральной плотности ускорения случайной вибрации от частоты по оси Z в контрольной точке

3 ГОСТ Р 70911-2023



Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭА на воздействие одиночного механического удара.

Оцениваемыми характеристиками являются ускорения, перемещения, механические напряжения в ЭА.

Результаты работы подсистемы АСО-

НИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.4, 3.1 – 3.5.

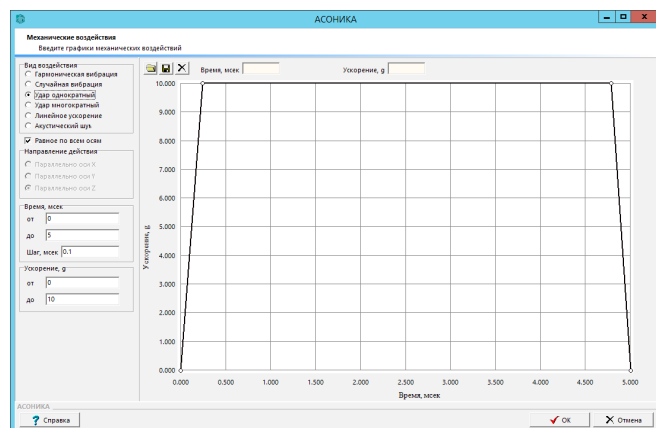


Рисунок 3.1 – График зависимости входного суммарного ускорения одиночного механического удара от времени

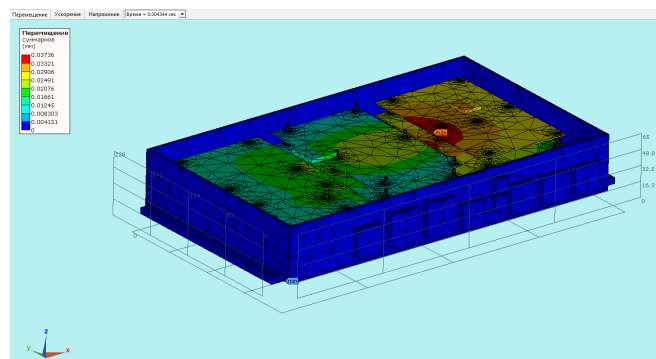


Рисунок 3.2 – Суммарные перемещения во всех точках конструкции блока ЭА при воздействии одиночного механического удара в заданный момент времени

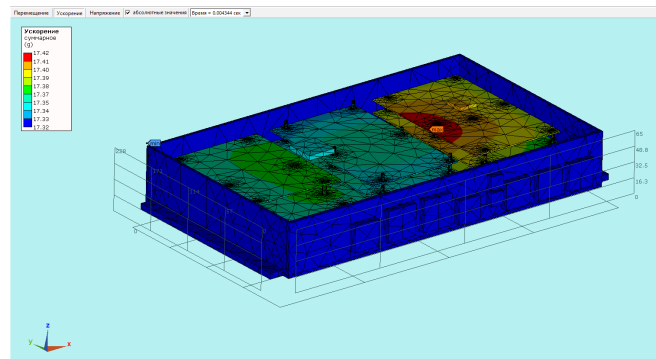


Рисунок 3.3 – Суммарные ускорения во всех точках конструкции блока ЭА при воздействии одиночного механического удара в заданный момент времени

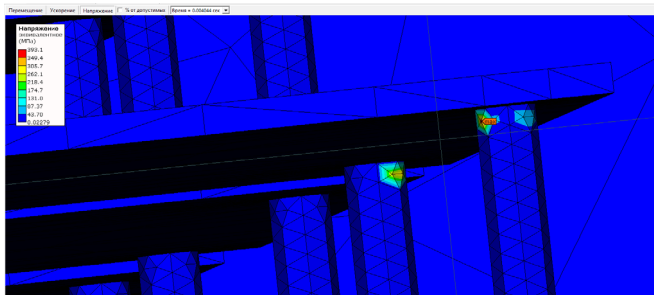


Рисунок 3.4 – Эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции блока ЭА при воздействии одиночного механического удара в заданный момент времени

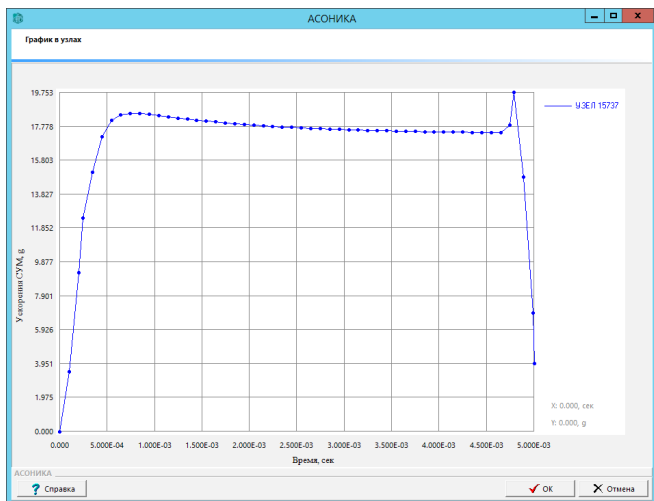


Рисунок 3.5 – График зависимости выходного суммарного ускорения одиночного механического удара от времени в контрольной точке конструкции блока ЭА

4 ГОСТ Р 70912-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭА на воздействие акустического шума.

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

Результаты работы подсистемы АСОНИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.4, 4.1 – 4.6.

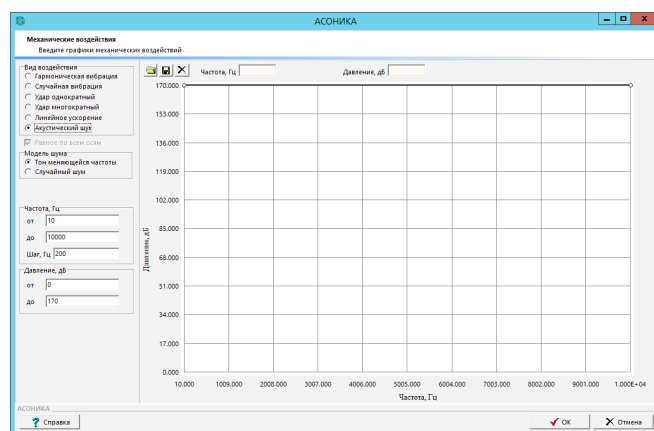
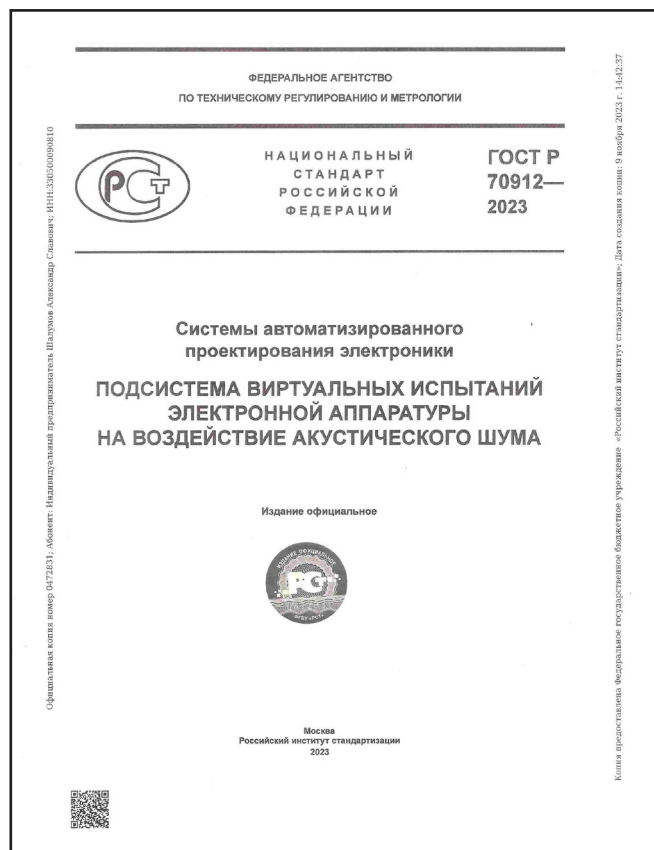


Рисунок 4.1 – График зависимости уровня звукового давления от частоты

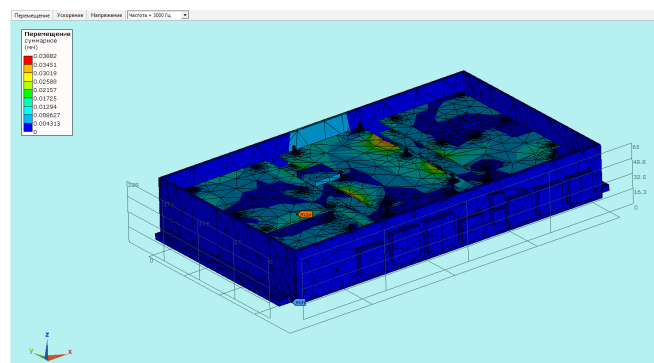


Рисунок 4.2 – Суммарные перемещения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

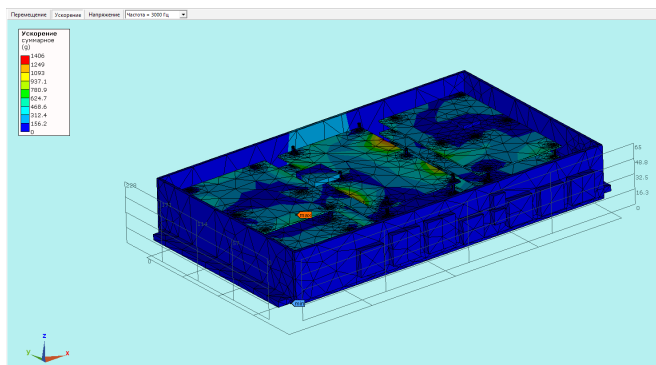


Рисунок 4.3 – Суммарные ускорения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

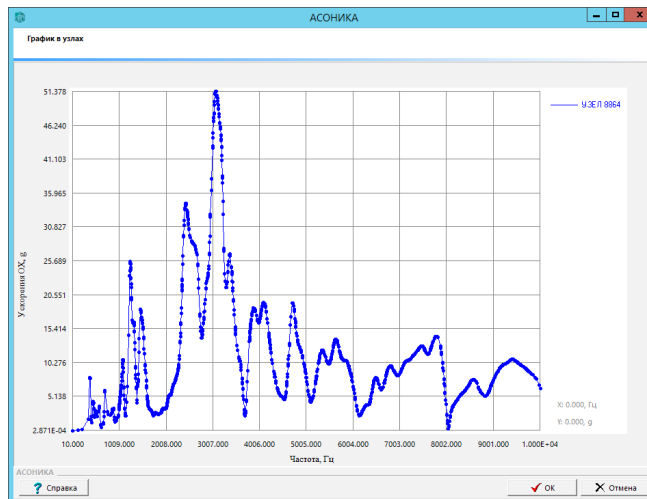


Рисунок 4.6 – График зависимости амплитуды выходного ускорения вторичной синусоидальной вибрации по оси X от частоты в контрольной точке

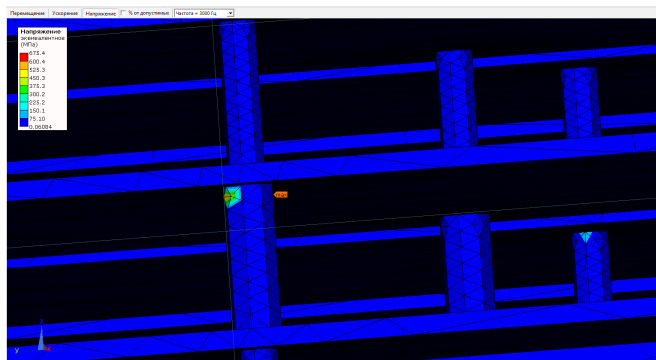


Рисунок 4.4 – Эквивалентные механические напряжения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

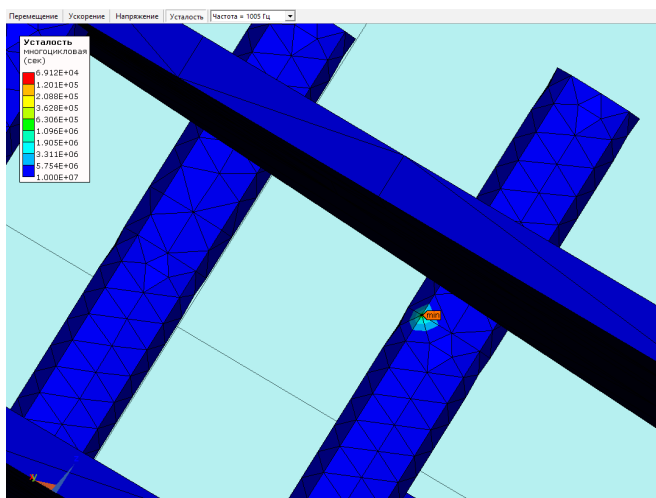



Рисунок 4.5 – Время до усталостного разрушения во всех точках конструкции блока ЭА на резонансной частоте

5 ГОСТ Р 70913-2023

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ




НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
70913—
2023

Системы автоматизированного проектирования электроники
ПОДСИСТЕМА ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ НА СТАЦИОНАРНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Издание официальное



Москва
Российский институт стандартизации
2023

Официальная копия номера 0472932; Абонент: Индивидуальный предприниматель Шадрин Александр Степанов; ИНН: 330504000310

Копия зарегистрирована в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Российский институт стандартизации»; Дата создания копии: 9 ноября 2023 г., 14:42:38

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

Оцениваемыми характеристиками являются постоянные температуры в узлах моделей ЭА.

Результаты работы подсистемы АСО-

НИКА-Т представлены на рисунках 5.1 – 5.3.

Результаты работы подсистемы АСО-НИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.3, 5.4 – 5.8.

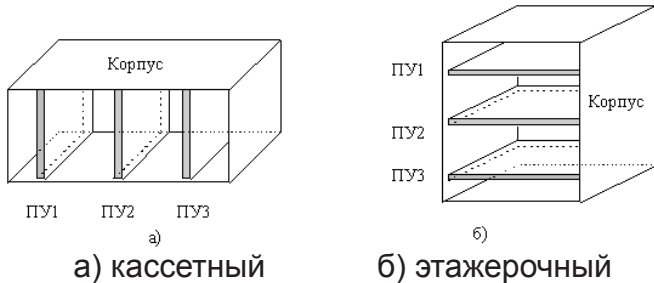
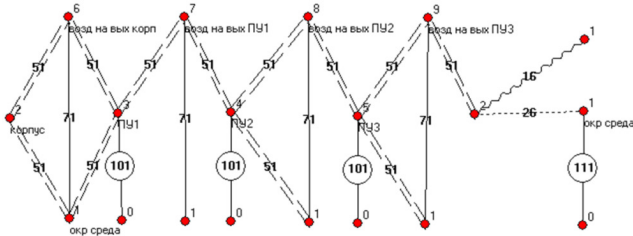


Рисунок 5.1 – Блок ЭА (передняя стенка условно не показана)

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 5.2 – 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 5.3 – Температуры в узлах модели тепловых процессов кассетного блока с продувом

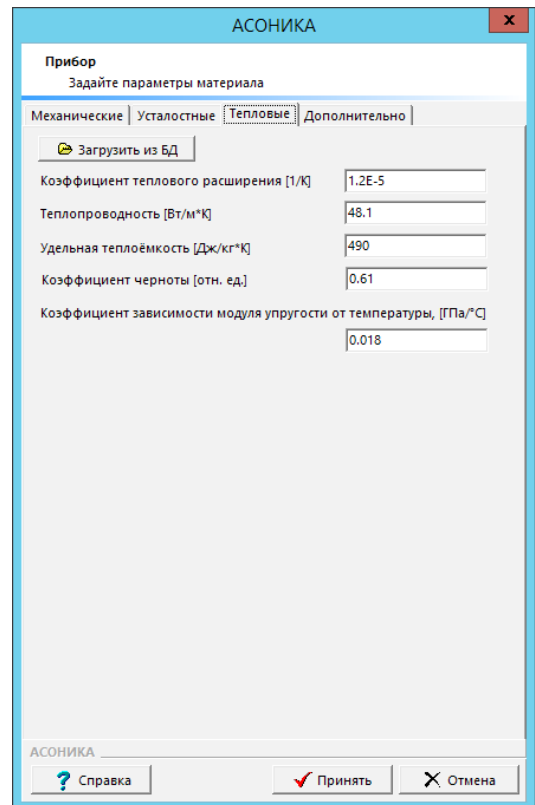


Рисунок 5.4 – Диалоговое окно для задания параметров материала

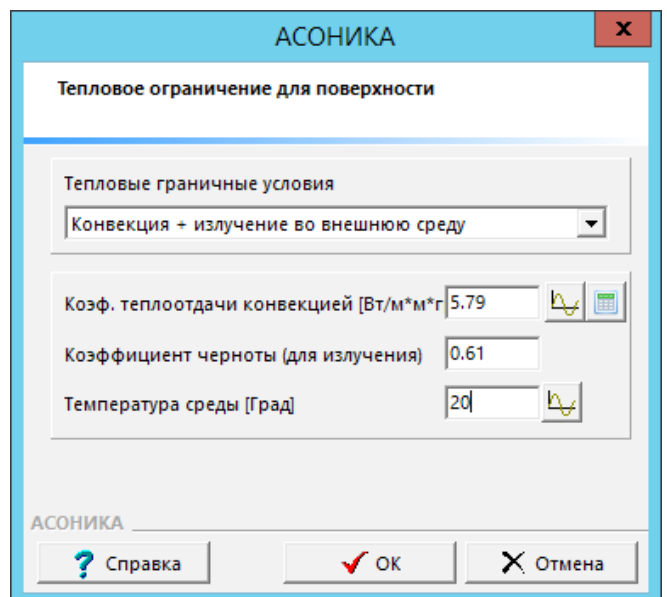


Рисунок 5.5 – Задание тепловых граничных условий

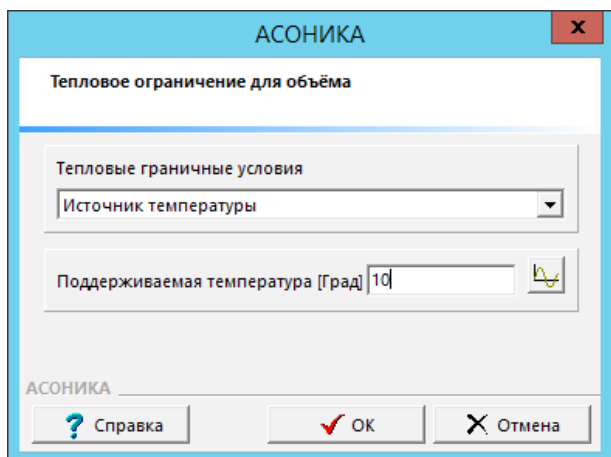


Рисунок 5.6 – Задание источника постоянной температуры

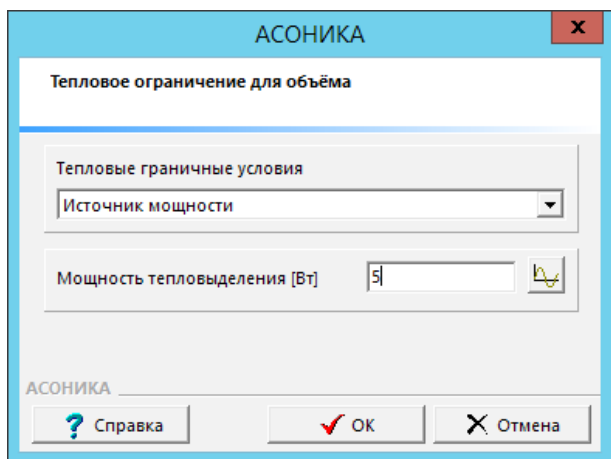


Рисунок 5.7 – Задание источника постоянной мощности

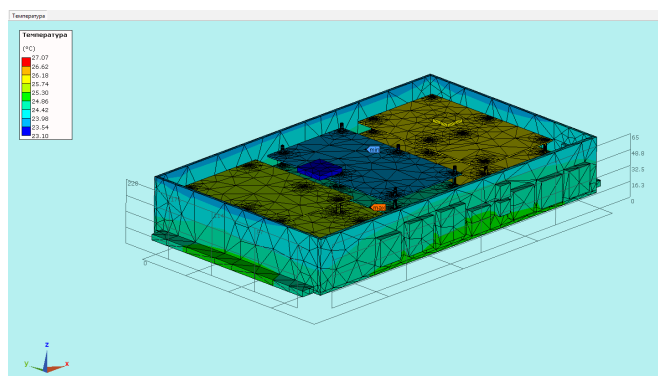


Рисунок 5.8 – Температуры во всех точках конструкции блока ЭА

6 ГОСТ Р 70915-2023

Настоящий стандарт определяет требования к подсистеме виртуальных испытаний ЭА на нестационарные тепловые воздействия.

Оцениваемыми характеристиками являются температуры в узлах моделей ЭА в зависимости от времени.

Результаты работы подсистемы АСО-

НИКА-Т представлены на рисунках 6.1 – 6.4. Результаты работы подсистемы АСО-НИКА-М-3D представлены на рисунках 1.1 – 1.3, 5.4, 6.5 – 6.9.

