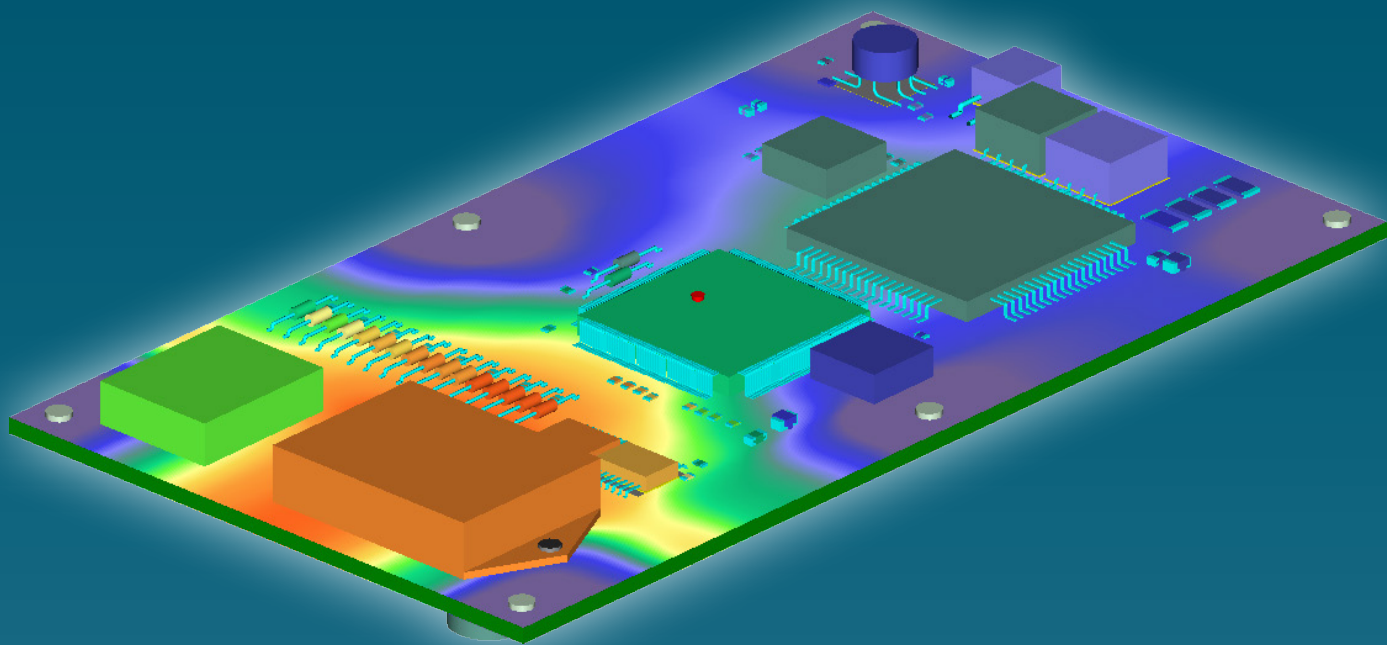

САПР ЭЛЕКТРОНИКИ



№ 3 (3)
2023

САПР электроники

Научно-практический журнал

№ 3 (3), 2023

Издается с 2023 г.

Главный редактор

Шалумов Александр Славович – д.т.н., проф., академик 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

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

Дизайн и верстка: Шалумов М.А.

© Издательство ООО «Научно-исследовательский институт «АСОНИКА», «САПР электроники», 2023

Дата выхода журнала: 19 сентября 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