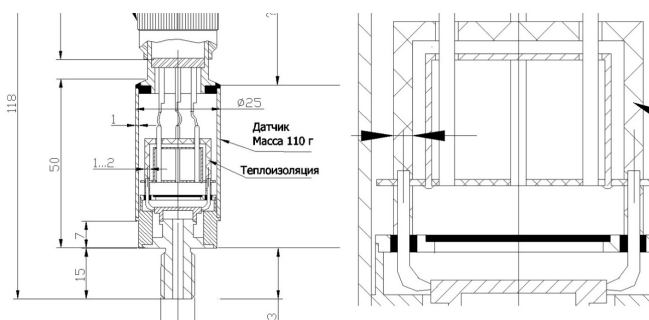
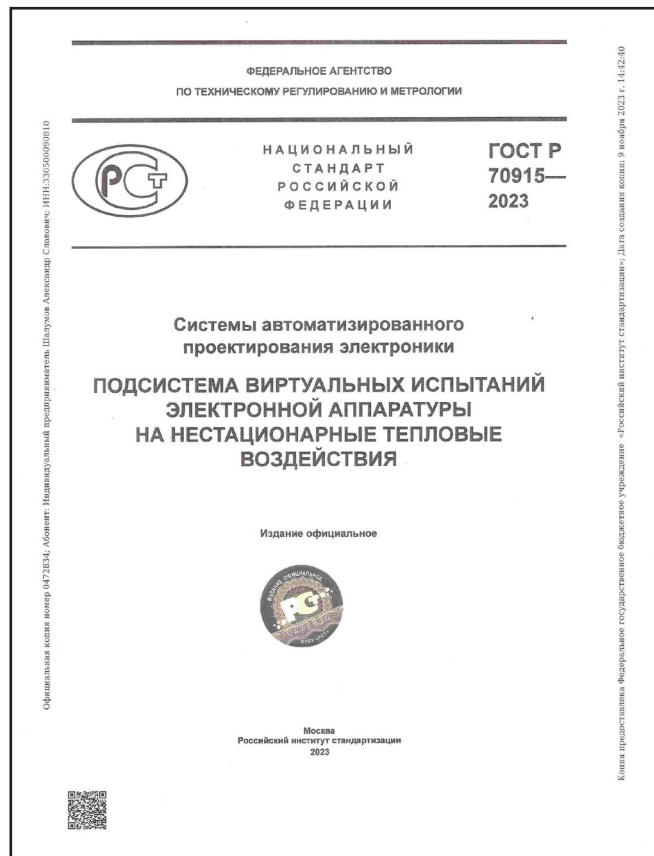


Рисунок 6.1 – Чертежи датчика

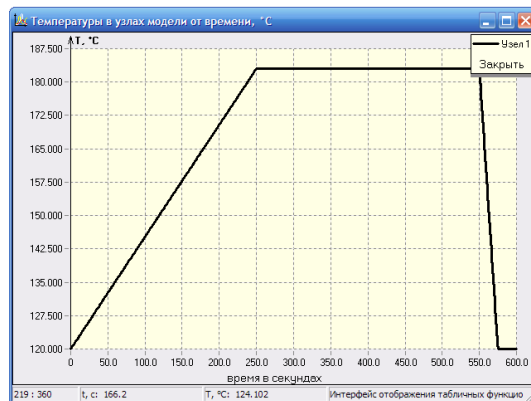
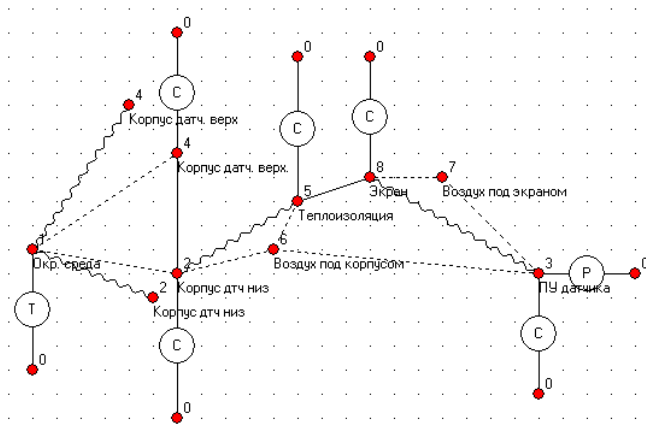


Рисунок 6.2 – График внешнего теплового воздействия



Номер узла	Имя узла	Номер узла	Имя узла
1	Окружающая среда	5	Теплоизоляция
2	Корпус датчика низ	6	Воздух под экраном
3	Печатный узел датчика	7	Воздух под корпусом датчика
4	Корпус датчика верх	8	Экран

Рисунок 6.3 – Модель тепловых процессов кассетного блока с продувом

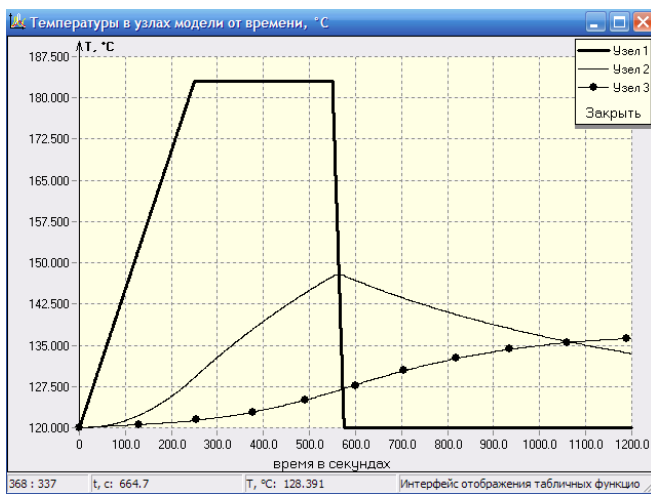


Рисунок 6.4 – Результат расчета теплового режима датчика для окружающей среды, корпуса, печатного узла датчика (зависимость температуры от времени)

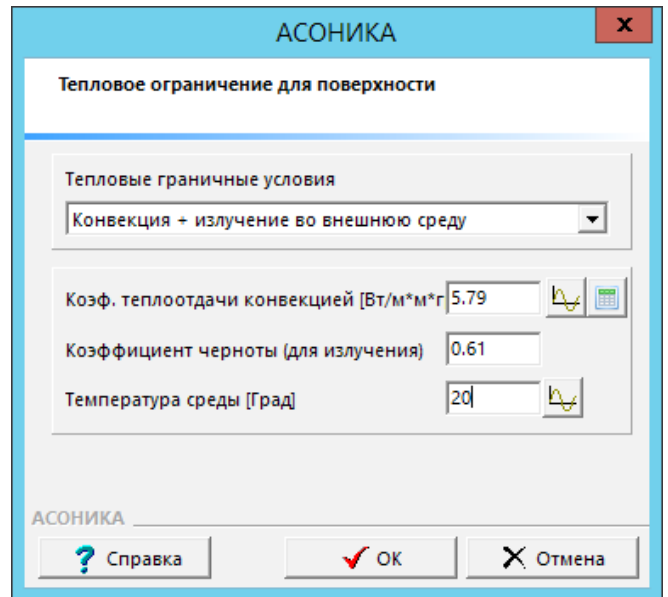


Рисунок 6.5 – Задание тепловых граничных условий

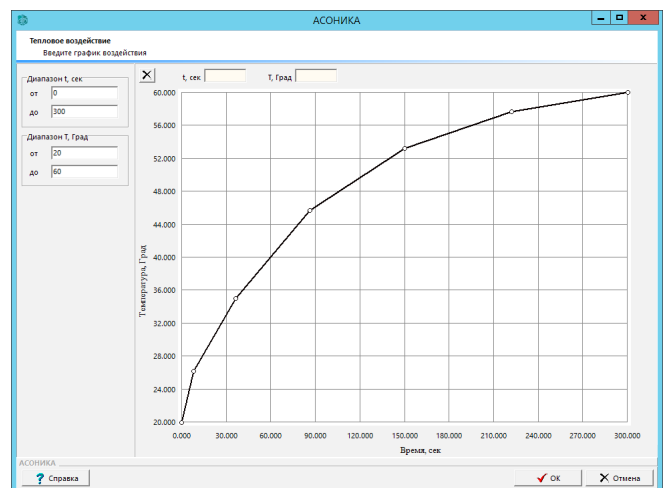


Рисунок 6.6 – Задание источника переменной температуры

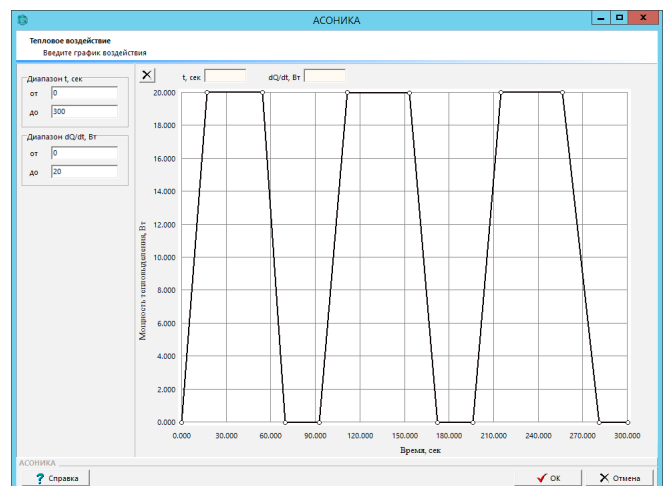


Рисунок 6.7 – Задание источника переменной мощности

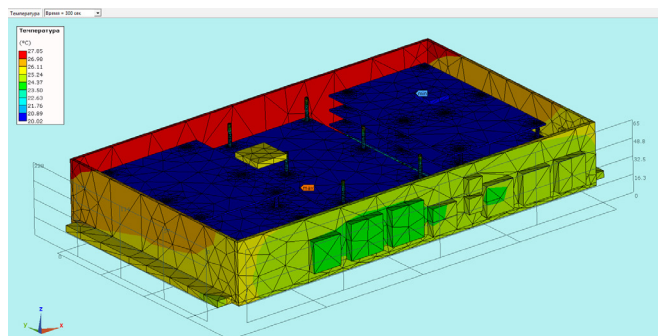


Рисунок 6.8 – Температуры во всех точках конструкции блока ЭА в заданный момент времени

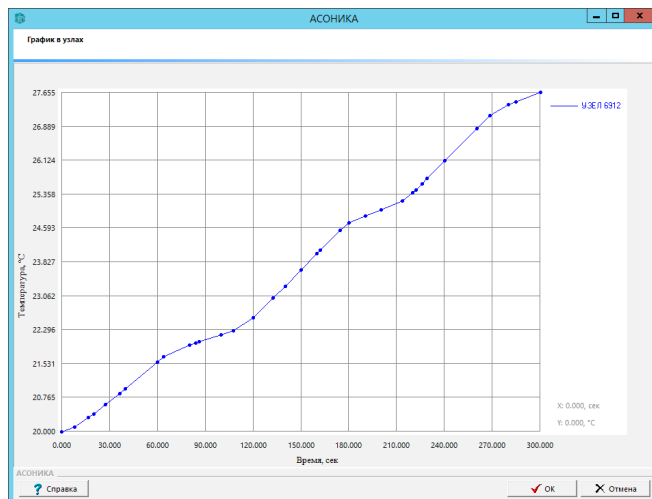


Рисунок 6.9 – Зависимость температуры в контрольной точке конструкции блока ЭА от времени

Система моделирования аналоговой электроники SimOne – лучше зарубежных конкурентов?

Колотилев Алексей Александрович
Ассистент кафедры ПиТЭС, УлГТУ, г. Ульяновск
kolalal_00@mail.ru

Аннотация

В статье проводится анализ зарекомендовавшей себя системы моделирования электронных схем Proteus и перспективной, набирающей популярность отечественной разработкой SimOne.

Ключевые слова: электрическая схема, схемотехническое моделирование, аналоговая электроника, цифровая электроника, возможности, ограничения, сравнение.

SimOne analog electronics modeling system – better than foreign competitors?

Kolotilov A.A.

Abstract

The article analyzes the proven system for modeling electronic circuits Proteus and the promising, increasingly popular domestic development SimOne.

Keywords: electrical circuit, circuit modeling, analog electronics, digital electronics, capabilities, limitations, comparison.

1 Proteus – все еще лучший?

Proteus Design Suite – система автоматизированного проектирования (САПР) электронных схем. Разработка компании Labcenter Electronics (Великобритания).

Пакет представляет собой систему моделирования, базирующуюся на основе моделей электронных компонентов, принятых в PSpice. Отличительной чертой пакета Proteus VSM является возможность моделирования работы программируемых устройств: микроконтроллеров, микропроцессоров и проч. Дополнительно в пакет входит система проектирования печатных плат. Причем в Proteus полностью реализована концепция сквозного проектирования, когда, например, инженер что-то меняет в логике работы схемотехники и программный пакет тут же «подхватывает» данные изменения в системе трассировки [1].

Отличительной особенностью среды

моделирования является возможность исследовать такие параметры схемы, как токи в цепях и напряжения в узлах электрической схемы в реальном времени, что полезно при наличии в схеме различных дискретных переключателей, позволяющих оценить рабочие параметры для каждого заданного состояния. Наличие виртуальных средств измерений, как, например, осциллограф, позволяет добавить в группы исследуемых параметров временные характеристики напряжений сигналов.

Для разработчиков цифровых схем система может предложить различный набор виртуальных индикаторов, терминалов и дисплеев. Любой источник света в схеме при моделировании работы подсвечивается своим цветом свечения. Это способствует повышению интерактивности моделирования, особенно для радиолюбителей, когда результат работы схемы с элемента-

ми оптоэлектроники является предельно наглядным.

Библиотека компонентов в Proteus весьма обширна. Она представляет большой выбор как аналоговых, так и цифровых элементов. SPICE-модели большинства элементов описывают все паразитные характеристики, которые свойственны реальному изделию. Например, сравнивая подачу одинакового сигнала через выпрямительный диод, диод Шоттки и импульсный диод, можно оценить влияние собственной емкости диода на форму сигнала. Подобные утверждения справедливы и для множеств семейств транзисторов, тиристоров и прочих нелинейных элементов.

Таким образом, Proteus является полноценной САЕ-, САD-системой, поддерживающей работу со всеми типами электрических схем. Пакет является коммерческим, бесплатная версия предоставляет пользователю полный функционал для ознакомления, но не позволяет сохранять разработанные проекты. Немаловажным также является факт, что политика государства, в котором зарегистрирована фирма-производитель данной САПР, накладывает существенные ограничения на поставку данного продукта на территорию Российской Федерации.

2 SimOne – ответ от отечественных разработчиков

SimOne – современная высокоэффективная система схемотехнического моделирования, использующая наряду с классическими алгоритмами оригинальные, основанные на современных численных методах. Разработка компании Eremex (Россия). По заявлениям разработчиков, SimOne многократно превосходит по скорости моделирования обычные SPICE-симуляторы при той же точности расчетов [2].

Ключевой особенностью SimOne является обилие возможностей для профессионального моделирования аналоговых электрических схем. Имеется возможность проводить анализ устойчивости схемы, рассчитать периодические режимы, определить чувствительность схемы, провести анализ наихудшего случая, провести мно-

говариантный анализ, оптимизировать параметры схемы под требуемый режим работы, синтезировать RLC-фильтры и пр.

В процессе моделирования имеется возможность исследовать все интересующие параметры схемы с помощью перечисленных анализов и симуляций. Все заданные зависимости во временной и частотной областях выводятся в виде графиков соответствующих функций. Наличие функции пересчитывания результатов моделирования при изменении параметров схемы в реальном времени позволяет моментально отследить изменения в режиме работы проектируемого устройства. Система маркеров позволяет оценить точные значения того или иного параметра.

Библиотека моделей компонентов содержит как встроенные SPICE-модели компонентов (SPICE-примитивы), так и обширную (более 30 000 шт.) базу готовых моделей реальных схемных компонентов. Реализована удобная работа с текстовыми SPICE-библиотеками и графическими макромоделями.

Полная версия SimOne является платным продуктом, но для разного рода радиолюбителей, непрофессионалов и просто тех, кто хочет обучиться искусству аналогового моделирования, компания Eremex предлагает бесплатную версию с полным функционалом и возможностью сохранения разработанных проектов. Отличие от коммерческой версии лишь в максимально возможном количестве элементов на схеме – в бесплатной версии оно равняется пятидесяти.

Как самостоятельная САПР, SimOne весьма ограничена функционалом: отсутствуют возможности перевода разработанной схемы в формат чертежа схемы электрической принципиальной ЭЗ, работы с цифровыми устройствами, также не получится получить трассировку печатной платы согласно спроектированной схеме. Но разработчики подумали над решением этих проблем и вписали SimOne как один из множества модулей для своего флагманского продукта – сквозной САПР печатных узлов Delta Design. В составе данной системы имеется собственный менеджер библи-

отек, схемотехнический редактор, трассировщик печатных плат, система подготовки файлов производства. Также появляется возможность моделировать работу цифровых устройств, за это отвечает «младший брат» SimOne – модуль цифрового моделирования Simtera.

Таким образом, SimOne является интересным решением для моделирования электрических схем аналоговой электроники, но до полноценной CAE-, CAD-, CAM-системы она «дорастает» только в составе более серьезной Delta Design. Немаловажным является факт, что компания «ЭРЕМЕКС» заинтересована в повышении конкурентоспособности своих продуктов, что видно в их ежегодных обновлениях, как повышающих стабильность работы, так и расширяющих функционал.

Таким образом, отечественная система моделирования SimOne не уступает, но

превосходит популярные пакеты моделирования, такие, как Proteus, по обширности инструментария для работы со схемами. Преимущество в работе с цифровыми схемами, которым обладает Proteus, остается таковым, пока к SimOne не начинают подключаться другие модули, способные расширить ее функционал вплоть до полноценной сквозной САПР печатных узлов.

Библиография

[1] Proteus (система автоматизированного проектирования) [электронный ресурс]. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Proteus_\(система_автоматизированного_проектирования\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Proteus_(система_автоматизированного_проектирования))

[2] Программа для моделирования электронных схем – Эремекс [электронный ресурс]. URL: <https://www.eremex.ru/products/delta-design/simone>

Применение САПР ADS для моделирования шумовых свойств кварцевого генератора

Ляшук Алексей Николаевич

МОмск, ОмГТУ, к.т.н., доцент кафедры РТУ и СД
pribor78@mail.ru

Косых Анатолий Владимирович

Омск, ОмГТУ, д.т.н., профессор кафедры РТУ и СД
avkosykh@omgtu.ru

Аннотация

В статье представлены результаты оптимизационного моделирования шумов кварцевого генератора в САПР ADS Keysight и экспериментального исследования макета генератора. Основная цель проведенной работы заключается в разработке эффективных методик моделирования кварцевых генераторов и их шумовых свойств на основе верифицированной модели кварцевого резонатора. Результаты моделирования сравниваются с результатами экспериментально исследованного макета генератора. Результаты моделирования показывают хорошее совпадение с экспериментальными данными.

Ключевые слова: кварцевый генератор, САПР ADS, метод гармонического баланса, кварцевый резонатор, фазовый шум.

Application of CAD ADS for modeling noise properties of crystal oscillator

Lyashuk A.N., Khosykh A.V.

Abstract

The article presents the results of optimization modeling of crystal oscillator noise in the ADS Keysight CAD system and an experimental study of the oscillator mockup. The main goal of the work is to develop effective methods for modeling quartz oscillators and their noise properties based on a verified model of a quartz resonator. The simulation results are compared with the results of an experimentally studied generator model. The simulation results show good agreement with the experimental data.

Keywords: crystal oscillator, CAD ADS, harmonic balance method, quartz resonator, phase noise.

Введение

Кварцевые генераторы с точки зрения численного моделирования и автоматизированного проектирования являются очень непростыми объектами. Несмотря на небольшое число элементов в схеме, традиционные методы моделирования не дают удовлетворительных результатов по точности. Дело в том, что в кварцевых генераторах

используется колебательная резонансная система (кварцевый резонатор) с очень высокой добротностью – от сотен тысяч до миллионов. Для расчета установившегося режима необходимо рассчитывать форму колебаний на числе периодов, соизмеримым с добротностью, а для учета влияния высших гармоник на каждом периоде приходится выделять большое число расчетных

точек. В каждой такой точке необходимо решать систему дифференциальных уравнений. Таким образом, число необходимых вычислений становится огромным и для практических случаев неприемлемым. Моделирование радиоэлектронных схем общего назначения обычно осуществляется с использованием так называемого SPICE ((Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) ядра. Такое ядро используется в распространенных программах моделирования, Electronics Workbench, MicroCAP, CircuitMaker и др. Показывая хорошие результаты по точности и скорости моделирования для широкого класса электронных устройств, при моделировании кварцевых генераторов такие программы оказываются малоэффективны. Ряд инженеров, пытающихся использовать SPICE–программы для моделирования кварцевых генераторов для получения приемлемого времени расчета просто уменьшают добротность резонатора в разы, и получают результат, сильно отличающийся от реального. Дело в том, что изменение добротности резонатора приводит к искажению спектрального состава сигнала, а в замкнутых автоколебательных системах наблюдается эффект влияния высших гармоник на частоту первой гармоники. В [1] в результате исследования возможности применения Multisim, одной из лучших программ, основанной на SPICE, для расчета и моделирования квар-

цевых генераторов, делается вывод: «достоверность полученных в результате моделирования параметров генератора будет невысока, так как слишком много факторов могут влиять на работоспособность схемы или приводить к несоответствию полученных результатов реальным схемам, и строить модели кварцевых генераторов в программе NI Multisim нецелесообразно». Это совпадает и с нашим собственным мнением, и мнением других исследователей. Учитывая, что применение SPICE-программ малоэффективно для моделирования кварцевых генераторов, разрабатываются так называемые «инженерные методики» [2], сильно упрощенные по своей сути, и позволяющие в основном определять энергетические характеристики генератора: токи, напряжения, уровень возбуждения и др.

Для улучшения качества моделирования кварцевых генераторов с высокودобротными резонаторами группой французских [3, 4] и российских [5, 6, 7] ученых предложен подход, основанный на дипольном представлении генератора в виде комбинации пассивной линейной узкополосной и нелинейной активной широкополосной цепей. Такой подход позволяет моделировать кварцевые генераторы не только в одночастотном, но и многочастотном режимах [8]. К недостаткам метода относится отсутствие интегрированных САПР-программ, использующих такой подход, и невозмож-

Run Name: AT-cut 10245000
Description:

Reference Fr: 10,245,000 Hz
Power: 100.00 uW into 25.0 ohms
PL: 0.00 ohms CL: 10.00 pF Using: Measured FL

Run Date: 14-1 05-2023 3:26 pm
S&A 250B: 13,05 Report: 4.62

Measurement Type	Unit	#Samples	High Limit	Low Limit	Mean	Standard Deviation	Cp	Cpk
FL	ppm	14	300.0	-300.0	221.4	0.1	894.8	281.3
CO	pF	14	10.0	3.0	3.5	0.0	354.0	49.1
RR	Ohms	14	50.0	2.0	21.1	0.0	360.8	286.4
Q	k	14			45	0		
C1	f	14			16.5	0.0		
L	mH	14			14.67	0.01		
TS	ppm/pF	14			45.3	0.0		
FR	ppm	14			-385.0	0.0		
					174	0		

Рисунок 1 – Измеренные параметры кварцевого резонатора условно «общего назначения»

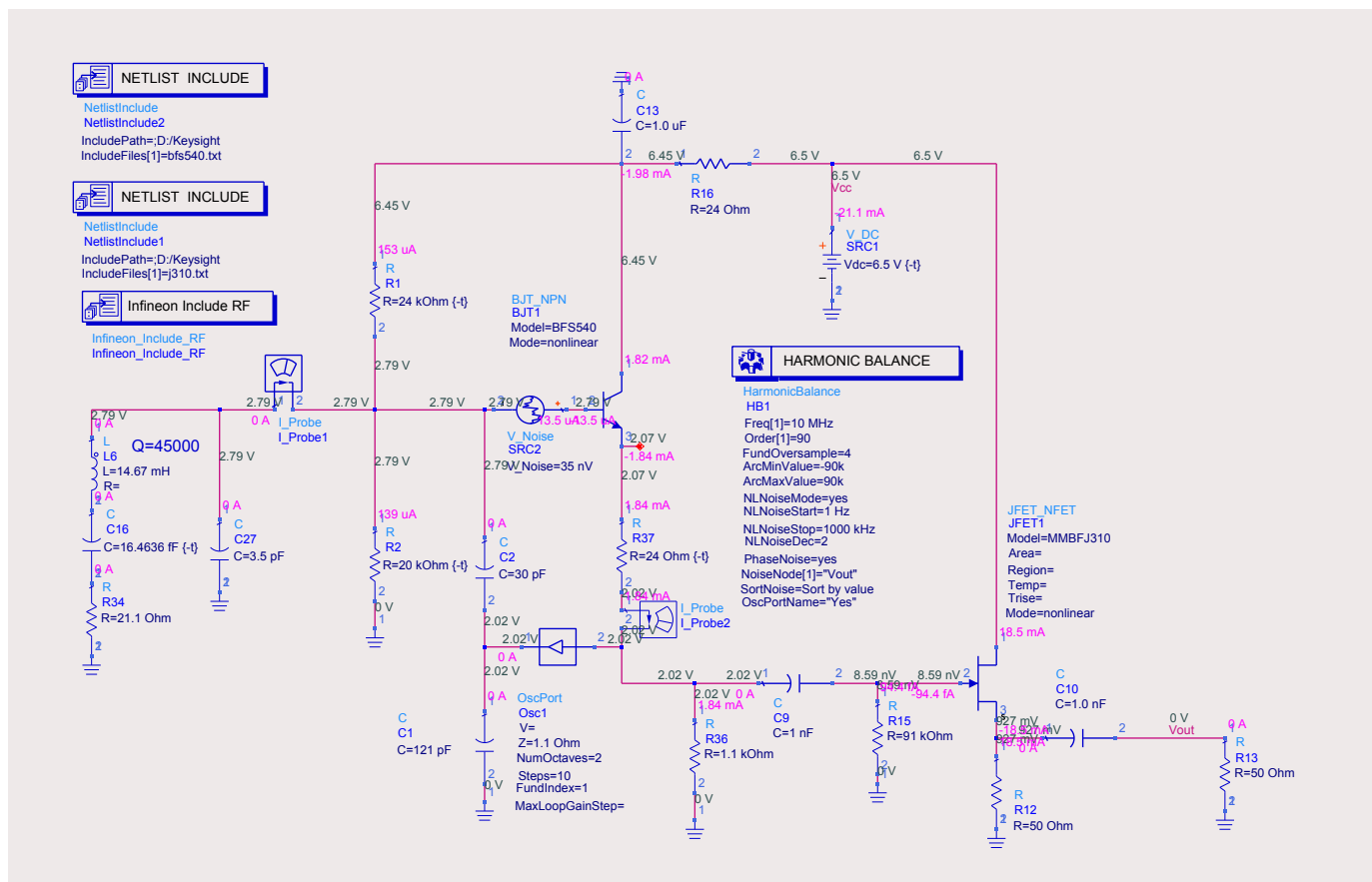


Рисунок 2 – Схема КГ с усредненными измеренными параметрами КР

ность расчета шумовых характеристик генератора.

Применение САПР ADS для моделирования шумовых свойств кварцевых генераторов

В последнее время широкое распространение начали получать программы моделирования на основе метода гармонического баланса. Одной из наиболее развитых систем САПР радиоэлектронных систем, основанных на этом методе, является САПР ADS фирмы Keysight. Метод гармонического баланса хорошо показал себя при моделировании СВЧ систем в программе Microwave office (фирмы AWR, приобретенной National Instruments в 2011 году, а в 2020 году CADENCE). Особенно интересным является моделирование шумовых свойств генератора, поскольку уровень шумов выходного сигнала – один из важнейших параметров кварцевого генератора.

Для оценки уровня шумов кварцевого генератора широко используется модель Лиссона [9]. В соответствии с этой шумовой

моделью одним из ключевых параметров схемы является нагруженная добротность пассивной части генератора [10]. При этом, как показывают исследования литературных источников, реализация высококачественных кварцевых генераторов с уровнем фазового шума $-160..-170$ дБ/Гц и лучше возможна при использовании кварцевых резонаторов с большой добротностью, достигающих миллиона [11]. Кварцевые резонаторы с миллионной добротностью являются дорогостоящими специализированными изделиями, поэтому актуальным является разработка малошумящего генератора с использованием доступных кварцевых резонаторов. Уменьшение шумов генератора возможно в результате глубокой оптимизации схемы путем правильного выбора режимов работы активных элементов и правильного согласования комплексных сопротивлений резонатора и схемы.

Для моделирования решено было использовать резонатор с невысокой добротностью ($Q = 45000$), параметры которого хорошо известны и могут подставляться в

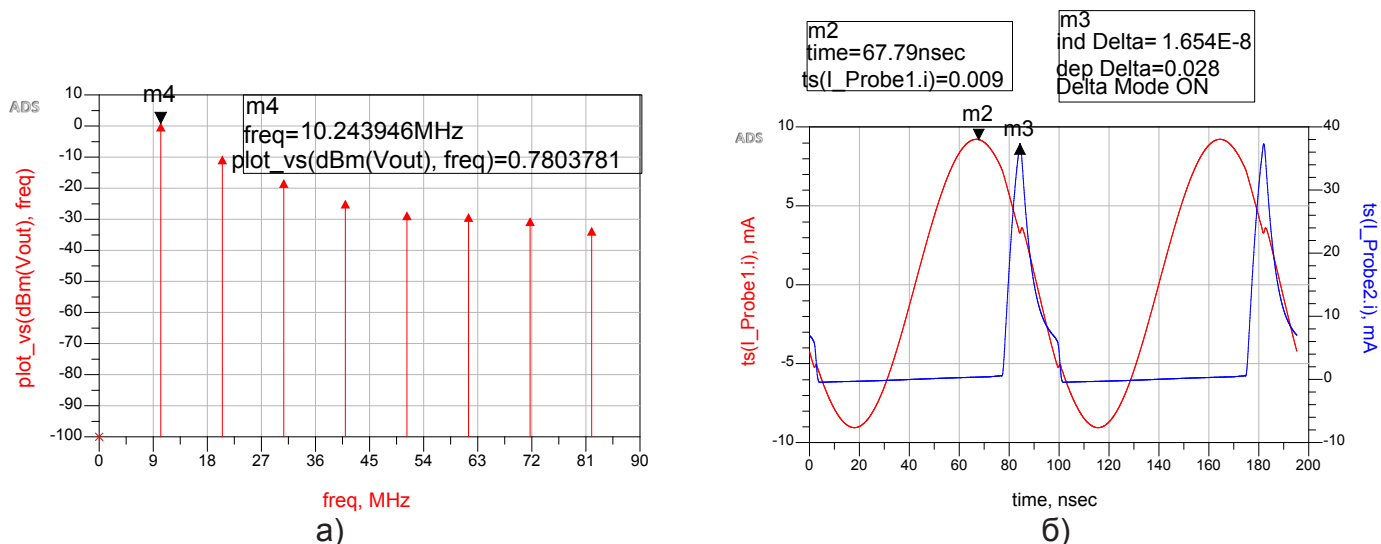


Рисунок 3 – Спектрограмма (а) на выходе буфера КГ в модели и осциллограммы токов резонатора и эмиттера в модели генератора (б)

программу. Измеренные характеристики резонатора приведены на рисунке 1. Усредненные (mean) измеренные параметры кварцевого резонатора, которые использованы в модели генератора: статическая емкость $C_0 = 3,5$ пФ; сопротивление $RR = 21,1$ Ом; динамическая емкость $C_1 = 16,5$ фФ; индуктивность $L = 14,67$ мГн; добротность $Q = 45000$.

Схема кварцевого генератора приведена на рисунке 2. Генератор выполнен по схеме Колпитца на транзисторе BFS540; на полевом n-канальном транзисторе J310 выполнен буферный каскад. При исследовании модели генератора в САПР были оптимизированы элементы схемы, включая величину источника питания (в модели и последующем экспериментальном исследовании макета генератора, собранного по схеме на рисунке 2 напряжение питания составляло 6,5 В). Целью оптимизации является получение приемлемых качественных характеристик генератора при использовании низкодобротного кварцевого резонатора. В модели генератора в базовую цепь генераторного транзистора включен источник шума для максимального соответствия характеристики фазового шума модели генератора и макета. Моделирование выполнено методом гармонического баланса, который, в отличие, например, методики двухполюсного представления генератора [7], позволяет более точно исследовать шумовые свойства генератора.

На рисунке 3 приведены спектрограмма на выходе модели генератора и осциллограммы токов резонатора и эмиттера в модели генератора, построенные в САПР. Частота первой гармоники $f_{\text{модель}} = 10\,232\,647$ МГц. На рисунке 4 показана характеристика фазового шума модели генератора.

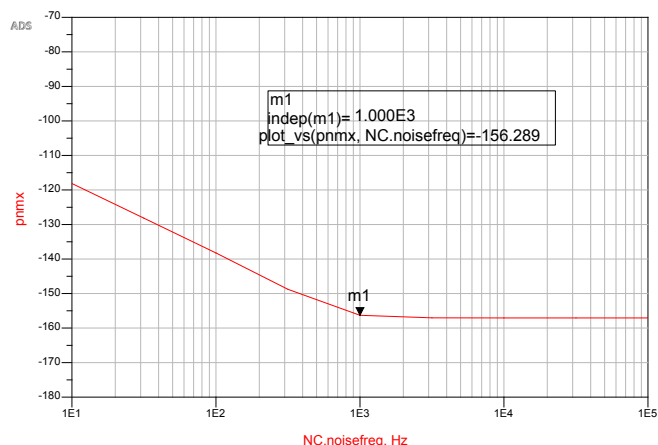


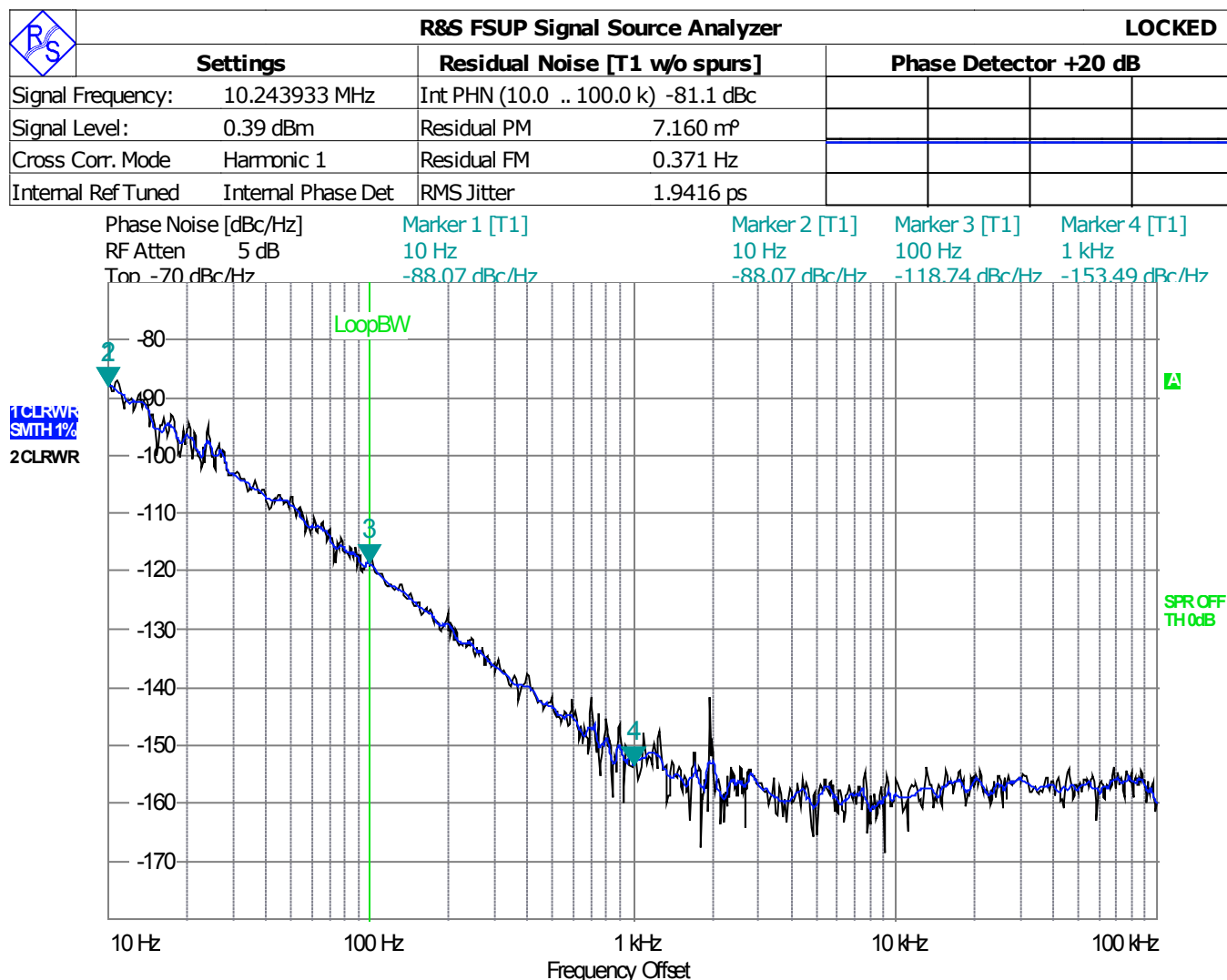
Рисунок 4 – Характеристика фазового шума модели генератора

Измеренная характеристика фазового шума макета КГ на выходе с соответствием со схемой генератора на рисунке 2 приведена на рисунке 5, частота сигнала $f_{\text{макет}} = 10\,243\,933$ МГц.

Отклонение частоты макета и модели составило:

$$df = f_{\text{модель}} - f_{\text{макет}} = 10\,232\,647 - 10\,243\,933 = -11550 \text{ [Гц]}.$$

Для равенства частот генерации модели и макета в модели необходимо скор-



Measurement Aborted
 Date: 5.JUN.2023 15:17:41

Рисунок 5 – Измеренный фазовый шума макета КГ

ректировать (в данном случае уменьшить), например, динамическую емкость с $C1=16,5$ фФ до 16.4636 фФ или на $0,22\%$. Наибольшее расхождение данных по фазовому шуму модели и макета наблюдаются при малых отстройках (примерно 500 Гц и меньше), при этом больших отстройках от несущей данные моделирования и измерений практически совпадают и при отстройке 1 кГц и более демонстрируют значение порядка -157 дБ/Гц при добротности кварцевого резонатора всего $45\ 000$.

Выводы

Использование САПР ADS Keysight при проектировании кварцевых генераторов по-

зволяет выполнить многопараметрическую оптимизацию схемы и улучшить электрические характеристики генератора, в частности, уровень шумов. Расчет и проектирование генератора на основе рекомендаций, приводимых в классических источниках, например, в [13,14], противоречат друг другу, что вызывает сомнения в их справедливости. Так, в [13] значение коэффициента обратной связи K_{os} в схеме генератора необходимо выбирать равным $0,2-0,8$, а в [14] говорится, что наибольшая стабильность частоты получается при $K_{os} = 1..3$, при этом значение K_{os} напрямую определяет значения емкостей в цепи положительной обратной связи генератора, то есть схемотехнику

генератора и важную характеристику генератора – характеристику фазового шума. Использование же программы САПР позволяет просчитать те или иные варианты и выбрать из них оптимальный по требуемому параметру.

Сравнение параметров смоделированного и экспериментально исследованного генератора показывает высокую точность моделирования. Так частоты генерации отличаются всего на 0,22%, что объясняется неточностью (разбросом) параметров эквивалентной схемы и разбросом номиналов элементов.

Использование САПР ADS Keysight при проектировании высокостабильного кварцевого генератора является эффективным инструментом и позволяет как выбрать оптимальные параметры схемы, так и смоделировать поведение генератора в температуре, при различных нагрузках и напряжениях питания.

Библиография

- [1] Макаренко В. Проблемы моделирования кварцевых генераторов в среде NI Multisim // Моделирование радиоэлектронных устройств. 2010. № 7. С. 43–49.
- [2] Литвинов В. П. Инженерная методика анализа и расчета кварцевых генераторов // Научный вестник МГТУ ГА. 2011. № 171. С. 50–57.
- [3] Brendel R., Gillet D., Ratier N. [et al.]. Nonlinear dipolar modelling of quartz crystal oscillators. 2000. URL: https://www.researchgate.net/publication/228867063_Nonlinear_dipolar_modelling_of_quartz_crystal_oscillators.
- [4] Addouche M., Brendel R., Gillet D. [et al.]. Modeling of Quartz Crystal Oscillators by Using Nonlinear Dipolar Method // IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control. 2003. Vol 50, no. 5. P. 487–495. DOI: 10.1109/TUFFC.2003.1201461.
- [5] Губарев А. А. Повышение эффективности моделирования кварцевых генераторов в схемотехнических САПР общего назначения // Омский научный вестник. 2003. № 2. С. 89–101.
- [6] Губарев А.А. Методика анализа автогенераторов с высокочастотными элементами на основе компьютерного моделирования. Техника радиосвязи. 2003. № 8. С. 160-166.
- [7] Gubarev A.A., Kosykh A.V., Zavjalov S.A., Lepetaev A.N. SPICE SIMULATION OF HIGH-Q CRYSTAL OSCILLATORS: SINGLE AND DUAL-MODE OSCILLATOR ANALYSIS В сборнике: Proceedings of the Annual IEEE International Frequency Control Symposium. Proceedings of the 2003 IEEE International Frequency Control Symposium and PDA Exhibition Jointly with the 17th European Frequency and Time Forum. 2003. С. 606-614.
- [8] Gubarev A. A., Kosykh A. V., Zavjalov S. A. [et al.]. SPICE simulation of high-Q crystal oscillators: single and dual-mode oscillator analysis // Proc. of the 2003 joint meeting IEEE IFCS and 17th EFTF. 2003. P. 606–614. DOI: 10.1109/FREQ.2003.1275160.
- [9] Leeson D. B. A simple model of feedback oscillator noise spectrum // Proc. IEEE, vol. 54, Feb. 1966, pp. 329–330.
- [10] Rohde U. L., A. K. Poddar. Active inductor oscillator and noise dynamics // 2011 IEEE MTT-S International Microwave Symposium, Baltimore, MD, USA, 2011, pp. 1-4, doi: 10.1109/MWSYM.2011.5972933.
- [11] Lepetaev A., Kosykh A. Investigation of new ultra low noise oscillation circuit based on pulse excitation technology // 2016 IEEE International Frequency Control Symposium (IFCS), New Orleans, LA, USA, 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/FCS.2016.7546742.
- [12] Zavjalov S. A., Lepetaev A. N., Murasov K. V., A. V. Kosykh. The method of modeling of VCO based on SPICE simulation // 2009 IEEE International Frequency Control Symposium Joint with the 22nd European Frequency and Time forum, Besancon, France, 2009, pp. 978-981, doi: 10.1109/FREQ.2009.5168335.
- [13] Альтшуллер Г. Б. Кварцевая стабилизация частоты. Москва: Связь, 1974. 272 с.
- [14] Петров Б. Е., Романюк В. А. Радиопередающие устройства на полупроводниковых приборах. Москва: Высшая школа, 1989. 232 с.

Программный комплекс Союзного государства «МИР-ПОБЕДА»

Корнев Николай Алексеевич

Доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
ООО «НТЦ «Наномодель» (член технического комитета по стандартизации ТК 165
«Системы автоматизированного проектирования электроники» (Росстандарт)
nanomodel@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрена концепция так и не состоявшегося проекта Союзного государства, полное название которого «Глобальный Инженерный Программ-ный Комплекс Системы Управления Полным Жизненным Циклом (ГИПК СУПЖЦ) сложных инженерных объектов для ОПК и базовых отраслей промышленности». Дана также информация по другим аналогичным и несостоявшимся проектам России в области автоматизации проектирования.

Ключевые слова: жизненный цикл, геометрическое моделирование (CAD), инженерные расчёты (CAE), технологическая подготовка производства (CAM), управление данными об изделии (PDM).

Union State software package «PEACE-VICTORY»

Korenev N.A.

Abstract

The article examines the concept of the never-fulfilled project of the Union State, the full name of which is “Global Engineering Software Complex for the Full Life Cycle Management System (GIPC FLMMS) of complex engineering facilities for the defense industry and basic industries.” Information is also given on other similar and failed Russian projects in the field of design automation.

Keywords: life cycle, geometric modeling (CAD), engineering calculations (CAE), technological preparation of manufacturing (CAM), product data management (PDM).

Введение

В начале 2016 года впервые открыто появилась информация о том, что в Союзном государстве разрабатывается программный комплекс «МИР-ПОБЕДА» (https://www.postkomsg.com/news/politika_ekonomika/206655/).

Как сообщил тогда заместитель Государственного секретаря Союзного государства Алексей Кубрин корреспонденту портала www.soyuz.by, российские и белорусские ученые уже подготовили проект концепции одноименной программы. «Речь идет о проекте концепции, потому что она пока еще не утверждена и не прош-

ла рассмотрение у Правительств. Об этой концепции впервые заговорили на Форуме регионов Союзного государства, который проводился в Сочи», – рассказал он.

Инициаторами подготовки концепции с российской стороны выступил МГТУ им. Н.Э.Баумана, с белорусской стороны – специалисты Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси.

«Сегодня процесс разработки, производства и дальнейшего контроля за состоянием любых высокотехнологичных продуктов подразумевает самые современные автоматизированные системы управления. К сожалению, за последние

годы получилось так, что программное обеспечение основывается на разработках зарубежных фирм. Понятно, что неплохо было бы иметь совместные российско-белорусские технологии, которые помогли бы от этого уйти, поскольку любой высокотехнологичный сложный продукт подразумевает регулярную корректировку отдельных элементов», – отметил Алексей Кубрин.

В данном случае, речь идет о таких крупных проектах, как создание автоматизированной техники в отрасли машиностроения, авиационной и космической техники.

«Например, самолет или вертолет собирается в Москве или на каком-либо из белорусских предприятий. Вся рабочая документация должна координироваться в одном месте. Если определенный конструкционный элемент прошел доработку, тот, кто это доработку придумал, корректирует ее у себя, затем переносит на бумажный носитель, оцифровывает бумажные носитель и передает его головному разработчику, который должен привести его в соответствие со своими материалами, а затем разослать субкооператорам, которые участвуют в проекте. Это занимает очень много времени», – пояснил заместитель Государственного секретаря Союзного государства.

В рамках реализации программы «МИР-ПОБЕДА» предлагалось создать продукт, который позволит не только сократить временные затраты на подобные корректировки, но и экономить технологические процессы.

«По этой схеме уже работают сейчас, но используя западные технологии. То есть, чтобы провести эту работу, нам необходимо их купить и внедрить. Давайте не будем забывать, что из-за санкций, мы не можем быть уверены в том, что получим необходимую программу», – заключил Алексей Кубрин.

Так что же такое программный комплекс «МИР-ПОБЕДА»? Сейчас многие об этом уже не знают, хотя прошло с тех пор всего 7 лет. Информации об этом очень мало. Постараюсь раскрыть в этой статье

суть этого грандиозного проекта, полное название которого «Глобальный Инженерный Программный Комплекс Системы Управления Полным Жизненным Циклом (ГИПК СУПЖЦ) сложных инженерных объектов для ОПК и базовых отраслей промышленности».

1 Описание ГИПК

1.1 Цели

1. Повышение качества исполнения работ на всех этапах жизненного цикла сложного технического изделия/системы.

2. Снижение стоимости, как отдельных процессов (элементов), так и совокупной стоимости владения сложным техническим изделием/системой на всех этапах жизненного цикла.

1.2 Задачи

1. Обеспечение информационной поддержки процессов реализации программ управления жизненным циклом сложных систем включая: вооружение, военную и специальную технику, гражданские и военные транспортные средства всех типов и сред (на/над/подземные, на/подводные, космические...), системы и комплексы ПРО, связи, КС...)...

2. Обеспечение ввода, хранения, трансформации и предоставления данных информационной модели сложного изделия или системы в условиях существенно более длинного жизненного цикла изделия по сравнению со сроком жизни информационных технологий, обеспечивающих функционирование ГИПК СУПЖЦ.

1.3 Выгоды

1.3.1 Выгоды организации-потребителя

Радикальное повышение эффективности функционирования организационно-технической системы управления полным жизненным циклом вооружений, военной и специальной техники (ВВСТ) и сложных технических изделий гражданского назначения, за счет применения современных информационных технологий и методов управления знаниями, системной инженерии, цифрового производства в условиях независимости от введения санкций по отношению к предприятиям ОПК.



Национальная академия наук Беларуси Объединённый институт проблем информатики



Программа Союзного государства «МИР-ПОБЕДА» 2016-2020 гг.