От главного редактора.....	3
Шалумов А.С. База данных ЭКБ и материалов	8
Рафилович М.И. Импортозамещение и достижение технологического суверенитета в области САПР электроники. Концепция системного развития САПР электроники..	25
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 1. Процесс проектирования стойкой аппаратуры. Общие подходы проектирования	41
Сумароков Е.С. Создание программных и аппаратных средств САПР современной ЭКБ	49
Ильин С.А. Первые национальные стандарты в области информационного обеспечения САПР ЭКБ: общие положения, микросхемы интегральные	60
Кривошеев О.В., Трищенко А.В., Ганчук С.Н., Уразов А.В., Сыров С.А., Щербаков А.А., Кузнецова А.А. Интеграция САПР «МАКС» и САРУС.CAD	67
Увайсов С.У., Черноверская В.В., Иванов И.А., Раевский Г.П., Увайсова А.С. Методика обеспечения контролепригодности радиоэлектронных устройств	70
Ерофеева Т.К., Сбитнев С.Е., Ульянов О.В. Концепция перехода к машинопонимаемому формату документов по стандартизации и интеграции фонда нормативных документов с автоматизированными информационными системами.....	80
Годовицын М.М., Живчикова Ю.А., Старостин Н.В., Штанюк А.А. Реализация системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования	84
Манохин А.И., Полесский С.Н. Исследование аэродинамического режима камеры тепла и холода	93

CAD electronics

Scientific and practical journal

№ 3 (3), 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

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: September 19, 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

From the editor-in-chief	3
Shalumov A.S. Database of electronic component base and materials	8
Rafilovich M.I. Import substitution and achievement of technological sovereignty in the field of CAD electronics. The concept of system development of CAD electronics.....	25
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 1: Ruggedized hardware design process. General design approaches	41
Sumarokov E.S. Creation of software and hardware for a computer-aided design system of a modern electronic component base	49
Ilyin S.A. The first national standards in the field of information support for computer-aided design of electronic component base: general provisions, integrated micro-circuits	60
Krivosheev O.V., Trishchenkov A.V., Ganchuk S.N., Urazov A.V., Syrov S.A., Shcherbakov A.A., Kuznetsova A.A. Integrating the MAKS computer-aided-design system to the SARUS.CAD	67
Uvaisov S.U., Chernoverskaya V.V., Ivanov I.A., Raevsky G.P., Uvaisova A.S. Methodology for ensuring the testability of radio-electronic devices.....	70
Erofeeva T.K., Sbitnev S.E., Ulyanin O.V. The concept of transition to a machine-understandable format of documents for standardization and integration of a fund of normative documents with automated information systems.....	80
Godovitsyn M.M., Zhivchikova Yu.A., Starostin N.V., Shtanyuk A.A. Implementation of a system for checking topology for compliance with topological design rules	84
Manohin A.I., Polesskiy S.N. Investigation of the aerodynamic mode of the Clima control heat and cold chamber.....	93

От главного редактора журнала «САПР электроники»

Уважаемые авторы, читатели и коллеги!

Информация о журнале направляется **всем профильным предприятиям, корпорациям, министерствам России.**

Бумажные версии журнала № 1 и №

2 были направлены **Президенту РФ В.В. Путину.** Администрация Президента РФ очень оперативно (через 6 дней после отправки писем с журналами) сообщила ответными письмами о получении обоих номеров:



АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УПРАВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН
И ОРГАНИЗАЦИЙ

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

« 4 » _____ июля _____ 20 23 г.

№ A26-02-НО-69559591

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



НО-
695595

* 2 2 9 0 0 9 8 4 1 5 1 5 4 *

На № 126-01 от 28.06.2023 г.

Сообщаем, что журнал с сопроводительным письмом на имя Президента Российской Федерации в письменной форме получен.

Референт Управления

Д.Фомкин



АДМИНИСТРАЦИЯ ПРЕЗИДЕНТА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

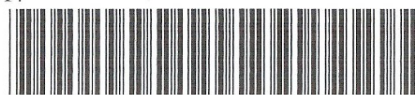
**УПРАВЛЕНИЕ
ПРЕЗИДЕНТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО РАБОТЕ С ОБРАЩЕНИЯМИ ГРАЖДАН
И ОРГАНИЗАЦИЙ**

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

« 4 » _____ июля _____ 20 23 г.

№ A26-02-69560491

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



695604

* 2 2 9 0 0 9 8 4 1 5 1 8 5 *

Сообщаем, что журнал с сопроводительным письмом на имя Президента Российской Федерации в письменной форме получен.