«Разработка технологий, программных средств и модуля инженерных расчетов глобального инженерного программного комплекса управления полным жизненным циклом сложного технического объекта или системы»

ЦЕЛЬ ПРОГРАММЫ:

создание высокотехнологичного модуля инженерных расчетов (МИР) в контуре глобального инженерного программного комплекса управления полным жизненным циклом (ГИПК СУ ПЖЦ) сложного технического объекта или системы, обеспечивающего полное замещение импортного программного обеспечения



Государственные заказчики Программы:

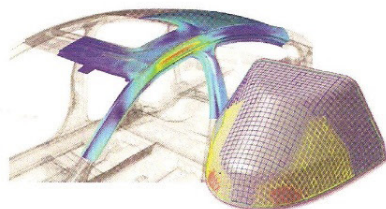
- Минпромторг России
- Национальная академия наук Беларуси

Головные исполнители:

- МГТУ им. Н.Э. Баумана
- ОИПИ НАН Беларуси

Выполнение программы позволит:

Сформировать комплексный научно-технический задел, Концепцию и Техническое задание на разработку средств автоматизации инженерных расчетов (САЕ), опираясь на опыт российских и белорусских исследователей



Создать базовые программные средства анализа физических процессов, прочностных характеристик изделий и адаптировать их для высокопроизводительных параллельных и распределенных вычислений

Анализ прочности и напряжений в деталях и конструкциях

Анализ кинематики и динамики механизмов

Анализ тепловых явлений

Анализ течения жидкости и газа

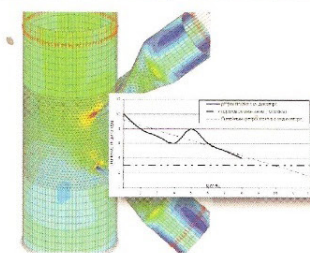
Анализ электромагнитных полей

Создать программные средства информационной поддержки управления полным жизненным циклом изделий посредством инженерных расчетов

Анализ физических процессов, протекающих при производственных операциях

Симуляция физических процессов производства и эксплуатации изделия по результатам инженерного анализа

Средства оценки и анализа фактического технического состояния и надежности изделий в ходе эксплуатации



Сформировать организационно-методическую и технологическую инфраструктуру комплексной автоматизации инженерных расчетов, апробировать разработанные средства на промышленных предприятиях

Нормативно методическая база области комплексной автоматизации инженерных расчетов по отраслям

Методы и инструменты верификации, валидации инженерных расчетов

Методы и средства обучения инженерных кадров в сфере автоматизации инженерных расчетов

Внедрение результатов:

Ведущие предприятия базовых отраслей промышленности Российской Федерации и Республики Беларусь

220012, Республика Беларусь,
г. Минск, ул. Сурганова 6,
тел./факс: (375 17) 284 21 75;
e-mail: itekan@newman.bas-net.by

105005, Российская Федерация, г. Москва,
2-я Бауманская ул., д. 5
тел.: +7 (499) 263 69 86, +7 (499) 267 00 63;
факс: +7 (499) 267 00 63
e-mail: bmstu@emtc.ru
<http://emtc.ru>



№ п/п	Выгода	Решаемая задача
1	Избежание ответственности за несоблюдение требований соблюдения государственной и коммерческой тайн и персональных данных.	Требования по обеспечению государственной и коммерческой тайны при реализации гособоронзаказов, разработке, производству и эксплуатации ВВСТ.
2	Улучшение финансовых показателей деятельности предприятия.	Снижение стоимости владения крупной интегрированной системой по сравнению с большим количеством интегрированных локальных систем и комплексов. Снижение стоимости владения отечественной системой по сравнению с импортными.
3	Политический и имиджевый выигрыш.	Выполнение требований по импортозамещению.
4	Повышение уровня информированности принятия решений руководителями всех уровней.	Увеличение объёма эффективной управленческой информации, повышение скорости прохождения информации по иерархии управления, увеличение достоверности информации.
5	Избежание ответственности за использование нелицензионного программного обеспечения.	Соблюдение законов об охране интеллектуальной собственности.
6	Улучшение эксплуатационных характеристик сопровождаемой информационной системы по сравнению с нелицензионным ПО.	Повышение эффективности труда сотрудников предприятия.

1.3.2 Выгоды государства

1. Обеспечение информационной безопасности при разработке и сопровождении сложных технических объектов ВВСТ.

2. Существенное повышение производительности труда разработчиков технически сложных изделий во всех без исключения областях промышленного производства, прежде всего на оборонных предприятиях и предприятиях базовых отраслей промышленности.

3. Повышение конкурентоспособности отечественных сложных технических объектов, в том числе ВВСТ, сокращение сроков выхода на рынок.

4. Ликвидация технической и политической зависимости от зарубежных производителей во всех отраслях российской экономики.

5. Создание более 5,5 тыс. новых рабочих мест в IT-индустрии РФ.

6. Вовлечение студентов крупнейших технических вузов РФ, как будущих инженерных кадров, в процесс создания ГИПК

СУПЖЦ.

7. Обеспечение увеличения объема налоговых отчислений в бюджеты разных уровней.

2 Предметная область комплекса ГИПК СУПЖЦ

2.1 Общие положения

1. Реализует «произвольную» информационную модель (ИМ) жизненного цикла сложного изделия (системы).

1.1. Позволяет корректировать ИМ на всем периоде существования ИМ.

1.2. Позволяет подключать дополнительные и «преднастроенные» ИМ.

1.3. ИМ не зависит от версий модулей или системы.

2. Имеет «модульную» структуру

2.1. Реализуется в парадигме постоянного функционально-технического развития.

2.2. Имеет возможность лицензирования «по функционально».

2.3. Любой модуль системы может быть заменен «вне зависимости» от других.

3. Система не зависит от системы хранения.

3.1. Система может существовать одновременно с использованием нескольких разнородных систем, удовлетворяющим требованиям ИБ использования системы.

3.2. Система обеспечивает миграцию ИМ и данных ЖЦ между системами хранения или миграцию при замене.

4. Реализуется с учетом требований ИБ, обеспечивающими уровень безопасности до 1 Б.

5. Система ориентирована на интеграцию с другими разнородными ИС для построения единого информационного пространства системы управления жизненным циклом.

2.2 Целевые пользователи

- Инженерно-технический состав предприятий базовых отраслей промышленности;

- Сотрудники финансово-экономических, плановых, маркетинговых и других подразделений предприятий базовых отраслей промышленности;

- Руководители всех уровней предприятий базовых отраслей промышленности.

2.3 Основные функции

- Создание, изменение и хранение ИМ ЖЦ за весь период существования ИМ;

- Создание, изменение и хранение данных ЖЦ за весь период ЖЦ изделия + регламентированный период хранения данных;

- Миграция ИМ и данных ЖЦ при смене поколений системы и ее элементов и подсистем.

2.3.1 Функциональная диаграмма

2.3.2 Перечень устоявшихся функций, используемых лидерами, предлагаемых к реализации

- Геометрическое моделирование (CAD);
- Инженерные расчёты (CAE);
- Подготовка интерактивных технических руководств (IETM);

- Технологическая подготовка производства (CAM);

- Планирование производственных процессов (CAPP);

- Управление данными об изделии (PDM);

- Управление производственными процессами (MES);

- Поддержка эксплуатации, обслуживания и ремонта (MRO);

- Интегрированная логистическая поддержка (ILS);

- Управление взаимоотношениями с клиентами (CRM);

- Управление основными фондами (производственными ресурсами) (EAM);

- Управление финансовыми ресурсами (FRP);

- Управление персоналом (людскими ресурсами) (HRM);

- Управление потребностью в материалах (материальные ресурсы) (MRP);

- Управление ресурсами во взаимосвязи (ERP);

- Управление портфелями, программами и проектами (PPM);

- Сбор, подготовка и анализ данных (BI).

2.3.3 Перечень специализированных или редко используемых существующих функций, рекомендуемых к использованию

- Управление требованиями (RM);

- Управление испытаниями и моделированием (T&M);

- Управление качеством, рисками и надёжностью изделия (QRRM);

- Управление изменениями и конфигурациями изделия (CCM);

- Управление знаниями (KM).

2.3.4 Перечень уникальных функций, предлагаемых к созданию в рамках проекта

- Поддержка концепции CSRP в блоке управления деловой активностью;

- Построение системы на основании онтологического моделирования предметных областей функциональных модулей.

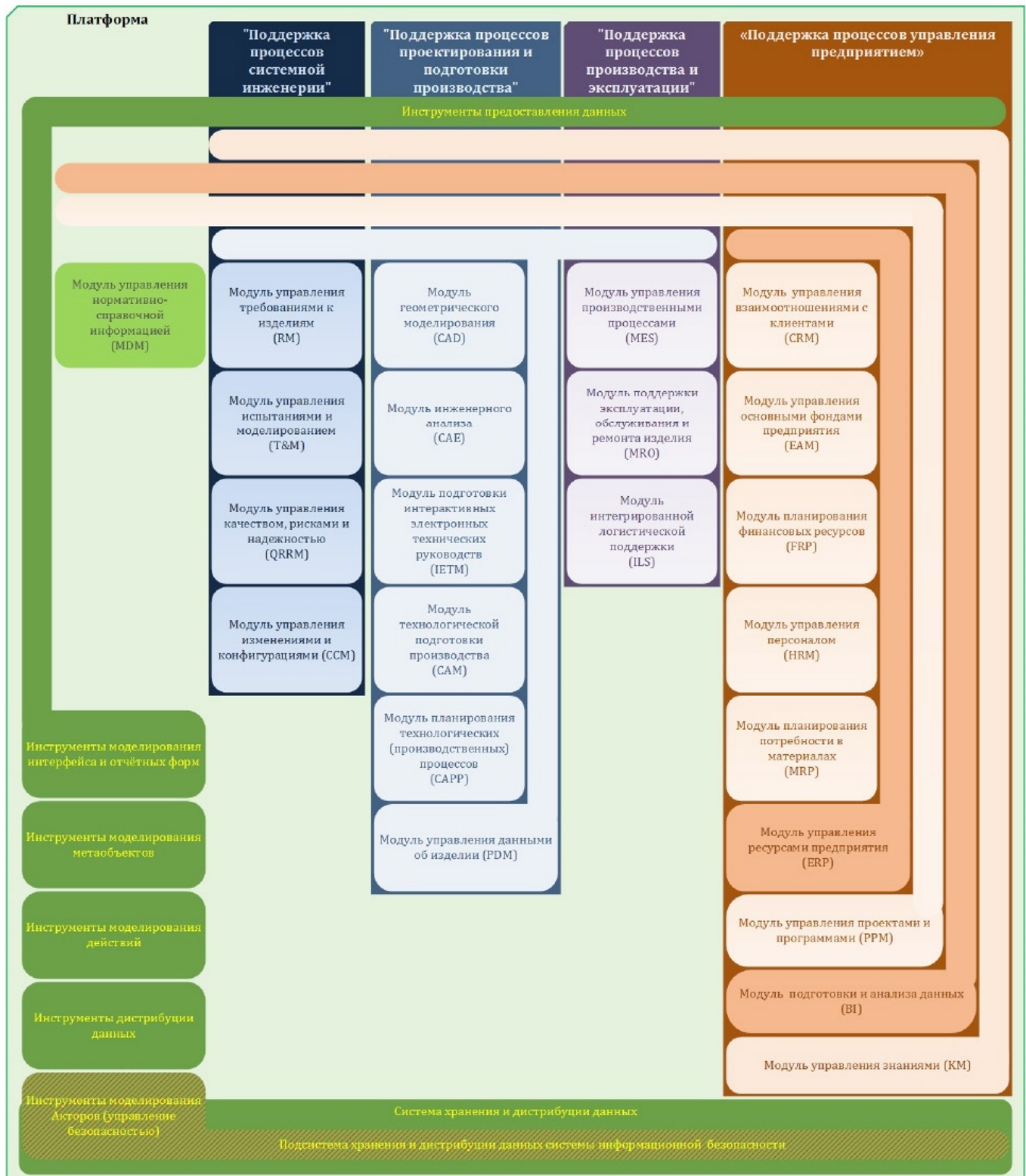
2.4 Основные объекты

2.4.1 Целевые

- Модель деловых и технико-технологических процессов и объектов, избыточно описывающая жизненный цикл (ЖЦ), которыми необходимо управлять (Информационная модель, ИМ);

- Изменения ИМ за весь период существования ИМ (ЖЦ ИМ);

- Данные, сформированные в процессе



управления ЖЦ.

2.4.2 Внешние объекты

Модели, поставляемые другими информационными системами, включая комплексы ГИПК СУПЖЦ, установленные в других структурных или территориальных элементах организации, других организациях, с которыми установлены отношения информационного обмена.

3 Маркетинг

3.1 Описание текущего состояния рынка

- Интегрированного комплекса подобного функционального охвата на рынке не существует:

- о Функциональную область комплекса можно представить как объединение концепций PLM, CSRP, PPM, BI и KM;

- Общая ситуация Инженерного программного обеспечения (ПО):

- о Существующие PLM решения ориентированы на «закрытые» стандарты с целью «подсадить» потребителя «на себя»;

- о Большое количество PLM систем с различным функционалом;

- о Предприятия либо уже что-то внедрили, либо имеют собственное решение;

- о Недостаточное обеспечение рынка специалистами по PLM;

- Проблемы предприятий Оборонного комплекса при выборе PLM решения:

- о Требования ФСТЭК по сертификации ПО для работы с Оборонного Комплекса (ОК) не позволяет использовать большинство из существующих систем;

- о Постоянные и временные санкции в отношении ОК накладывают ограничения по использованию части существующих систем;

- о Существующие решения, потенциально доводимые до уровня безопасности в соответствии со ФСТЭК, требуют глубокой реинжиниринга и сертификации (1-му пользователю не потянуть);

- Специфические требования рынка предприятий ОПК:

- о Система должна объединять PLM системы и разрозненные элементы PLM систем, существующие у участников программы управления ПЖЦ ВВСТ;

- о Система должна иметь возможность сертификации согласно требованиям ФСТЭК до уровня защиты информации 1 Б;

- о Защищена от внешнего воздействия на ОК в виде санкций и других видов давления;

- о Система не должна требовать большого объема уникальных (присущих только данной системе) знаний при эксплуатации и сопровождении;

- Возможности:

- о Объявленная правительством идея по формированию импортозамещающего ПО;

- о Отсутствие Российских поставщиков PLM решений.

3.2 Описание трендов развития

Ужесточаются требования к качеству и стоимости совокупной стоимости владения сложных технических изделий.

Требования по замещению импортного программного обеспечения Российским с обеспечением информационной безопасности и технологической независимости.

3.3 Структура продукта

3.3.1 Перечень рыночных продуктов программы

- ГИПК СУПЖЦ;

- Платформа и компоненты:

- о Интеграционная платформа (для разработки дополнительного функционала);

- о Средства верификации и валидации компонентов ГИПК СУПЖЦ;

- о Модуль управления нормативно-справочной информацией (MDM);

- Комплекс конструкторско-технологической подготовки производства:

- о Модуль геометрического моделирования (CAD);

- о Модуль инженерного анализа (CAE);

- о Модуль технологической подготовки производства (CAM);

- о Модуль планирования технологических (производственных) процессов (CAPP);

- о Модуль подготовки интерактивных электронных технических руководств (IETM);

- о Модуль управления данными об изделии (PDM);

- Комплекс поддержки процессов системной инженерии и имитационного моделирования:

- о Модуль управления требованиями к изделиям (RM);

- о Модуль управления изменениями и конфигурациями (CCM);

- о Модуль испытаниями и моделированием (T&M);

- о Модуль управления качеством, рисками и надежностью (QRRM);

- Комплекс управления интегрирующими процессами:

- о Модуль управления производственными процессами (MES);

- о Модуль поддержки эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия (MRO);

- о Модуль интегрированной логистической поддержки (ILS);

- Комплекс управления ресурсами организации:

- о Модуль управления взаимоотношениями с клиентами (CRM);

о Модуль планирования потребности в материалах (MRP);

о Модуль управления персоналом (HRM);

о Модуль планирования финансовых ресурсов (FRP);

о Модуль управления основными фондами предприятия (EAM);

о Модуль интегрированного управления ресурсами предприятия (ERP);

о Модуль управления проектами и программами (PPM);

о Модуль сбора и представления данных (BI);

о Модуль управления знаниями (KM);

• Отчуждаемые элементы информационной безопасности:

о Средства двухконтурной защиты рабочих мест, оснащённых инженерным ПО;

о Средства перехвата и нейтрализации угроз со стороны всех категорий

пользователей инженерного ПО;

• Обучающие материалы;

• Регламентно-методические материалы.

3.3.2 Перечень способов монетизации продуктов проекта

• Лицензирование отдельного модуля;

• Лицензирование модуля в составе комплекса;

• Лицензирование модуля в составе ГИПК;

• Аренда приложения (модуля, комплекса);

• Облачное решение;

• Поддержка лицензий;

• Франшиза;

• Обучение пользователей (разработчиков);

• Поддержка пользователей (разработчиков);

• Аттестация пользователей (разработчиков);

• Сертификация компонентов сторонних разработчиков на совместимость с ГИПК СУПЖЦ;

• Заказная разработка;

• Услуги подбора персонала.

3.4 Описание продуктов (услуг)

3.4.1 Платформа и составляющие

3.4.1.1 Интеграционная платформа (для

разработки дополнительной функциональности) в составе:

1. Подсистема хранения;

2. Модуль Динамического адаптивного управления предметными областями (Моделер объектов + Моделер действий + Моделер Акторов);

3. Подсистема ввода-вывода;

4. Инструментарий разработки

3.4.1.2 Модуль управления нормативно-справочной информацией (MDM)

Управление основными данными (Master Data Management), – совокупность программных средств для постоянного определения и управления основными данными системы (в том числе справочными). Иногда можно встретить и другое название – управление справочными данными (англ. Reference Data Management, RDM).

Мастер-данные – это данные с важнейшей для ведения бизнеса информацией: о клиентах, продуктах, услугах, персонале, технологиях, материалах и так далее. Они относительно редко изменяются и не являются транзакционными.

Цель модуля управления основными данными: минимизация количества повторяющихся, неполных, противоречивых данных во всех прикладных областях ГИПК СУПЖЦ.

Задачами модуля управления основными данными является поддержка процессов как сбора, накопления, очистки данных, их сопоставление, консолидация, проверка качества и распространение данных в системе, обеспечение их последующей согласованности и контроль использования.

3.4.2 Комплекс конструкторско-технологической подготовки производства

3.4.2.1 Модуль геометрического моделирования (CAD)

CAD (Computer Aided Design) является общим термином для обозначения всех аспектов автоматизированного проектирования с использованием средств вычислительной техники и обычно охватывает создание геометрических моделей изделия, а также генерацию проектной, конструкторской, технологической и прочих видов документации, получаемой на основании геометрических моделей.

В настоящий момент выделяют три ос-

новые подгруппы САД систем:

- Машиностроительные (MCAD – Mechanical Computer Aided Design);
- Архитектурно-строительные (CAD/AEC – Architectural, Engineering, Construction);
- Проектирование печатных плат (ECAD – Electronic CAD/EDA – Electronic Design Automation).

Основная цель применения САД – повышение эффективности труда участников ЖЦ изделия, сохранение запланированной стоимости проекта и его сроков за счёт:

- сокращения трудоёмкости проектирования;
- сокращения сроков конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП);
- сокращения себестоимости КТПП и последующего производства;
- снижения затрат на эксплуатацию (за счёт подготовки интерактивных электронных технических руководств);
- повышения качества и технико-экономического уровня результатов КТПП;
- сокращения затрат на натурное моделирование и испытания.

Достижение этих целей обеспечивается посредством:

- автоматизации оформления документации;
- информационной поддержки в части принятия управленческих и инженерных решений;
- использования технологий совместной гармонизированной разработки;
- унификации проектных решений и процессов проектирования;
- создания и последующего использования базы знаний проектных решений;
- применения решений имитационного моделирования.

3.4.2.2 Модуль инженерного анализа (CAE)

CAE (Computer-aided engineering) является общим термином для обозначения решений или программных пакетов, предназначенных для выполнения инженерных расчётов, анализа и симуляции физических процессов. Расчётная часть пакетов, чаще всего, основана на численных методах решения дифференциальных уравнений, та-

ких как: метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод конечных разностей и др. Решения, относящиеся к данному классу, при помощи расчётных методов позволяют оценить поведенческие характеристики виртуальной модели изделия в реальных условиях эксплуатации. Обеспечивают доказательную базу в части работоспособности изделия без привлечения больших затрат времени и средств на промежуточные высоко ресурсные натурные испытания.

К основным функциям CAE-систем относятся:

- Стресс-анализ компонентов и узлов на основе метода конечных элементов;
- Термический и гидродинамический анализ;
- Кинематические исследования;
- Моделирование комплексных процессов (например, литье под давлением);
- Оптимизация продуктов или процессов.

Рынок CAE можно отнести к наиболее активно развивающемуся. В связи с этим CAE разработчики стремятся увеличить их возможности и расширить сферы внедрения.

Перечисленные ниже цели позволяют оценить вектор развития CAE систем:

- Совершенствование методов решения междисциплинарных задач моделирования;
- Разработка новых платформ для интеграции различных систем CAE, а также для интеграции CAE-систем в PDM-решения;
- Повышение интероперабельности CAE и САД систем;
- Совершенствование методов построения расчетных сеток, описания граничных условий, параллельных вычисление и т. д.;
- Улучшение характеристик моделей, которые применяются для описания свойств материалов;
- Оптимизация систем CAE для компьютерных платформ с 64-битными и многоядерными процессорами, а тем самым улучшение условий для моделирования сложных конструкций с большим количеством степеней свободы.

3.4.2.3 Модуль технологической подготовки производства (CAM)

CAM (Computer Aided Manufacturing) яв-

ляется общим термином для обозначения системы, обеспечивающей автоматизацию технологической подготовки производства, а также общий термин для обозначения программного обеспечения, служащего для целей подготовки данных для станков с ЧПУ. Традиционно исходными данными для таких систем являются геометрические модели деталей, получаемых из CAD систем.

Отечественным аналогом термина САМ является АСТПП – автоматизированная система технологической подготовки производства. Фактически, технологическая подготовка производства (ТПП) в части САМ сводится к следующим укрупнённым составляющим:

- автоматизация программирования оборудования с ЧПУ;

- симуляция обработки детали.

К основным функциям САМ-систем относятся:

- разработка технологических процессов;

- синтез управляющих программ для технологического оборудования с ЧПУ;

- моделирование процессов обработки, в том числе построение траекторий относительного движения инструмента и заготовки в процессе обработки;

- генерация постпроцессоров для конкретных типов оборудования с ЧПУ, расчет норм времени обработки.

Исходными данными для составления программ для станков с ЧПУ являются результаты конструкторского проектирования, поступающие из CAD. Но возможно программирование и при наличии в качестве исходных данных лишь чертежа детали и параметров технологического процесса.

При программировании определяют и кодируют геометрию заготовки, траектории движения подвижных органов станка и параметры обработки. Для этих целей используют специализированные языки.

3.4.2.4 Модуль планирования технологических (производственных) процессов (CAPP)

CAPP (Computer-Aided Process Planning – система автоматизированного проектирования технологических процессов, документации) – Автоматизированная система для

проектирования техпроцессов и оформления технологической документации.

Основной целью CAPP системы является формирование полного электронного определения технологии изготовления изделия, включая информацию о технологической компоновке, требуемых производственных ресурсах, плановых затратах времени и материалов. Система должна предоставлять актуальные данные для принятия управленческих решений в планировании производства изделия и средств технологического оснащения.

С помощью данного модуля на основе чертежа и/или 3D-модели изделия разрабатываются план производства (операционная, маршрутная, маршрутно-операционная карта). Данный план содержит указания о последовательности технологических и сборочных операций, переходы, используемое оборудование, инструменты, технологические эскизы и другая информация необходимая для изготовления изделия.

Основные задачи, решаемые системой:

- Проектирование технологических процессов для различных видов производств (механическая обработка, сборка, сварка и т.д.) в различных режимах (ручной, полуавтоматический, автоматический);

- Расчет материальных и трудовых затрат на производство (основное и вспомогательное);

- Формирование полного комплекта технологической документации, используемых на предприятии с учетом национальных и отраслевых стандартов;

- Ведение параллельного проектирования сложных и сквозных техпроцессов группой технологов в реальном режиме времени;

- Осуществление инженерных технологических расчетов (режимы резания, сварки и т.д.);

- Формирование заявок на проектирование средств технологического оснащения;

- Предоставление актуальных данных о технологии изготовления в систему управления данными об изделии (PDM).

3.4.2.5 Модуль подготовки интерактивных электронных технических руководств (IETM)

IETM – Interactive Electronic Technical Manual, ИЭТР – интерактивные электронные технические руководства.

Данный модуль реализует принципы создания технической документации, заключающиеся в параллельной разработке изделия и эксплуатационной документации и создания системы послепродажного обслуживания изделия в процессе эксплуатации. Интеграция инженерной и эксплуатационной информации в СУПЖЦ позволяет преодолеть разрыв между тем, что спроектировано, произведено и тем, что реально эксплуатируется.

Задачи

- Подготовка электронных и мультимедийных справочных материалов об устройстве и принципах работы ВВСТ;
- Подготовка справочных материалов по эксплуатации изделия;
- Подготовка материалов по техническому обслуживанию и ремонту изделия;
- Оперативный интеллектуальный поиск необходимой информации об изделии;
- Планирование и учет проведения регламентных работ;
- Автоматизированный заказ материалов и запасных частей;
- Накопление полученных в процессе эксплуатации технических данных, их анализ и выдача рекомендаций пользователям по дальнейшей эксплуатации изделия;
- Обмен данными между потребителем и поставщиком.

3.4.2.6 Модуль управления данными об изделии (PDM)

PDM (Product Data Management) – система управления данными об изделии. В общем под PDM традиционно понимают организационно-техническую систему, обеспечивающую управление всей совокупностью информации об изделии. Сложность и комплексность изделий, управление которыми обеспечивается функциональностью PDM может варьироваться от такого изделия, как, например, шариковая ручка, вплоть до крайне сложных технических объектов и систем (объекты ВВСТ, автомобильная техника, компьютерные сети и т.д.).

Фундаментом, либо первоисточником информации, традиционно, позиционируют

PDM-систему, поскольку одной из составляющих функций любой PDM является архив. Данные и документы по основному продукту хранятся в едином хранилище на протяжении всего жизненного цикла изделия, формируя источник необходимой информации как для основных систем (которые, одновременно с заимствованием требуемых данных на различных этапах, сами создают части изделия), так и для обеспечивающих. Таким образом, PDM системы выполняют функции основного интерфейса, с помощью которого пользователи систем могут обращаться к любым данным.

В составе PDM-систем обобщены технологии, включённые, но не ограничивающиеся следующим перечнем:

- управление инженерными данными (engineering data management – EDM);
- управление документами;
- управление информацией об изделии (product information management – PIM);
- управление техническими данными (technical data management – TDM);
- управление технической информацией (technical information management – TIM);
- управление изображениями и манипулирование информацией, всесторонне определяющей конкретное изделие.

Базовые функциональные возможности PDM-систем охватывают следующие основные направления:

- управление инженерными данными:
 - о управление конструкторскими данными:
 - редактор структуры изделия;
 - о управление технологическими данными:
 - редактор технологических процессов;
- визуализация данных:
 - о аннотирование документов и данных;
- интеграция со сторонними системами:
 - о интеграция с САХ системами;
 - о интеграция с ERP системами;
- управление конфигурациями:
 - о управление изменениями;
- управление данными инженерных расчётов;
 - генератор отчётов;
 - управление бизнес-процессами;
 - о редактор бизнес-процессов;

- управление документами и контентом;
- управление нормативно-справочной информацией;
- управление хранением;
- управление совместной гармонизированной разработкой;
- управление доступом;
- обеспечение поиска документов, данных и метаданных;
- обеспечение единого информационного пространства для всех участников проектов.

Посредством PDM-систем осуществляется управление крупными массивами данных и инженерно-технической информацией, необходимой на этапах проектирования, производства или строительства, а также поддержка эксплуатации, сопровождения и утилизации сложных технических объектов и систем.

Объектом управления PDM систем является цифровой макет сложного технического объекта или системы. Под цифровым макетом понимается комплекс взаимосвязанной информации о сложном техническом объекте или системе, основанный на его геометрическом представлении, структурированный в соответствии с составом этого объекта, снабженный метаданными, в том числе связанными с полным жизненным циклом (ПЖЦ) данного объекта, и предназначенный для определения, оптимизации, контроля, конфигурирования и совместного использования участниками ПЖЦ сложного технического объекта или системы в рамках единого информационного пространства.

Термин «цифровой макет» вводится для установления соответствия с термином «digital mock-up» (DMU), являющимся отечественным аналогом понятия «цифровой макет».

PDM-системы интегрируют информацию любых форматов и типов, предоставляя её пользователям уже в структурированном виде (при этом структуризация привязана к особенностям современного промышленного производства).

Основной целью PDM систем является реализация обеспечения заинтересованных сторон необходимыми актуальными, целостными, достоверными и аутентичными

документами и данными на протяжении всего их жизненного цикла, от создания данных либо документа, до их уничтожения.

3.4.3 Комплекс поддержки процессов системной инженерии и имитационного моделирования

3.4.3.1 Модуль управления требованиями к изделиям (RM)

В рамках процесса управления требованиями к изделию, заинтересованные стороны с применением соответствующей автоматизированной системы документируют и анализируют требования, управляют приоритетами, трассируемостью (прослеживаемостью) на протяжении всего жизненного цикла, верификацией и валидацией требований. Эта деятельность регламентируется стандартом ISO/IEC/IEEE 29148:2011 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла. Разработка требований».

Система управления требованиями обладает следующими функциями:

- выявление и фиксация требований;
- верификация и валидация требований;
- документирование и утверждение требований;
- верификация проектных решений и документов на соответствие требованиям;
- трассирование требований.

3.4.3.2 Модуль управления изменениями и конфигурациями (CCM)

Основной целью управления изменениями и конфигурациями изделия является удовлетворение потребностей заинтересованных сторон за счет применения модификаций, вариантов исполнения и дополнительных опций базовой конфигурации изделия, а также сопровождение всех конфигураций путем скрупулезного учета и управления изменениями. Эта деятельность регламентируется стандартом ISO 10007:2003 «Системы менеджмента качества. Руководящие указания по менеджменту конфигурации».

Система управления изменениями и конфигурациями обладает следующими функциями:

- регистрация изменений;
- анализ влияния изменений;
- оптимизация процедур внесения изме-

нений;

- контроль внесения изменений;
- планирование управления конфигурациями;
- идентификация конфигураций;
- оптимизация конфигураций;
- учет статуса конфигураций;
- аудит конфигураций;
- формирование каталога запасных частей и услуг по техническому обслуживанию в разрезе конфигураций;
- управление сервисной информацией в разрезе конфигураций.

3.4.3.3 Модуль управления испытаниями и моделированием (T&M)

Компьютерное моделирование и симуляция лежит в основе современного подхода к управлению жизненным циклом сложных изделий: модели возникают в самом начале жизненного цикла изделия в результате формализации ожиданий заинтересованных сторон, развиваются и уточняются по ходу процессов создания системы, выступают в качестве эталонов в процессах проверки и приемки, направляют эксплуатацию и техническое обслуживание. В сфере модельно-ориентированной системной инженерии пока нет устоявшихся стандартов основополагающего характера, имеется только ряд стандартов, регламентирующих те или иные ее аспекты, например семейство стандартов компьютерного представления инженерных моделей ISO 10303 STEP.

Система управления испытаниями и моделированием обладает следующими функциями:

- поддержка процессов комплексного многоаспектного моделирования;
- имитационное моделирование;
- экспресс-оценка геометрических и мультифизических характеристик изделия;
- топологический анализ прокладки сетей и коммуникаций;
- выявление путей распространения шума и вибрации;
- генерация встроенного программного обеспечения для системы управления изделием;
- анализ интерфейсов и обнаружение коллизий;
- исследование пространства проектных

параметров;

- оценка технологичности конструкции изделия по критериям удобства сборки, ремонта, утилизации;
- сбор данных натурных испытаний;
- оценка соответствия моделей натурным испытаниям.

3.4.3.4 Модуль управления качеством, рисками и надежностью (QRRM)

Система управления качеством, рисками и надежностью представляет собой комплексное решение для управления всеми аспектами качества, безопасности и надежности изделия на основе методов, интегрированных в полный жизненный цикл изделия, с обеспечением информацией всех участников, работающих над качеством изделия. В дополнение к широко известным базовым стандартам управления качеством семейства ISO 9000, существует множество стандартов, регламентирующих управление качеством по отраслям.

Система управления качеством, рисками и надежностью обладает следующими функциями:

- расчет показателей надежности и долговечности;
- построение деревьев отказов;
- анализ видов, последствий и критичности отказов;
- сбор статистики по отказам;
- прогнозирование ремонтпригодности и расчет периодов обслуживания;
- выработка корректирующих мероприятий;
- оценка затрат жизненного цикла и совокупной стоимости владения изделием;
- анализ рисков отказов.

3.4.4 Комплекс управления интегрируемыми процессами

3.4.4.1 Модуль управления производственными процессами (MES)

Целями MES системы является синхронизация, координация, анализ и оптимизация выпуска продукции в рамках производства в реальном времени. MES-системы относятся к классу систем управления уровня цеха, но могут использоваться и для интегрированного управления производством на предприятии в целом.

Задачи системы управления производ-

ственными процессами:

- Контроль состояния и распределение ресурсов – управление ресурсами производства (машинами, инструментальными средствами, методиками работ, материалами, оборудованием) и другими объектами (например, документами о порядке выполнения каждой производственной операции). В рамках этой функции описывается детальная история ресурсов и гарантируется правильность настройки оборудования в производственном процессе, отслеживается состояние оборудования в режиме реального времени;

- Оперативное/детальное планирование – оперативное и детальное планирование работы, основанное на приоритетах, атрибутах, характеристиках и свойствах конкретного вида продукции, детальный и оптимальный расчет загрузки оборудования при работе конкретной смены;

- Диспетчеризация производства – текущий мониторинг и диспетчеризация процесса производства, отслеживание выполнения операций, занятости оборудования и людей, выполнения заказов, объемов, партий, контроль в реальном времени выполнения работ в соответствии с планом. В режиме реального времени отслеживаются все происходящие изменения и вносятся корректировки в план цеха;

- Управление документами – контроль содержания и прохождения документов, которые должны сопровождать выпускаемое изделие, включая инструкции и нормативы работ, способы выполнения, чертежи, процедуры стандартных операций, программы обработки деталей, записи партий продукции, сообщения о технических изменениях, передачу информации от смены к смене, а также обеспечение возможности вести плановую и отчетную цеховую документацию. Предусматривается архивирование информации;

- Сбор и хранение данных – информационное взаимодействие различных производственных подсистем для получения, накопления и передачи технологических и управляющих данных, циркулирующих в производственной среде предприятия. Данные о ходе производства могут вводиться

как вручную персоналом, так и автоматически с заданной периодичностью из АСУТП или непосредственно с производственных линий;

- Управление персоналом – предоставление информации о персонале с заданной периодичностью, включая отчеты о времени и присутствии на рабочем месте, слежение за соответствием сертификации, а также возможность учитывать и контролировать основные, дополнительные и совмещаемые обязанности персонала, такие как выполнение подготовительных операций, расширение зоны работы;

- Управление качеством продукции – предоставление данных измерений о качестве продукции, в том числе производственного уровня, обеспечение должного контроля качества и особый контроль «критических точек». Может предложить действия по исправлению ситуации в данной точке на основе анализа корреляционных зависимостей и статистических данных причинно-следственных связей контролируемых событий;

- Управление производственными процессами – отслеживание заданного производственного процесса, автоматическое внесение корректив или предложение соответствующего решения оператору для исправления или повышения качества текущих работ;

- Управление производственными фондами (техобслуживание) – поддержка процесса технического обслуживания, планового и оперативного ремонта производственного и технологического оборудования и инструментов в течение всего производственного процесса;

- Отслеживание истории продукта – предоставление информации о том, где и в каком порядке велась работа с данной продукцией. Информация о состоянии может включать отчет о персонале, работающем с этим видом продукции, компоненты продукции, материалы от поставщика, партию, серийный номер, текущие условия производства, несоответствие установленным нормам, индивидуальный технологический паспорт изделия;

- Анализ производительности – отчеты

о реальных результатах производственных операций, сравнение их с предыдущими и ожидаемыми результатами. Представленные отчеты могут включать такие измерения, как использование ресурсов, наличие ресурсов, время цикла производственного ресурса, соответствие плану, стандартам и др.

3.4.4.2 Модуль интегрированной логистической поддержки (ILS)

Одной из главных целей интегрированной логистической поддержки сложного наукоемкого изделия является минимизация затрат на поддержку его жизненного цикла, которые складываются из затрат на разработку и производство изделия, а также затрат на ввод изделия в действие, эксплуатацию, поддержание его в работоспособном состоянии и утилизацию по истечении срока службы.

Основные компоненты ИЛП и описание выполняемых ими задач:

- Анализ логистической поддержки (АЛП) – формализованная технология всестороннего исследования как самого объекта ВВСТ, так и вариантов системы его эксплуатации и обслуживания. Задачами АЛП являются:

- о Обеспечение формализованных действий по планированию АЛП и экспертизе программы АЛП и проекта изделия;

- о Формирование требований к системе поддержки и связанных с ней требований к проекту на основе сравнения с существующими аналогами;

- о Разработка системы, обеспечивающей оптимальный баланс затрат, сроков и характеристик поддерживаемости;

- о Определение требований к ресурсам логистической поддержки, разработка планов постпроизводственной поддержки;

- о Проверка выполнения заданных требований и устранение недостатков;

- Управление техническим обслуживанием и ремонтом. Выполняются функции, направленные на поддержание работоспособности объекта ВВСТ в течение всего срока службы, выполняемые силами заказчика, сервисной службы и производителя. На этапе реализации ТОиР предлагается обеспечить выполнение следующих задач:

- о Составление календарного плана ТОиР;

- о Формирование заданий на выполнение ТОиР;

- о Контроль выполнения работ по ТОиР, т.е. приемка готовности каждого экземпляра изделия;

- о Учет расходования материальных ресурсов на выполнение плановых и внеплановых работ;

- о Учет выполнения работ по специальностям обслуживающего и ремонтного персонала;

- о Ведение электронного эксплуатационного дела изделия (электронного формуляра, паспортов и специальных журналов);

- Управление материально-техническим обеспечением (МТО). На данном этапе выполняются следующие задачи:

- о Кодификация предметов МТО. Процедура присвоения предметам МТО уникальных кодовых обозначений, используемых при заказах продукции, необходимой для поддержки эксплуатации и обслуживания ВВСТ;

- о Определение параметров начального МТО. Определение комплекта запасных частей и расходных материалов, поставляемых вместе с изделием и служащих для поддержания функционирования изделия в начальный период эксплуатации;

- о Определение параметров и планирование текущего МТО;

- о Планирование закупок;

- о Управление поставками. Решаются задачи: оценки уровня текущих запасов по всем предметам МТО; принятия своевременных решений о необходимости пополнения этих запасов; подготовки соответствующих заявок; контроля качества поступающих предметов МТО; организации учета, хранения и выдачи предметов МТО;

- о Управление заказами. Определяется совокупность всех действий, осуществляемых с заказом, от момента его выдачи заказчиком поставщику вплоть до подтверждения доставки заказанных предметов МТО;

- о Управление счетами. Задачи информационного обмена между поставщиком и заказчиком при передаче счетов и данных о счетах на оплату в электронном виде;

- Обеспечение заказчика специальным, вспомогательным и измерительным оборудованием, необходимым для эксплуатации, обслуживания и ремонта изделия;

- Разработка инфраструктуры системы технической эксплуатации. Определяются требования и последующее оснащение потребителя всеми компонентами (здания, сооружения, коммуникации и т.д.), необходимыми для эксплуатации и обслуживания объекта ВВСТ;

- Мониторинг технического состояния и процессов эксплуатации и технического обслуживания изделия. Задачи установления соответствия (или несоответствия) фактических характеристик изделия расчетным характеристикам.

3.4.5 Комплекс управления ресурсами организации

3.4.5.1 Модуль управления взаимоотношениями с клиентами (CRM)

CRM (Customer Relationships Management – управление взаимоотношениями с клиентами).

Задачи, решаемые с использованием модуля CRM:

- Поддержка процессов взаимодействия с клиентами (заказчиками) организации;
- Ведение базы данных клиентов организации;
- Оперативное предоставление данных по клиенту/группе клиентов в различных разрезах.

3.4.5.2 Модуль планирования потребности в материалах (MRP)

MRP (Material Requirements Planning) – планирование потребности в материалах.

Главной целью MRP является создание оптимальных условий для реализации производственного плана выпуска продукции.

Основной задачей системы являются обеспечение гарантии наличия необходимого количества требуемых материалов-комплектующих в любой момент времени для планирования производства и доставки потребителям, наряду с возможным уменьшением постоянных запасов, а, следовательно, разгрузкой склада. К задачам, решаемым MRP системой, также относятся:

- Обеспечение наличия требуемых комплектующих и уменьшение временных

задержек в их доставке, и, следовательно, увеличение выпуска готовых изделий без увеличения числа рабочих мест и нагрузок на производственное оборудование;

- Уменьшение производственного брака в процессе сборки готовой продукции возникающего из-за использования неправильных материалов-комплектующих;

- Оптимизация производства, ввиду контроля статуса каждого материала, позволяющего однозначно отслеживать весь его путь, начиная от создания заказа на данный материал, до его положения в уже собранном готовом изделии;

- Обеспечение полной достоверности и эффективности производственного учета;

- Входной контроль качества материалов-комплектующих.

3.4.5.3 Модуль управления персоналом (HRM)

HRM (Human Resources Management – управление человеческими ресурсами).

Целями функционального модуля HRM являются:

- Поддержка стандартных процессов кадрового делопроизводства (КДП) организации;

- Поддержка стандартных процессов организации труда и расчёта заработной платы (ОТиЗ) в организации;

- Поддержка процессов управления обеспечением человеческими ресурсами организации;

- Поддержка процессов обучения и развития человеческих ресурсов организации.

Задачами функционального модуля HRM являются:

- Поддержка учётных процессов, связанных с человеческими ресурсами;

- Поддержка расчётных процессов, связанных с человеческими ресурсами;

- Поддержка процессов управления организационной структурой;

- Поддержка структуры разделов базы данных, связанных с человеческими ресурсами;

- Поддержка ввода данных в разделы базы данных, связанных с человеческими ресурсами;

- Поддержка поиска в разделах базы данных, связанных с человеческими ресур-

сами;

- Создание объектов в разделах базы данных, связанных с человеческими ресурсами;
- Редактирование объектов в разделах базы данных, связанных с человеческими ресурсами;
- Удаление объектов в разделах базы данных, связанных с человеческими ресурсами организации;
- Получение данных для преобразования в записи базы данных, связанных с человеческими ресурсами организации;
- Предоставление записей базы данных, связанных с человеческими ресурсами организации в иные функциональные модули для использования;
- Поддержка управления правами доступа пользователей.

3.4.5.4 Модуль планирования финансовых ресурсов (FRP)

Целями функционального модуля «Финансовый учёт и бюджетирование» являются:

- Поддержка процессов финансового учёта;
- Поддержка процессов бюджетирования;
- Ведение базы данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Оперативное предоставление данных по финансовому учёту и бюджетированию организации в различных разрезах.

Задачами функционального модуля «Финансовый учёт и бюджетирование» являются:

- Поддержка процесса управления оборотом денежных средств организации;
- Поддержка процессов управления доходами и расходами организации;
- Поддержка процессов финансового анализа;
- Поддержка процессов бюджетирования;
- Поддержка структуры разделов базы данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Поддержка ввода данных в базу данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Поддержка поиска в базе данных фи-

нансового учёта и бюджетирования организации;

- Создание объектов в базе данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Редактирование объектов в базе данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Удаление объектов в базе данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Получение данных для преобразования в записи базы данных финансового учёта и бюджетирования организации;
- Предоставление записей базы данных финансового учёта и бюджетирования организации в иные функциональные модули для использования;
- Поддержка управления правами доступа пользователей.

3.4.5.5 Модуль управления основными фондами предприятия (EAM)

Целями функционального модуля EAM являются:

- Поддержка процессов управления техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР);
 - Поддержка процессов управления складскими запасами;
 - Ведение базы данных EAM организации;
 - Оперативное предоставление данных по EAM организации в различных разрезах.
- Задачами функционального модуля EAM являются:
- Поддержка процессов управления ТОиР организации;
 - Поддержка процессов управления складскими запасами организации;
 - Поддержка структуры разделов базы данных EAM организации;
 - Поддержка ввода данных в базу данных EAM организации;
 - Поддержка поиска в базе данных EAM организации;
 - Создание объектов в базе данных EAM организации;
 - Редактирование объектов в базе данных EAM организации;
 - Удаление объектов в базе данных EAM организации;

- Получение данных для преобразования в записи базы данных EAM организации;
- Предоставление записей базы данных EAM организации в иные функциональные модули для использования;
- Поддержка управления правами доступа пользователей.

3.4.5.6 Модуль интегрированного управления ресурсами предприятия (ERP)

Модуль ERP – это набор интегрирующих приложений, создающих единую информационную среду автоматизации планирования, учета, контроля и анализа управления ресурсами предприятия.

ERP-системы появились путём объединения систем класса MRP II (Manufacturing Resource Planning) с модулями финансового планирования (Finance Requirements Planning) и управления персоналом (Human Resource Management) получили название систем планирования ресурсов предприятий (Enterprise Resource Planning).

Цель системы:

Содействие наиболее эффективному планированию и контролю производственных, финансовых и человеческих ресурсов, необходимых для того, чтобы выполнить заказы клиентов и обеспечить необходимый уровень прибыльности и развития предприятия.

Решаемые задачи:

- Ведение спецификаций продуктов;
- Материально-техническое Снабжение;
- Моделирование производства;
- Оценка результатов деятельности;
- Планирование и контроль производственных операций;
- Планирование материальных потребностей;
- Планирование продаж и операций;
- Планирование ресурсов распределения;
- Управление плановыми поставками;
- Управление планом продаж;
- Управление планом производства;
- Управление производственными мощностями;
- Управление складом и складскими запасами;
- Управление финансами;
- Управление цеховым производством;

- Управления персоналом.

3.4.5.7 Модуль управления проектами и программами (PPM)

Цели функционального модуля PPM:

- Поддержка процессов управления проектами организации;
- Поддержка процессов управления программами проектов организации;
- Поддержка процессов управления портфелем/портфелями проектов организации;
- Ведение базы данных проектов, программ, портфелей организации;
- Оперативное предоставление данных по проекту/программе проектов/портфелю проектов в различных разрезах;
- Ведение базы знаний по основным направлениям управления проектами, программами и портфелями, на основании накопленного компанией опыта.

Задачи функционального модуля PPM:

- Поддержка групп процессов и процессов управления проектами/программами проектов/портфелями проектов;
- Поддержка областей знаний в сфере управления проектами/программами проектов/портфелями проектов;
- Поддержка управления правами доступа пользователей.

3.4.5.8 Модуль сбора и представления данных (BI)

Задачи решаемые модулем BI:

- Многомерная агрегация и размещение данных в хранилища;
- Денормализация баз данных, маркировка и стандартизация данных (ETL);
- Отчетность в режиме реального времени с аналитическими оповещениями (в случае существенных отклонений);
- Групповая консолидация, бюджетирование и скользящие прогнозы;
- Статистические выводы и вероятностное моделирование;
- Оптимизация ключевых показатели эффективности (KPI);
- Анализ эффективности управления процессами.

3.4.5.9 Модуль управления знаниями (KM)

Целями функционального модуля «Управление знаниями» являются:

- Поддержка процессов преобразования



данных и документов организации в объекты Базы знаний;

- Поддержка пользователей Базы знаний;
- Хранение объектов Базы знаний организации;
- Актуализация объектов Базы знаний организации.

Задачами функционального модуля «Управление знаниями» являются:

- Поддержка методик анализа данных и документов;
- Поддержка структуры Базы знаний;
- Поддержка ввода данных в Базу знаний;
- Поддержка поиска в Базе знаний;
- Создание объектов Базы знаний организации;
- Редактирование объектов Базы знаний организации;
- Удаление объектов Базы знаний организации;
- Получение данных для преобразования в записи Базы знаний;
- Предоставление записей Базы знаний в иные функциональные модули для использования;
- Поддержка управления правами доступа пользователей.

3.5 Стратегия продвижения продукта на рынок

3.5.1 ШАГ 1:

- Консолидация программных средств участников консорциума;
- Формирование интегрированного комплекса на базе идеологии ГИПК СУПЖЦ;
- Разработка контура обеспечения требований ИБ для капсуляции партнёрских и сторонних средств;
- Позиционирование системы как интегрированного защищённого решения, дополняющего существующую программную инфраструктуру промышленного предприятия.

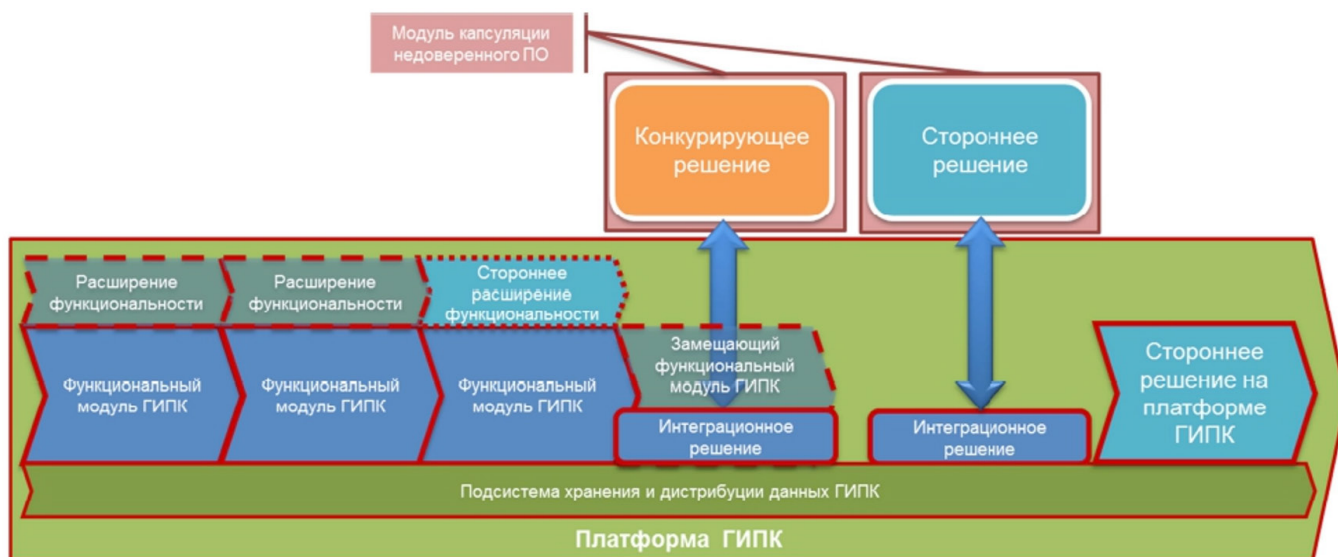
3.5.2 ШАГ 2:

- Разработка элементов платформы и части функциональных модулей, реализующих требования ИБ как неотъемлемую часть;
- Внедрение на отдельных участках, на которых отсутствуют решения, или решения обладают особыми требованиями;
- «Капсуляция» «внешних» решений (на основании разработанного комплекса ИБ), и интеграция на базе решения ГИПК СУПЖЦ.

3.5.3 ШАГ 3:

- Замещение конкурирующих решений;
- Развитие комплекса «в ширину» и «в





глубину»;

- Позиционирование ГИПК СУПЖЦ как базового средства автоматизации всех сфер деятельности крупного промышленного предприятия;

- Формирование «экосистемы» разработки модулей и комплексов.

3.6 Право собственности

Вопрос права собственности на элементы глобального программного инженерного комплекса требует тщательной проработки, и лежит как в сфере анализа технико-технологических решений, так и экономических и политических сферах.

Различные элементы ГИПК могут лицензироваться различным образом. Однако, в настоящий момент наиболее вероятными выглядят следующие схемы лицензирования:

- для элементов, формирующих программную платформу, среду разработки и интеграционную среду: условно свободное распространение, с открытым кодом;

- для элементов, формирующих функциональное наполнение комплекса: проприетарное, с закрытым кодом;

- для элементов визуализации и просмотра, возможно целесообразным станет распространение в виде свободно распространяемого ПО с закрытым кодом.

Возможны другие условия распространения как для указанных элементов системы, так и не указанных здесь элементов комплекса. В качестве держателя лицензий, должен выступать создаваемый Консорциум предприятий, с контрольным па-

кетом принадлежащим государству и/или государственным предприятиям.

3.7 Продажа и экспорт

В настоящий момент предполагаемыми средствами монетизации разработки видятся:

- Лицензирование комплекса в целом, индивидуальными или типовыми функциональными группами, отдельными функциональными элементами, в формате «корпоративного облака»;

- Аренда приложений и облачное решение;

- Лицензирование обучающих и нормативно-методических материалов;

- Франшиза;

- Поддержка лицензий;

- Поддержка пользователей;

- Поддержка разработчиков;

- Проведение обучения, повышения квалификации;

- Сертификация компонентов сторонних разработчиков;

- Заказная разработка.

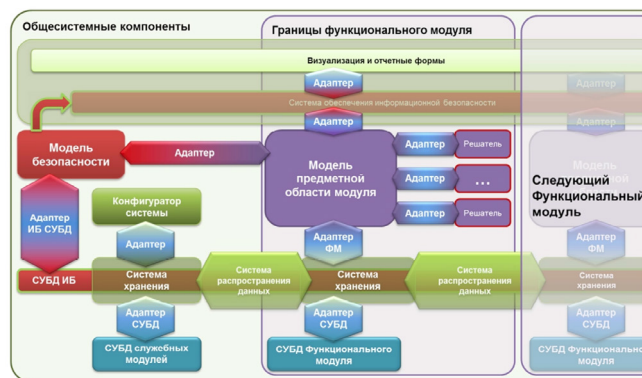
Продажа за рубеж комплекса может быть актуальна, прежде всего, для стран и компаний, находящихся под действиями санкций со стороны США и стран НАТО. Для обеспечения указанной возможности, в рамках проектирования системы, необходимо дополнительно проводить работу по выявлению и соблюдению требований по соответствию разрабатываемых программных средств требованиям рынков стран, на которых будет осуществляться распространение комплекса.

4 Архитектурные концепции ГИПК СУПЖЦ

4.1 ИТ слои ГИПК СУПЖЦ



4.2 Микромодульная архитектура



Система представляет собой совокупность узкоспециализированных элементов, связанных между собой «адаптерами». Данная архитектура направлена на обеспечение непрерывности функционирования глобального программного комплекса на предприятии в условиях постоянного функционально-технологического совершенствования его элементов.

В частности:

Адаптер – программная, аппаратная или программно-аппаратное решение передачи данных и команд между элементами системы.

Адаптер СУБД – адаптер передачи данных и команд между системой хранения и определённой (именованной) системой управления базой данных.

Адаптер СУБД ИБ – адаптер передачи данных и команд между системой построения модели информационной безопасности системы и специализированной системой управления базой данных.

Конфигуратор системы – модуль по-

строения моделей предметной области функциональных модулей системы; Позволяет определять Объекты системы, Операции системы, Акторов системы, определяет Границы и Функции трансформации данных, разрешённых функциональному модулю.

Модель безопасности – модуль построения моделей взаимодействия пользователей и Акторов системы с учётом ролевого и мандатно-дескрипционного принципов.

Модель предметной области – Часть функционального модуля системы, отвечающая за получение данных от системы хранения, определения бизнес-логики обработки данных, передачу и получения данных в систему ввода-вывода, специализированным «решателям».

Общесистемные компоненты – Компоненты системы, задействованные в работе всех функциональных модулей.

Решатель – Специализированный, не интерактивный обработчик данных.

Система ввода-вывода – Система построения пользовательского интерфейса, обмена данными с пользователем.

Система обеспечения информационной безопасности – система, контролирующая и разрешающая, и фиксирующая факт просмотра/добавления/изменения/удаления... информации пользователем.

Система распространения данных – система, распределяющая данные, полученные в результате работы функционального модуля в соответствии с моделью данных системы.

Система хранения – Система, обеспечивающая хранение данных необходимых для работы соответствующего функционального модуля.

СУБД – именованная система управления базами данных.

СУБД ИБ – специализированная система управления базами данных, используемая системой информационной безопасности.

СУБД служебных модулей – СУБД, используемая общесистемными компонентами.

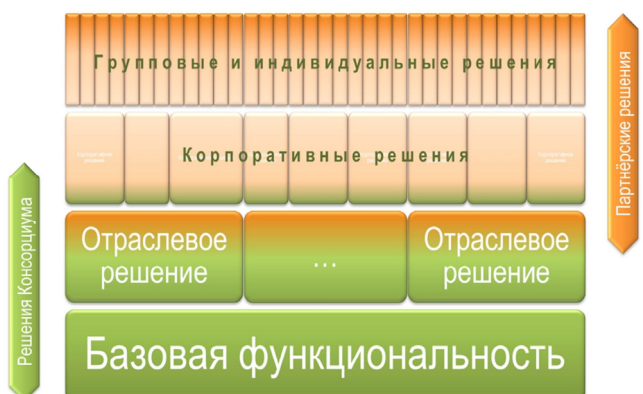
Функциональный модуль – Совокупность элементов модели предметной области, специализированных и общесистемных решателей, систем хранения, распространения, ввода-вывода данных, а также адаптеров, обеспечивающих передачу данных и команд

между перечисленными элементами, объединённый с целью решения задач информационной поддержки в рамках одного или нескольких смежных видов индустриальной деятельности.

4.3 Функциональная адаптация модуля ГИПК СУПЖЦ



4.4 Развитие и модернизация



Создание и модернизация комплекса предполагается в рамках «экосистемной» парадигмы разработки ПО.

В рамках основного проекта предполагается создание, прежде всего основного, востребованного всеми отраслями промышленности, функционала; и основного отраслевого функционала комплекса.

В указанной парадигме, Консорциум будет заниматься, прежде всего, разработкой, развитием и модернизацией платформенных решений, технологий и средств разработки и интеграционной среды. Также, консорциум будет отвечать за развитие базового функционала и отраслевых решений.

Развитие специализированных решений для узко-отраслевого и корпоративного функционала, а также групповых и частных решений предполагается возложить на предприятия-партнёры, специализирующи-

еся на отдельных функциональных или отраслевых решениях, а также внедряющие компании.

Предлагаемая архитектура реализации программного комплекса предполагает «биологический» тип развития комплекса. В рамках жизненного цикла комплекса, не предполагается формирование новых версий, а предполагается поэлементное замещение существующих или создание дополнительных элементов системы без остановки деятельности всего комплекса в целом. Таким образом, будет обеспечено «бесконечно долгое» функционирование комплекса в целом, невзирая смену информационных технологий, на базе которых разработаны его отдельные элементы.

5 Консорциум по созданию ГИПК СУПЖЦ

12 марта 2015 года было подписано соглашение о Консорциуме по реализации проекта ГИПК СУПЖЦ. Консорциум учредили Правительство Республики Татарстан, МГТУ им. Н.Э. Баумана и КНИТУ-КАИ.

К Консорциуму присоединились: госкорпорация «Ростех», ООО «НИИ «АСОНИКА», ООО «Центр моделирования электроники «БЕЛАСОНИКА», ООО НТЦ «АПМ», ЗАО «ЛЕДАС», ЗАО «ЛАНИТ», ЗАО «РТ Софт», ФГУП «НПП «Гамма», ФГБУН Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, ООО «НПП «СпецТек» и ряд других организаций.

Проект поддержали Министерство информатизации и связи Республики Татарстан, ООО «Национальный центр информатизации», АО «Объединенная приборостроительная корпорация», Госкорпорация «Росатом», другие заинтересованные структуры.

Заключение

Этому грандиозному проекту в интересах технологического суверенитета Союзного государства так и не суждено было состояться. Было отказано в государственном финансировании. Запрашиваемый объем 4 млрд. рублей. На такой проект – это смешные деньги. Но дело, наверное, не в деньгах, а в чём-то более серьёзном. Под этот проект были собраны в единый кулак серьёзные оте-

чественные организации с серьёзными проектами в области автоматизации проектирования, что могло нанести удар по различным зарубежным компаниям, орудовавшим тогда на территории Российской Федерации, и их программному обеспечению. Во главу угла при принятии решения были поставлены не национальные интересы Союзного государства, а какие-то другие корпоративные интересы, нежелание видеть Россию и Беларусь сильными технологически независимыми государствами. Понадобилось всего 6 лет, чтобы карты противников проекта раскрылись, когда после 24 февраля 2022 г. эти самые зарубежные компании присоединились к анти-российским санкциям и покинули наш рынок.

В дальнейшем были и другие попытки создать аналогичные проекты. Например, проект дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Новые производственные технологии», подготовленный Госкорпорацией «Росатом» и представленный в Минцифры письмом от 30 декабря 2020 г. № 1-23/57746, как следует из письма заместителя министра Минцифры **М.В. Паршина (в настоящее время снят со своей должности и арестован за взятку)**. Ниже размещены копии писем и фрагменты этой дорожной карты. Но этому благому делу также не суждено было состояться. Хотя в открытых источниках 10.08.2021 уже появилась информация под заголовком «Правительство утвердило дорожную карту «Росатома» и «Ростеха» по развитию новых технологий» (<https://www.atomic-energy.ru/news/2021/08/10/116282>). Там было сказано, что «План включает основные классы промышленного ПО – технологии цифрового проектирования, математического моделирования и управления жизненным циклом, умного производства. Для взаимодействия заказчиков и разработчиков, тиражирования лучших решений будет создана единая промышленная платформа. На реализацию плана до 2024 года намерены направить 8,7 млрд рублей из федерального бюджета и 9 млрд из внебюджетных источников. В этом году объем финансирования составит 1,1 млрд рублей».

«В карте два основных вектора: поддержка разработчиков лучших отечественных цифровых продуктов в сфере производственного ПО и цифровая трансформация

предприятий промышленности», – отметил заместитель министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ Максим Паршин. **Где обещанные деньги и где сейчас сам Максим Паршин?**

«Дорожная карта – инструмент реализации весьма амбициозных задач. Индекс технологической независимости России в области промышленного ПО возрастет с 15% в этом году до 60% в 2024-м», – прокомментировала директор по цифровизации «Росатома» Екатерина Солнцева.

Все эти попытки также не увенчались успехом. Всё тот же противник. Всё те же цели противника. Отдельные российские компании, которые ранее присоединились к Консорциуму по реализации проекта ГИПК СУПЖЦ, продолжают в одиночку и без государственного финансирования работать на российском рынке, полагаясь исключительно на собственные средства. Но для Союзного государства было бы намного эффективнее, если бы государство тогда поддержало проект ГИПК СУПЖЦ, и мы сегодня имели бы на всех предприятиях ОПК единый мощный программный комплекс Союзного государства «МИР-ПОБЕДА».



МИНИСТЕРСТВО
ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ
И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА
Пресненская наб., д. 10, стр. 2, Москва, 125039
Справочная: +7 (495) 771-8000

31.12.2020 № МП-П11-070-39732
на № _____ от _____

По списку

Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации направляет на рассмотрение проект дорожной карты по развитию высокотехнологичной области «Новые производственные технологии», подготовленный Госкорпорацией «Росатом» и представленный письмом от 30 декабря 2020 г. № 1-23/57746, и просит в срок до 15 января 2021 г. направить в Минцифры России замечания или предложения по реализации указанной дорожной карты.

Приложение: на 51 л. в 1 экз.



М.В. Паршин



ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ» (Госкорпорация «Росатом») Директор по цифровизации ул. Б. Ордынка, д. 24, Москва, 119017

Заместителю Министра цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации

Паршину М.В.

На № _____ от _____

О направлении проекта дорожной карты НИПТ

Уважаемый Максим Викторович!

В рамках реализации соглашения о намерениях между Правительством Российской Федерации, Госкорпорацией «Росатом» и Государственной корпорацией (далее – ГК) «Ростех» в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» от 27.08.2020 № 1/20096-Д направляю проект соответствующей дорожной карты (далее – ДК НИПТ) и пояснительную записку к ней.

Вышеотмеченные документы разработаны ГК «Росатом» и ГК «Ростех» совместно с участниками рынка. Согласование ГК «Ростех» получено письмом от 30.12.2020 № РТ19-13042 (копия прилагается).

С целью обеспечения возможности реализации мероприятий ДК НИПТ в 2021 году, прошу согласовать проект дорожной карты в возможно короткий срок.

- Приложения: 1. Проект ДК НИПТ на 22 л. в 1 экз. 2. Пояснительная записка к ДК НИПТ на 27 л. в 1 экз. 3. Копия письма ГК «Ростех» на 1 л. в 1 экз.



Е.Б. Солнцева

Сухинин Денис Иванович (963) 640-44-40



Государственная корпорация «Ростех» Головной бульвар 21, Москва, 19591, Россия тел. (495) 287-2525 факс (495) 987-6373, 987-6374

Директору по цифровизации Государственной корпорации «Росатом»

Е.Б. Солнцева

30.12.2020 № РТ19-13042

На № _____

Уважаемая Екатерина Борисовна!

Государственная корпорация «Ростех» (далее – Корпорация) направляет проект Дорожной карты развития высокотехнологичной области "Новые производственные технологии" на период до 2024 года (далее – ДК НИПТ), разработанный совместной рабочей группой Корпорации и Государственной корпорацией по атомной энергетике «Росатом» (далее – ГК «Росатом») с привлечением представителей экспертного сообщества, консалтинговых компаний, профессиональных ассоциаций, СДТО крупных промышленных компаний ГК «Ростех» и разработчиков промышленного программного обеспечения и в соответствии с Соглашением о намерениях в целях развития в Российской Федерации высокотехнологичной области «Новые производственные технологии» от 27 августа 2020 года №1/20096-Д, заключенным между Правительством Российской Федерации, ГК «Росатом» и Корпорацией.

В рамках указанного соглашения считаем целесообразным направить проект ДК НИПТ на согласование в Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации.

Приложение 1: Дорожная карта «Новые производственные технологии» на 22 л.

Приложение 2: Пояснительная записка к дорожной карте «Новые производственные технологии» на 27 л.

С уважением,

Директор по цифровой трансформации

Р.А. Петросян

18

Приложение № 2

Table with 7 columns: 1. Субтехнология в НИПТ, 2. Классы промышленного ПО, 3. Критичность, 4. Ключевые функциональные требования, 5. Наиболее готовые к внедрению отечественные промышленные решения, 6. Иностранные промышленные решения, 7. Возможные потребители программных решений

* Оценка критичности будет актуализирована в рамках работы рабочей группы по направлению «Новые производственные технологии». В плане-графике работ предусмотрены соответствующие мероприятия

19

Table with 7 columns: 1. Субтехнология в НИПТ, 2. Классы промышленного ПО, 3. Критичность, 4. Ключевые функциональные требования, 5. Наиболее готовые к внедрению отечественные промышленные решения, 6. Иностранные промышленные решения, 7. Возможные потребители программных решений

20

Table with 7 columns: 1. Субтехнология в НИПТ, 2. Классы промышленного ПО, 3. Критичность, 4. Ключевые функциональные требования, 5. Наиболее готовые к внедрению отечественные промышленные решения, 6. Иностранные промышленные решения, 7. Возможные потребители программных решений

27

Table with 7 columns: 1. Субтехнология в НИПТ, 2. Классы промышленного ПО, 3. Критичность, 4. Ключевые функциональные требования, 5. Наиболее готовые к внедрению отечественные промышленные решения, 6. Иностранные промышленные решения, 7. Возможные потребители программных решений

* - Информация от компании не получена. Дата экспертная оценка специалистами ГК «Росатом». ** - Для обеспечения технологического суверенитета РФ требуется доработать решения, признание наиболее готовности к внедрению: - перейти на импортонезависимый системный стек, - обеспечить применение «своих» цифровых технологий.

РТ19-13042 от 30.12.2020

УДК 621.373.52

Особенности проектирования интегральных генераторов, управляемых напряжением СВЧ диапазона, в САПР ADVANCED DESIGN SYSTEM (ADS)

Блинков Николай Дмитриевич

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

Аннотация

В данной статье описываются возможности проектирования генераторов, управляемых напряжением (ГУН), в программном обеспечении Advanced Design System при проектировании систем на кристалле. Описаны основные проблемы и особенности реализации ГУН в САПР ADS. Выполнен обзор возможных реализаций схем ГУН СВЧ диапазона в поддерживаемом технологическом процессе GaAs. Произведено моделирование схемы и топологии ГУН с частотой 8 ГГц. Достигнуты следующие параметры ГУН: частотный диапазон от 7,855 ГГц до 8,172 ГГц; фазовый шум -120 дБ/Гц при отстройке 1 МГц.

Ключевые слова: генератор, управляемый напряжением (VCO), моделирование, GaAs технология, фазовый шум.

Development features of integrated voltage controlled oscillators at microwave range in advanced design system (ADS) CAD

Blinkov N.D.

Abstract

This article describes the possibilities of designing voltage-controlled oscillators (VCO) in the Advanced Design System software when designing systems on a chip. The main problems and features of the implementation of VCO in ADS CAD are described. A review of possible implementations of oscillator circuits in the supported technological process is carried out. The simulation of the circuit and topology of the VCO with a frequency of 8 GHz was performed. The following parameters of the VCO were achieved: frequency range from 7,855 KHz to 8,172 GHz; phase noise from -138.6 to -135.9 db/Hz at 1 MHz.

Keywords: voltage controlled oscillator (VCO), simulation, GaAs technology, jitter, phase noise.

Введение

Генератор, управляемый напряжением, – важный элемент системы фазовой автоподстройки частоты, являющейся неотъемлемой частью современной микроэлектроники и радиосвязи СВЧ диапазона. Развитие уровня техники требует постоянного улучшения основных параметров ГУН:

расширения частотного диапазона, при сохранении низких фазовых шумов и джиттера. Частота генератора, потребление, принцип построения, особенности реализации напрямую зависят от используемого при проектировании технологического процесса и соответственно САПР, предназначенного для него. Поэтому рассмотрение

особенностей проектирования интегральных ГУН СВЧ диапазона в САПР Advanced Design System, поддерживающем современные технологические процессы GaAs, является актуальной и важной задачей.

1 Основные проблемы и особенности реализации ГУН в САПР ADS

В настоящее время существует несколько передовых технологических процессов, таких как GaAs, SiGe с рядом различных размеров проектирования. Известный для проектирования микросхем САПР Advanced Design System предназначен для работы с технологическим процессом GaAs.

Во многих системах связи применяются генераторы, формирующие сигналы, частота которых изменяется под действием управляющего напряжения. Технология GaAs изготовления налагает множество ограничений на проектирование и производство ГУН. А именно на способ построения схемы генератора и соответственно на ее электрические характеристики. Существует несколько известных принципов построения схем ГУН имеющих свои преимущества и недостатки, но не каждый из них реализуем в данном техпроцессе из-за особенностей и ограниченности топологической реализации компонентов схемы. Также вследствие больших размеров техпроцесса GaAs, в отличие от SiGe, частотный диапазон таких генераторов не сможет превзойти десятки гигагерц [1].

2 Возможные реализации схем ГУН в поддерживаемом технологическом процессе GaAs

По типу схемотехнической реализации для интегрального исполнения в КМОП процессах можно выделить два вида ГУН [2]:

- кольцевой генератор;
- генератор по схеме мультивибратора.

Широко известна технология производства кольцевых генераторов на основе применения нечетного количества инверторов, каждый из которых имеет определенное время задержки, охваченных обратной

связью. Кольцевой генератор дает возможность достигать частоту до нескольких десятков ГГц, широкий диапазон перестройки по частоте, однако высок уровень фазовых шумов. Вследствие отсутствия в технологическом процессе GaAs комплементарных транзисторов, нет возможности построения КМОП инвертора, являющегося частотозадающим элементом кольцевого ГУН [3].

ГУН по схеме мультивибратора в свою очередь можно классифицировать по частотно задающему элементу:

1. LC генераторы.

Из-за низкой добротности интегральных катушек индуктивности, составляющей не более нескольких десятков, LC генераторы имеют недостатки, связанные с достаточно высоким уровнем фазовых шумов, в сравнении с кварцевыми генераторами, что ограничивает их применение в устройствах с повышенными требованиями к частоте выходного сигнала, а также температурной зависимостью выходной частоты [4].

2. Кварцевые генераторы.

К недостаткам генераторов на основе кварцевых резонаторов следует отнести относительно большие размеры резонатора, существенно превышающие габаритные размеры МЭМС резонаторов, технологическую несовместимость с процессами производства полупроводниковых схем и невозможность работы в гигагерцовом диапазоне.

3. МЭМС генераторы.

К недостаткам генераторов на основе МЭМС резонаторов следует отнести температурную зависимость частоты выходного сигнала. Дополнительное усложнение схемы возбуждения, обусловленное необходимостью выработки постоянного высокого напряжения смещения, подключаемого к резонатору, невозможность работы в гигагерцовом диапазоне.

Единственный реализуем типом ГУН в технологическом процессе GaAs является LC генератор. Но и имеется ряд схемотехнические ограничений, присущих интегральным технологиям, в частности величина реализуемых емкостей и катушек индуктивности, отсутствие варикапов, накладывают ограничения на возможные схе-

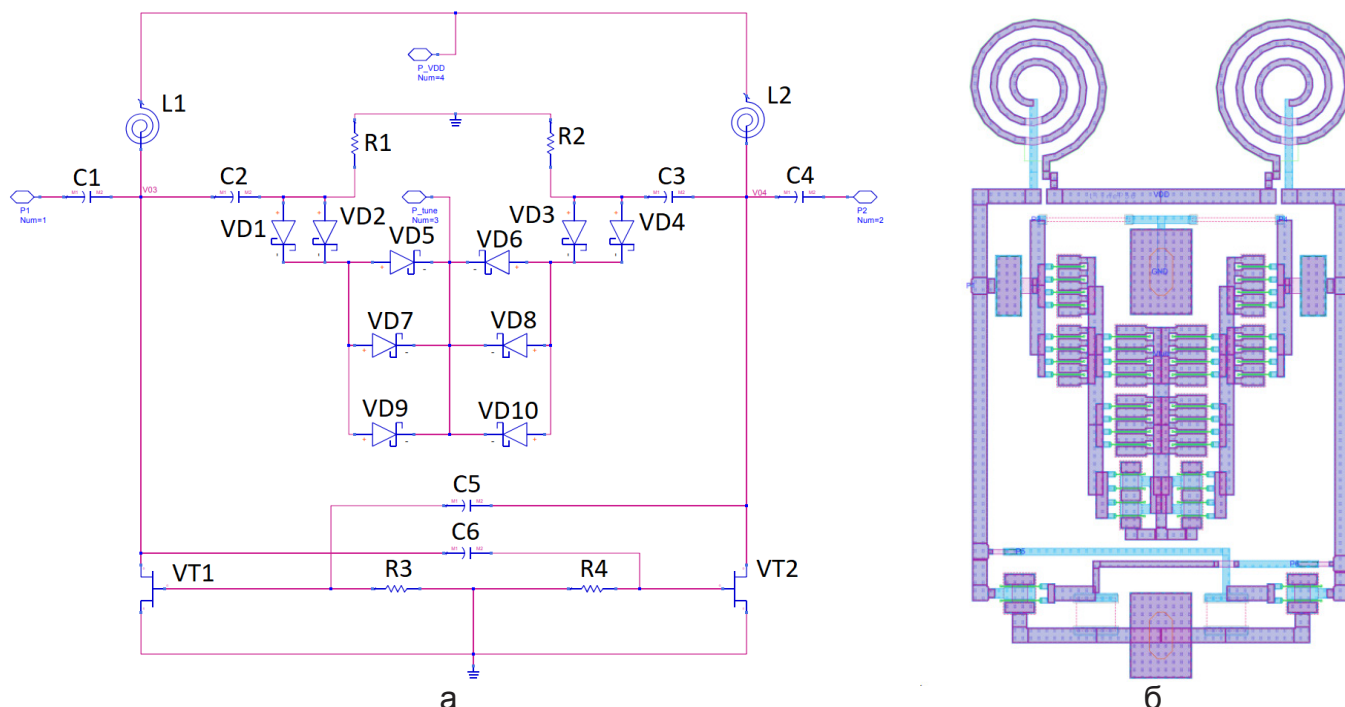


Рисунок 1 – Принципиальная схема спроектированного ГУН (а) и ее топология (б)

мотехнические решения, применимые для построения схем возбуждения интегральных генераторов.

3 Моделирование ГУН

Разработанная схема ГУН 8 ГГц [5] на основе LC цепи и ее топология приведены на рисунке 1.

Колесательный контур разработанного генератора состоит из десяти варикапов, построенных на основе диодов VD1 – VD10, двух конденсаторов C2 и C3, интегральных катушек индуктивности L1 и L2. Определение размеров индуктивностей L1 и L2 и оценка их добротностей произведена с помощью формул 1 и 2. Подключение варикапов и конденсаторов подобрано экспериментальным путем, после прикидочного расчета необходимой ёмкости контура (исходя из L1 и L2), для максимального диапазона перестройки, при нужной резонансной частоте и наименьших фазовых шумах [6].

$$Q_{eff} = \text{imag}(1/Y(1,1)) / \text{real}(1/Y(1,1)) \quad (1)$$

$$L_{eff1} = \text{imag}(1/Y(1,1)) / (2 * 3.14 * \text{freq}) \quad (2)$$

Частота ГУН в зависимости от управляющего напряжения приведена в таблице 1. Диапазон перестройки ГУН составил 317 МГц.

Полученные фазовые шумы составляют -120 дБн/Гц, приведены на рисунке 2.

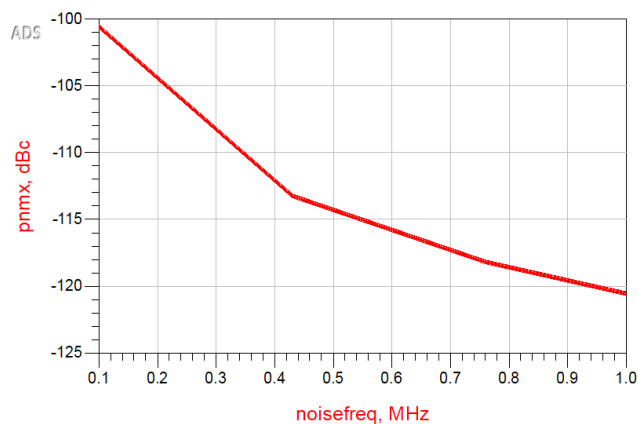


Рисунок 2 – Зависимость фазовых шумов от частоты ГУН

Выводы и заключение

Программное обеспечение Advanced Design System позволяет реализовать интегральный СВЧ ГУН на основе LC контура, осуществить его моделирование и

Таблица 1 – Выходная частота генератора при изменении управляющего напряжения

ВПИТ, В	0	1	2	3	4	5	6
FOUT, ГГц	7,855	7,861	7,870	7,895	7,992	8,084	8,172

подготовку документации для передачи топологии на производство. Технологический процесс, поддерживаемый САПР GaAs, накладывает ряд ограничений на проектирование ГУН, таких как структура схемы, построение катушек индуктивности. В ходе проектирования был получен ГУН со следующими параметрами: частотный диапазон от 7,855 ГГц до 8,172 ГГц; фазовый шум -120 дБ/Гц при отстройке 1 МГц.

Библиография

- [1] 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. 454 с.
- [2] Манасевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование): Пер. с англ./ Под ред. А.С. Галинина. М.: Связь, 1979. 384 с.
- [3] Jeong D., Chai S., Sing W., Cho G. CMOS current controlled oscillators using multiple feed-back loop ring architectures // ISSCC Dig. Tech. Papers. 1997. 386-387 p.
- [4] 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. 158 с.
- [5] A. Pottbacker and U. Langmann, "An 8 GHz silicon bipolar clock– recovery and data-regenerator IC," IEEE J. Solid-State Circuits, vol.29, no.12, Dec. 1994. 1572-1576 p.
- [6] Barranco. B. Frequency tuning loop for ГУНs./ Barranco B., Vazquez A., Si-nencio E., Huertas J.L.// Proceedings of the International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) 1991, June 1991. 2617-2620 p.

УДК 621.372.5

Достоверные модели пассивных элементов для проектирования Si/SiGe/GaAs СВЧ интегральных микросхем в САПР Cadence Virtuoso

Ерохин В.В., Завьялов С.А.

Омский Государственный Технический Университет (ОмГТУ), Омск, Россия
viktor_erohin@mail.ru

Аннотация

В статье представлены разработанные модели интегральных катушек индуктивности, конденсаторов и проводников, применимые для реализации СВЧ интегральных микросхем. Модели реализованы на языке программирования Spectre для использования в САПР Cadence Virtuoso. Модели унифицированы для применения в любых Si, SiGe и GaAs технологических процессах. В моделях учтены структура и характеристики технологического процесса, скин-эффект, краевые эффекты, влияние подложки, переходных отверстий, экранирования и травления подложки. Модели верифицированы путем сравнения результатов моделирования и измерений реальных экспериментальных образцов интегральных LC-фильтров диапазона рабочих частот 1-40 ГГц, выполненных в технологическом процессе SiGe 130 нм.

Ключевые слова: Cadence Virtuoso, Spectre, СВЧ, интегральные микросхемы, модели пассивных элементов.

Accurate Passive Elements Models for Si/SiGe/GaAs Microwave Integrated Circuits Design in Cadence Virtuoso CAD

Erokhin V.V., Zavyalov S.A.

Abstract

The article presents the developed integrated inductors, capacitors and conductors models, which are applicable for the microwave integrated circuits design. The models are implemented in the Spectre programming language for use in the Cadence Virtuoso CAD. The models are unified for use in any Si, SiGe and GaAs processes. The models take into account the structure and characteristics of the technological process, skin effect, edge effects, the influence of the substrate, vias, shielding and etching of the substrate. The models are verified by comparing the simulation results and measurements of real experimental samples of integrated LC filters with operating frequency range 1-40 GHz, made in the SiGe 130 nm technological process.

Keywords: Cadence Virtuoso, Spectre, microwave, integrated circuits, passive elements models.

Введение

САПР Cadence Virtuoso широко используется для проектирования СВЧ ин-

тегральных микросхем, в том числе систем на кристалле (СнК). При проектировании сложных систем на кристалле, содержащих

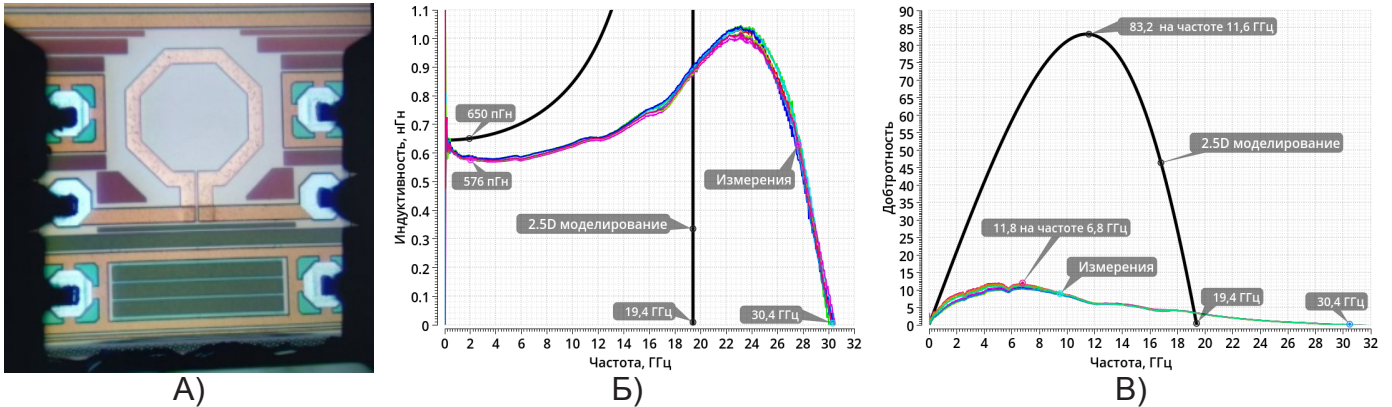


Рисунок 1 – Микрофотография (А), эффективные индуктивность (Б) и добротность (В) тестовой катушки индуктивности

сотни и тысячи активных и пассивных элементов, применение 3D методов моделирования в большинстве случаев оказывается невозможным ввиду большой требуемой вычислительной мощности. Основным методом проверки характеристик интегральной микросхемы в САПР Cadence Virtuoso – это 2.5D моделирование, которое на порядки быстрее 3D моделирования и 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 компонентов предоставляемый заводом-изготовителем интегральных микросхем. Ошибки и неточности в базовых моделях пассивных элементов и правилах экстракции ведут к несоответствию моделируемых и реальных характеристик СВЧ интегральных микросхем (ИМС).

Целью исследования является дости-

жение соответствия моделируемых и реальных характеристик пассивных элементов.

Задачи: выявление причин несоответствия характеристик пассивных элементов и разработка достоверных моделей пассивных элементов, интегрируемых в САПР Cadence Virtuoso и унифицированных для применения в любых Si/SiGe/GaAs технологических процессах.

1 Несоответствие моделируемых и реальных характеристик СВЧ ИМС

Анализ научных публикаций последних лет показал, что проблема несоответствия моделируемых и реальных характеристик интегральных пассивных элементов является актуальной и не решенной. В таблицу 1 сведены результаты сравнения моделируемых и реальных АЧХ интегральных LC-фильтров СВЧ диапазона, выполненных в различных технологических процессах. Видно, что несоответствие потерь в полосе пропускания (ΔK) составляет от 0,5 до 3 дБ, несоответствие частот среза (Δf) составляет от 0,1 до 6 ГГц.

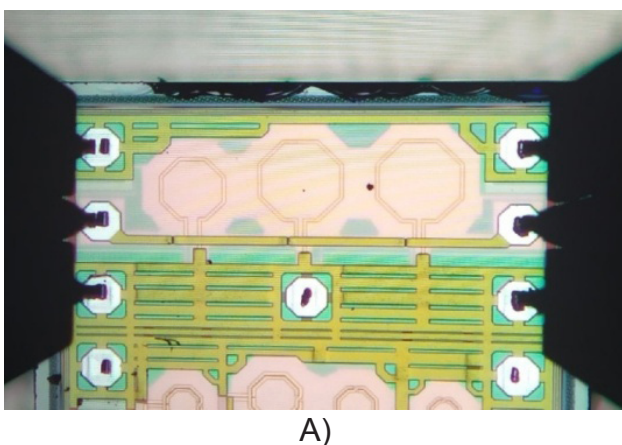
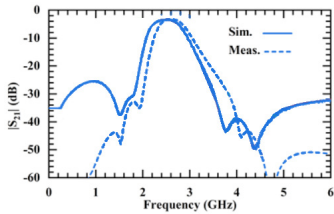
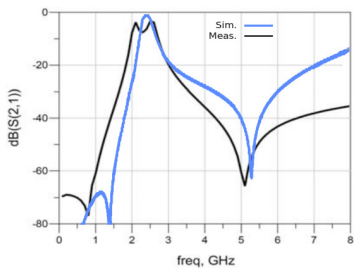
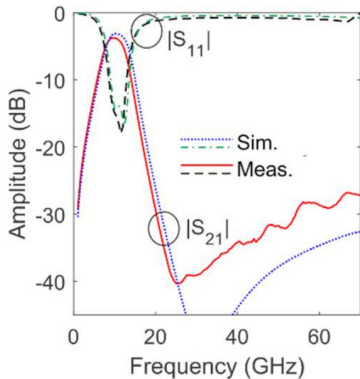
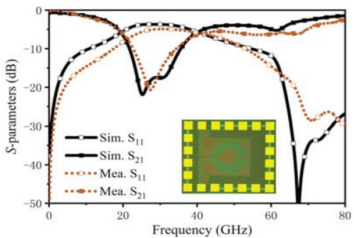


Рисунок 2 – Микрофотография (А) и АЧХ (Б) ФВЧ 18 ГГц

Таблица 1. Сравнение моделируемых и измеренных характеристик интегральных LC-фильтров СВЧ диапазона

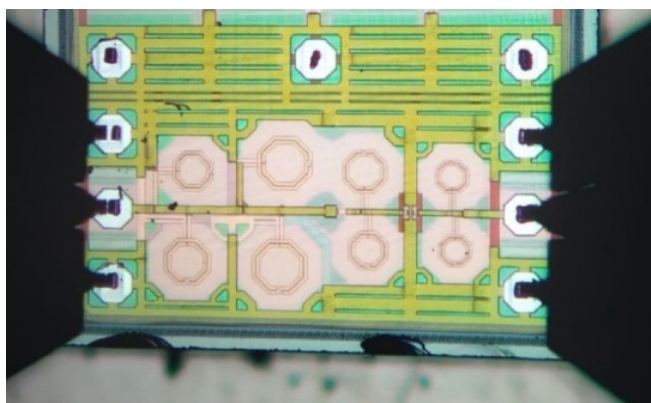
	ТП	АЧХ	ΔK	Δf
[1]	GaAs 150 нм		0,5 дБ	0,1 – 0,2 ГГц
[2]	Si IPD		> 3 дБ	0,2 ГГц
[3]	SiGe 130 нм		0,6 дБ	0,8 ГГц
[4]	SiGe 180 нм		1,2 дБ	6 ГГц

Результаты измерений разработанных в ОмГТУ интегральных микросхем (SiGe 130 нм) также не соответствуют результатам 2.5D моделирования (рисунки 1–3), выполненных в САПР Cadence Virtuoso. Измерения характеристик экспериментальных образцов выполнены с использованием зондовой станции MPI TS200 и анализатора спектра Rohde & Schwarz ZVA-40. Перед измерениями микросхем измерительная установка проходила калибровку на специализированных калибровочных пластинах.

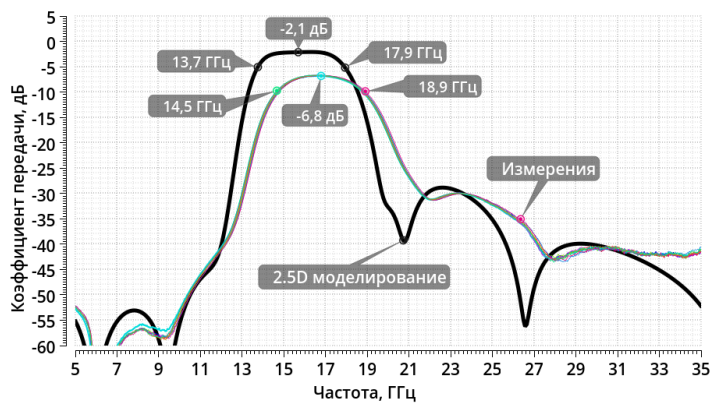
По графикам, изображенным на рисунке 1, видно, что смоделированное значение эффективной индуктивности на низких частотах отличается от измеренного не более

чем на 13%, значения максимальной добротности отличаются более чем в 7 раз, а значения резонансной частоты в 1,5 раза. Реальные фильтры (рисунки 2 и 3) имеют меньшую крутизну АЧХ, имеют потери в полосе пропускания на 2,2 – 4,7 дБ больше и отклонение частот среза на 0,5 – 1,0 ГГц в отличие от моделей. Столь значительные отличия моделированных и реальных характеристик являются недопустимыми при проектировании сложных СВЧ устройств.

Был произведен анализ эквивалентных схем, полученных путем экстракции топологических описаний по правилам, предоставленным производителем этих микросхем (SiGe 130 нм) и выявлено, что не был учтен



А)



Б)

Рисунок 3 – Микрофотография (А) и АЧХ (Б) ПФ 14-18 ГГц

скин-эффект, а также некорректно учитывалось влияние подложки, что привело к ошибочным результатам моделирования.

Также был произведен анализ библиотек базовых моделей пассивных элементов других технологических процессов отечественных и зарубежных полупроводниковых фабрик (в том числе АО “Микрон”, TSMC, IHP, Silterra, HiWafer). В результате выявлено, что модели имеют один или несколько недостатков из следующих:

- Не учитывается скин-эффект;
- Не учитываются краевые эффекты;
- Не учитывается или учитывается в упрощенном виде подложка;
- Не учитывается влияние переходных отверстий между слоями металлизаций;
- Не учитывается индуктивность проводников межсоединений;
- Номинал индуктивности не соответствует реальному.

Для соответствия моделируемых и реальных характеристик ИМС необходимо разработать модели пассивных элементов, которые бы не содержали указанные недостатки.

2 Модели пассивных элементов

Авторами была выдвинута гипотеза: путем учета структуры и характеристик технологического процесса и исключением вышеуказанных недостатков моделей можно получить достоверные аналитические модели интегральных пассивных элементов, унифицированные для применения во всех Si/SiGe/GaAs технологических процессах.

Основные характеристики Si/SiGe/

GaAs технологических процессов, влияющих на характеристики пассивных элементов, сведены в таблицу 2.

В качестве основы разработанных моделей были использованы известные эквивалентные П-модели, представленные на рисунке 4. Разработанные модели катушек индуктивности и проводников допускают возможность использования нескольких параллельных слоев металлизаций, экранирования и травление подложки. Данные способы широко используются в СВЧ интегральных микросхемах для уменьшения потерь [5 – 9].

Для решения проблемы несоответствия моделируемого номинала планарных катушек индуктивности и реального, авторами были выведены новые аналитические формулы расчета индуктивности планарных симметричных катушек индуктивности квадратной и восьмиугольной форм, опубликованных в [10, 11]. Сравнение результатов расчетов с результатами 3D электромагнитного моделирования методом конечных элементов в САПР ADS показало, что выведенные формулы имеют погрешности не более 2% для номиналов индуктивности от 100 пГн до 10 нГн. При этом широко используемые формулы [12], такие как модифицированная Уиллера, выражение с подгонкой данных, формула, основанная на аппроксимации плотности тока имеют погрешности до 10% [10].

Для учета сопротивлений массива переходных отверстий была выведена формула максимального количества переходных отверстий между слоями металлизаций с учетом ограничений технологического про-

Таблица 2. Структура и характеристики технологического процесса

Характеристика	Обозначение	Единицы измерения
Количество слоев металлизации	n_0	шт
Толщина i-го слоя металлизации	t_i	м
Удельное сопротивление i-го слоя металлизации	ρ_i	Ом
Сопротивление одного переходного отверстия	r_{via}	Ом
Толщина диэлектрика между i-ым слоем металлизации и подложкой	h_i	м
Диэлектрическая проницаемость диэлектрика	ϵ_{ox}	–
Толщина подложки	t_{sub}	м
Диэлектрическая проницаемость подложки	ϵ_{sub}	–
Удельное сопротивление подложки	ρ_{sub}	Ом•м
Толщина МИМ слоя (расстояние между обкладками)	h_{mim}	м
Диэлектрическая проницаемость диэлектрика между обкладками МИМ конденсатора	ϵ_{mim}	–
Толщины обкладок МИМ конденсатора	t_{mim_top}, t_{mim_bot}	м
Погонное сопротивление обкладок МИМ конденсатора	R_{mim_top}, R_{mim_bot}	Ом
Толщина диэлектрика между нижней обкладкой МИМ конденсатора и подложкой	h_{mim_ox}	м

цесса:

$$N_{via}(w, l) \leq \left[\left(\frac{w - 2 \cdot c + b}{a + b} \right) \cdot \left(\frac{l - 2 \cdot c + b}{a + b} \right) \right], \quad (1)$$

где w и l – длина и ширина проводника, a – ширина переходного отверстия, b – минимальное расстояние между переходными отверстиями, c – минимальное расстоя-

ние между переходным отверстием и краем проводника.

Для расчета активного сопротивления на сверхвысоких частотах был учтен скин-эффект, который заключается в том, что с ростом частоты плотность тока по проводнику распределяется неравномерно и ток протекает преимущественно в поверхност-

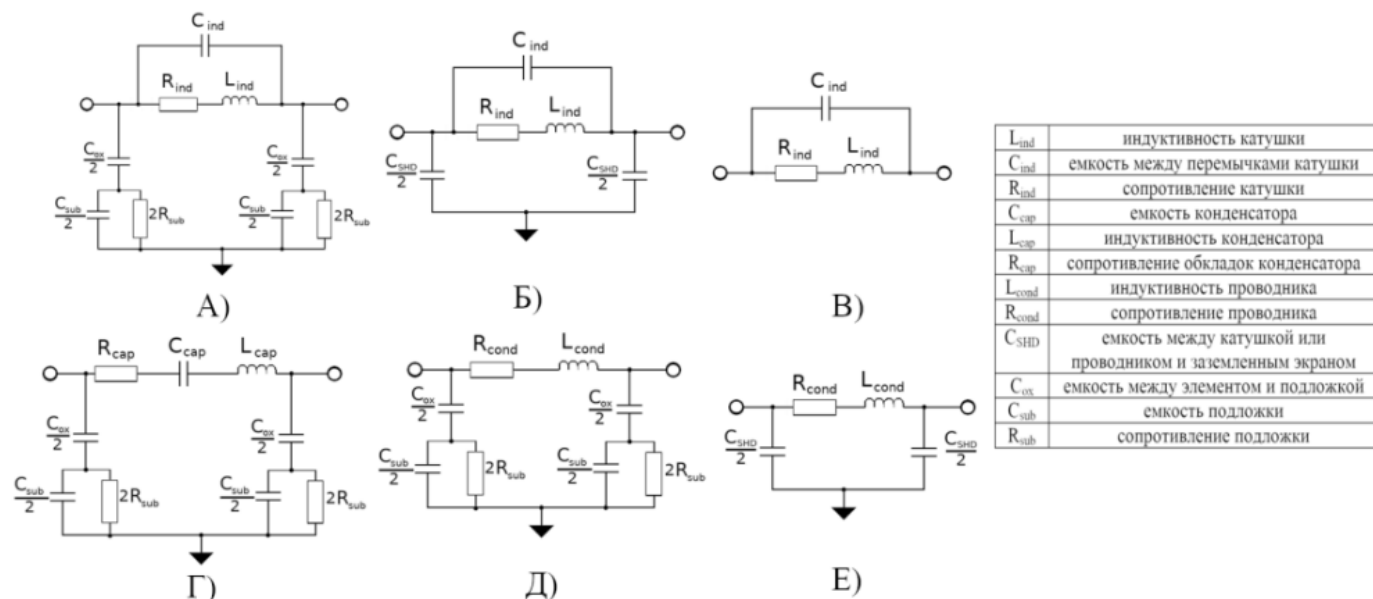


Рисунок 4 – Эквивалентные схемы катушки индуктивности (А), катушки индуктивности с экраном в нижнем слое металлизации (Б), катушки индуктивности с травлением подложки (В), конденсатора (Г), проводника (Д), проводника с экраном (Е)

ном слое материала проводника [13, 14].

Для расчета сопротивления R_{ind} катушки, выполненной в одном слое металлизации была выведена формула (2), для выполненной в нескольких слоях металлизаций – выведена формула (3). N_{mas} – количество массивов переходных отверстий, которое зависит от формы катушки. Для симметричных квадратных и восьмиугольных катушек $N_{mas} = 2 \cdot (N - 1) + 4$, для спиральных круглых катушек $N_{mas} = 2$ ($N_{mas} = 0$ при $N \leq 1$). Формулы (2-3) применимы для расчета сопротивления проводника R_{cond} , при этом $N_{mas} = 0$, а l_{ind} и l_{ind_jump} равны длине проводника l_c .

$$R_{ind}(f) = R_{skin}(w, l_{ind}, t_{n0}, \rho_{n0}, f) + N_{mas} \frac{r_{via}}{N_{via}(w, w)} \quad (2)$$

$$\frac{1}{R_{ind}(f)} = \frac{1}{R_{skin}(w, l_{ind}, t_{n0}, \rho_{n0}, f)} + \sum_{i=n_0}^{n_{use}} \frac{1}{R_{skin}(w, l_{ind}, t_{n0-i}, \rho_{n0-i}, f) + \frac{r_{via}}{N_{via}(w, l_{ind_jump})}} \quad (3)$$

где $R_{skin}(w, l_{ind}, t_{n0}, \rho_{n0}, f)$ – сопротивление проводника шириной w , длиной l_{ind} , толщиной t_{n0} , с удельным сопротивлением, ρ_{n0} , с учетом скин-эффекта на частоте f , n_{use} – количество слоев металлизации, используемых в катушке, l_{ind} – полная длина катушки, l_{ind_jump} – длина катушки, за вычетом перемычек. В перемычках не располагаются переходные отверстия.

Для учета краевых эффектов при расчетах емкостей C_{ind} , C_{ox} , C_{SHD} и номинала МИМ конденсатора была использована формула Палмера [15], которая имеет расхождение с моделированием методом конечных элементов не более 1,3%, при этом технологический разброс диэлектрической проницаемости SiO_2 может достигать 5%.

Для расчета номинала встречно-штыревых конденсаторов (ВШК) были использованы формулы, опубликованные в [16, 17], которые получены методом декомпозиции топологии конденсатора на основные микрополосковые сегменты: одиночные микрополосковые линии, связанные микрополосковые линии, разрыв с открытым концом, несимметричный зазор, изгибы под углом 90° и разрывы Т-образного перехода.

Для расчета ёмкости и сопротивления подложки были использованы формулы, учитывающие краевые эффекты, полученные методом изображений [18]. Формулы верифицированы авторами для площадей элементов до 40000 мкм².

В результате анализа физических свойств пассивных элементов разработаны конфигурируемые модели интегральных катушек индуктивности, конденсаторов и проводников, реализованные на языке программирования Spectre [19, 20, 21], рассчитываемых аналитически на основе характеристик технологического процесса (см. таблицу 2) и следующих параметров:

- катушки индуктивности: ширина витка, внутренний диаметр, зазор между витками, количество витков, длина выводов, количество используемых слоев металлизации, наличие/отсутствие заземленного экрана или травление подложки;
- МИМ конденсаторы: длина и ширина обкладок;
- встречно-штыревые конденсаторы: ширина пальцев, длина пальцев, зазор между пальцами, количество пальцев, количество используемых слоев металлизации;
- проводники: длина, ширина, количество используемых слоев металлизации, наличие/отсутствие заземленного экрана.

Новизна моделей заключается в их параметризации и выведении полных аналитических зависимостей между указанными параметрами элементов и характеристика-

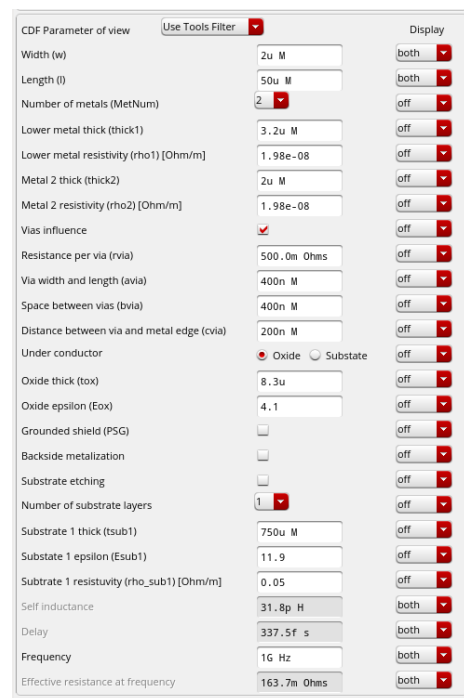


Рисунок 5 – Окно редактирования параметров разработанной модели проводника в САПР Cadence Virtuoso

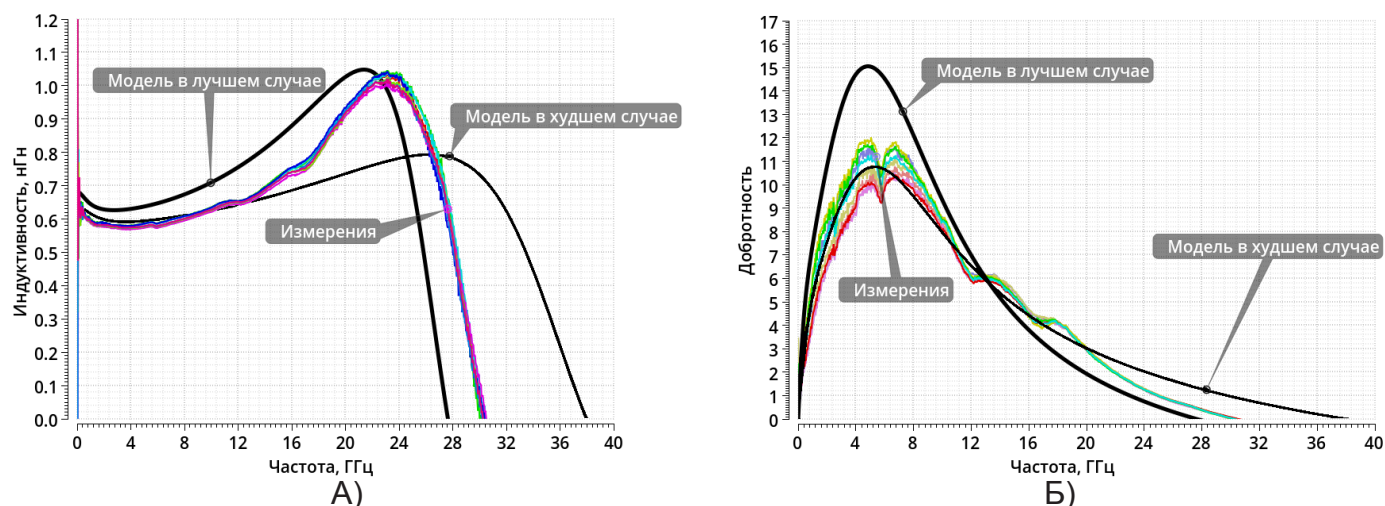


Рисунок 6 – Эффективная индуктивность (А) и добротность (Б) тестовой катушки индуктивности

ми реальных элементов в заданном технологическом процессе, в том числе с использованием различных комбинаций способов уменьшения потерь. Это позволяет использовать модели при оптимизации топологий элементов или для сравнения характеристик элементов в разных технологических процессах.

Реализация моделей на языке программирования Spectre позволяет использовать их в качестве достоверных физически обоснованных аналитических моделей пассивных элементов в САПР Cadence Virtuoso при проектировании широкого спектра интегральных устройств, выполненных в технологических процессах Si/SiGe/GaAs. В качестве примера на рисунке 5 продемонстрировано окно редактирования параметров разработанной модели проводника.

3 Верификация разработанных моделей

Для верификации разработанных моделей на их основе разработаны модели ранее

произведенных интегральных микросхем в технологическом процессе SiGe 130 нм: тестовая катушки индуктивности, ФВЧ 18 ГГц и ПФ 14–18 ГГц. Результаты симуляций этих моделей в крайних точках технологического разброса представлены на рисунках 6, 7, 8.

Видно, что измеренные характеристики тестовой катушки индуктивности и LC-фильтров находятся в диапазоне смоделированных характеристик разработанных моделей в крайних точках технологического процесса, при этом результаты 2.5D моделирования значительно отличаются от измеренных характеристик. Это подтверждает выдвинутую гипотезу и разработанные модели интегральных катушек индуктивности, конденсаторов и проводников являются достоверными и отражают реальные характеристики устройств. Незначительные различия в полосах задерживания фильтров обусловлены пренебрежением паразитными ёмкостями и взаимными индуктивностями между элементами (катушками, конденсаторами, проводниками).

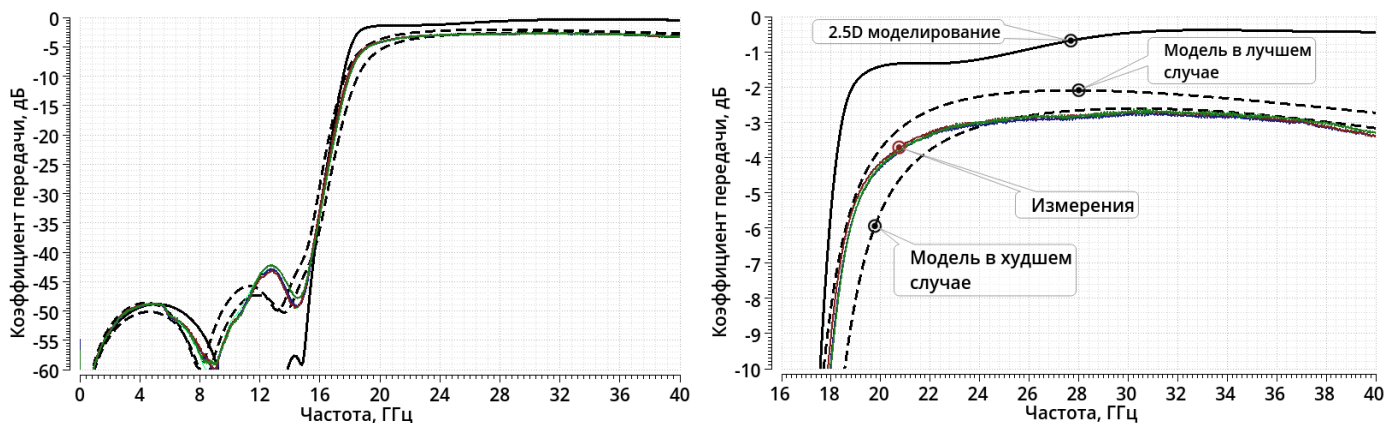


Рисунок 7 – АЧХ ФВЧ 18 ГГц

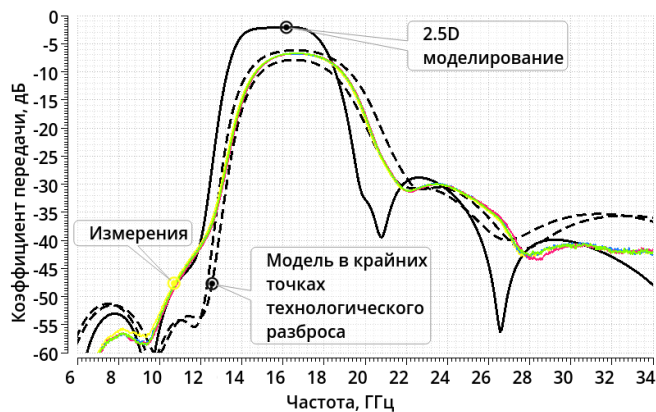


Рисунок 8 – АЧХ ПФ 14-18 ГГц

Выводы и заключение

Разработаны достоверные физически обоснованные аналитические модели интегральных катушек индуктивности, конденсаторов и проводников, реализованные на языке программирования Spectre. Модели верифицированы в частотном диапазоне до 40 ГГц путем сравнения результатов моделирования с результатами измерений экспериментальных образцов микросхем, произведенных в технологическом процессе SiGe 130 нм.

Достоинства разработанных моделей:

1) высокая точность, достигнутая путем использования достаточно точных аналитических формул и выведения новых аналитических формул (расчета индуктивности и активного сопротивления) расчета элементов эквивалентных схем моделей;

2) возможность универсального применения в любых Si/SiGe/GaAs за счет того, что модели полностью аналитические и входными параметрами моделей являются характеристики технологического процесса;

3) в моделях предусмотрена возможность использования таких способов уменьшения потерь, как дублирование слоев металлизации, экранирование и травление подложки, что позволяет использовать модели для нахождения оптимальных топологий элементов.

Недостаток: не учитываются паразитные электромагнитные связи между элементами, что не позволяет использовать модели для проектирования распределенных структур или трансформаторов.

Перспективы использования:

– в качестве базовых моделей стандарт-

ной библиотеки элементов САПР Cadence Virtuoso;

– в качестве основы экстрагирования эквивалентной схемы устройства из топологического описания программными продуктами Calibre и Assura, интегрированными в САПР Cadence Virtuoso;

– полностью аналитическая структура моделей позволяет реализовывать их в любых системах компьютерной алгебры. Например, модели также были реализованы на языке программирования MathCad и использованы при разработке утилиты, осуществляющей полностью автоматизированный синтез топологий СВЧ интегральных высокоизбирательных LC-фильтров [22].

Библиография

[1] Jincheng Li, Pei-Ling Chi, Xilin Zhang, Xu Zhu, Xiang Li, Yong Wang, Tao Yang. Reconfigurable GaAs Bandpass Filters Using Cascading of Lowpass and Highpass Filters // Proceedings of 2022 Asia Pacific Microwave Conference, Japan. 2022. P. 773-775.

[2] Design of LC bandpass filters based on silicon-based IPD Technology // 19th International Conference on Electronic Packaging Technology, China. 2018. P. 238-240.

[3] Xi Zhu, Zeyu Ge, Li Yang, Roberto Gómez-García. Millimeter-Wave CMOS Passive Filters for 5G Applications // IEEE MTT-S International Microwave Filter Workshop (IMFW), Italy. 2021. P. 198-200.

[4] Yi Wang, Tongde Huang, Wen Wu, Yuehua Li. Octagonal On-chip Wideband Bandpass Filter with a Tunable Transmission Zero in 0.18-um (Bi)-CMOS Technology // IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2020), Hong Kong. 2020. P. 1003-1005.

[5] J. Kim, J.K. Plouchart, N. Zamdmer and other. High-Performance Three-Dimensional On-chip Inductors in SOI CMOS Technology for Monolithic RF Circuit Applications // IEEE Radio Frequency Integrated Circuits (RFIC) Symposium, PA, USA. 2003. P. 591-594.

[6] A. S. Royet, J. C. Barbé, O. Valorge, L. Rémy, I. Constant. Experimental and Simulation Results on Si Integrated Inductor Efficiency for Smart RF-ICs // 21st IEEE

International Conference on Electronics, Circuits and Systems (ICECS), Marseille, France. 2014. P. 368-370.

[7] Jinglin Shi, W.-Y. Yin, Huailin Liao, Jun-Fa Mao. The Enhancement of Q Factor for Patterned Ground Shield Inductors at High Temperatures // IEEE Transactions on Magnetics. Vol. 42, Iss. 7. 2006. P. 1873-1875.

[8] Mehmet Kaynak, Falk Korndorfer, Christian Wipf, Rene Scholz, Bernd Tillack, Wan-Gyu Lee, Young Soo Kim, Jung Jae Yoo. High-Q passives for mm-wave SiGe applications // IEEE Bipolar/BiCMOS Circuits and Technology Meeting, Capri, Italy. 2009. P. 194-197.

[9] J.M. Lopez-Villegas, J. Samitier, C. Cane, P. Losantos, J. Bausells. Improvement of the Quality Factor of RF Integrated Inductors by Layout Optimization // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – Vol. 48, Iss. 1. 2000. P. 76-83.

[10] Erokhin V.V., Zavyalov S.A. New Inductance Calculating Formulas of Planar Symmetrical Square Inductors // 17th international IEEE scientific and technical conference “Dynamics of system, mechanism and machines”, (Dynamics 2023). 2023. 4 p.

[11] Ерохин В. В. Верификация модели интегральной катушки индуктивности для СВЧ LC-фильтров в Si- и SiGe-системах на кристалле // Вестник СибГУТИ. 2022 г. №2 (58). С. 98-109.

[12] S.S. Mohan, M. del Mar Hershenson, S.P. Boyd, T.H. Lee. Simple Accurate Expressions for Planar Spiral Inductances // IEEE Journal of Solid-State Circuits. Vol. 34, Iss. 10. 1999. P. 1419-1424.

[13] Zolog M., Pitica D., Pop O. Characterization of Spiral Planar Inductors Built on Printed Circuit Boards // 30th Int. Spring Seminar on Electronics Technology, Cluj-Napoca, Romania. 2007. P. 308-313.

[14] Ji Chen, J.J. Liou. On-Chip Spiral Inductors for RF Applications: An Overview // Journal of Semiconductor Technology and Science. 2004. P. 149-167.

[15] Mussa. Elsaadi, Mazhar B. Tayel, D. P. Steenson. An Empirical Formula of Fringing Field Capacitance for MEMS Tunable Capacitor Actuators // IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on

Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering MI-STA, Tripoli, Libya. 2021. P. 674-678.

[16] Beerasha R. S., A. M. Khan, Manjunath Reddy H. V. Design and Optimization of Interdigital Capacitor // International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET). Vol. 5, № 21. 2016. P. 73-78.

[17] Inder Bahl. Lumped Elements for RF and Microwave Circuits // Artech House microwave library, London. 2003. 494 p.

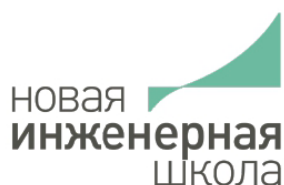
[18] Amaya Goñi, Javier del Pino, Benito González, and Antonio Hernández. An Analytical Model of Electric Substrate Losses for Planar Spiral Inductors on Silicon // IEEE Transactions on Electron Devices. Vol. 54, № 3. 2007. P. 546-553.

[19] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023611991. Конфигурируемая модель интегральной катушки индуктивности / Ерохин В.В., Квачев М.А., Садыков Ж.Б. [и др.] – Заявка №2022686524. Дата поступления 30 декабря 2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 26 января 2023 г.

[20] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022682881. Конфигурируемая модель интегрального конденсатора / Ерохин В.В., Садыков Ж.Б., Блинков Н.Д., Касмицкий М.В. – Заявка №2022682127. Дата поступления 21 ноября 2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 29 ноября 2022 г.

[21] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022682451. Конфигурируемая модель интегрального проводника / Ерохин В.В., Квачев М.А., Садыков Ж.Б. – Заявка №2022681947. Дата поступления 21 ноября 2022 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 22 ноября 2022 г.

[22] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023660979. Автоматизированный синтез топологий СВЧ интегральных высокоизбирательных LC-фильтров с минимизацией потерь в полосе пропускания / Ерохин В.В., Завьялов С.А. – Заявка №2023618607. Дата поступления 03 мая 2023 г. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25 мая 2023 г.



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 «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 «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»

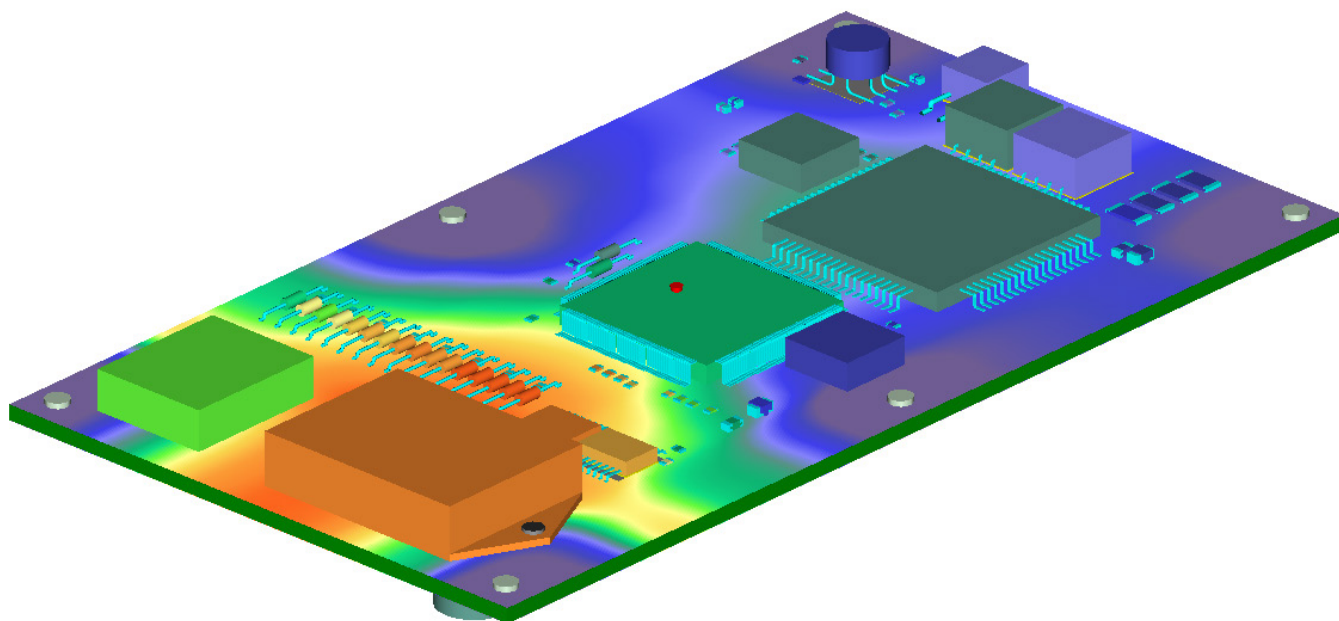
1. Обеспечение надежности электронных средств при проектировании
2. Обеспечение радиационной стойкости изделий электронной техники
3. Проектирование комплексов ЗИП
4. Методы автоматизированного моделирования РЭС на механические воздействия
5. Методы автоматизированного моделирования РЭС на тепловые воздействия
6. Методы создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий по результатам комплексного моделирования физических процессов в РЭС

Курсы по направлению «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 натуральных 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 САД-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 виброизоляторе.

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 натуральных 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)

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 SAPReletroniki@mail.ru

ПОДПИСКА

Желающие регулярно получать на свою электронную почту уведомления о выходе очередного номера журнала направляют простое письмо по электронной почте SAPReletroniki@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