Референт Управления

Д.Фомкин

Также бумажные версии журнала № 1 и № 2 были направлены:

– **Председателю Правительства РФ М.В. Мишустину;**

– Первому заместителю Председателя Правительства РФ А.Р. Белоусову;

– Заместителю Председателя Правительства РФ Д.Н. Чернышенко;

– Министру обороны Российской Федерации С.Г. Шойгу;

– Министру цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ М.И. Шаддаеву;

– Министру науки и высшего образования РФ В.Н. Фалькову;

– Заместителю Министра промышленности и торговли РФ В.В. Шпаку;

– Президенту Российской академии наук Г.Я. Красникову;

– Генеральному директору Российского научного фонда А.В. Хлунову;

– Генеральному директору ГК «Ро-

стех» С.В. Чемезову;

– Генеральному директору ГК «Росатом» А.Е. Лихачёву;

– Генеральному директору ГК «РОСКОСМОС» Ю.И. Борисову;

– Генеральному директору АО «КРЭТ» А.В. Пану;

– Президенту ПАО АФК «Система» Т.А. Ситдекову;

– Президенту АО «Элемент» И.Г. Иванцову;

– Генеральному директору ПАО «ОАК» Ю.Б. Слюсарю;

– Генеральному директору АО «Росэлектроника» С.С. Сахненко;

– Генеральному директору АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей» Я.В. Новикову;

– Генеральному директору АО «К-Технологии» А.В. Литвинову;

– Генеральному директору Холдинга «Вертолеты России» Н.А. Колесову;

– Генеральному директору АО «Рос-

сийские космические системы» Г.А. Ерохину.

Всеми адресатами журналы получены.

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

Таким образом, журнал «САПР электроники» за полгода 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.

Ранее в России об этом даже подумать было нельзя, так как долгое время продолжала действовать постсоветская цензура, плавно сменившая советскую цензуру, итогом которой стало почти полное уничтожение отечественных САПР электроники и дикое отставание отечественной электроники по сравнению с зарубежной. Во всех так называемых «демократических» странах существует

жесткая цензура для российских авторов в журналах такого уровня. Их представители в СССР и России долгое время душили отечественных разработчиков, вынуждали многих эмигрировать. Лишь в современной России нет никакой цензуры и существует реальная свобода слова, что ещё раз подтверждает, что **Россия – самая демократическая страна мира.**

Фактически сегодня на базе журнала «САПР электроники» в инициативном порядке и при моральной поддержке Президента РФ В.В. Путина **создан Единый координационный центр САПР электроники** для регулирования разработок отечественных средств проектирования и использования импортных средств САПР при выполнении Государственных программ, в деятельности которого могут участвовать все желающие.

Информация о журнале «САПР электроники» размещена на официальном сайте Казанского национального исследовательского технологического университета (<https://www.kstu.ru/event.jsp?id=142213>):



КАЗАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

RU



Вход

Поиск



ОФИЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЕ НАУКА ЭЛЕКТРОННОЕ ОБУЧЕНИЕ АБИТУРИЕНТУ МЕЖДУНАРОДНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

ВЫШЕЛ НОВЫЙ ВЫПУСК №02 ЭЛЕКТРОННОГО ЖУРНАЛА «САПР ЭЛЕКТРОНИКИ» ЗА 2023 ГОД

26.06.2023

Журнал посвящен системам автоматизированного проектирования и электроники.

Уважаемые коллеги!

С 2023 года начался выпуск электронного российского научно-практического журнала «САПР электроники».

Новый журнал призван выполнить создание современной надёжной отечественной специализированной площадки для свободного обмена информацией в области систем автоматизированного проектирования (САПР) электроники.

Ссылки на новые выпуски электронного журнала «САПР электроники» помещаются в рубрику «[Полнотекстовая периодика](#)».

ВИРТУАЛЬНАЯ СПРАВОЧНАЯ
СЛУЖБА УНИЦ

ВИРТУАЛЬНЫЕ ВЫСТАВКИ

ВИРТУАЛЬНЫЕ ОБЗОРЫ

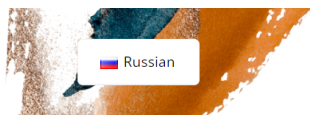
КНИЖНЫЕ ВЫСТАВКИ

ВИДЕО ОБ УНИЦ

ФОТОАЛЬБОМ

Также информация о журнале «САПР электроники» размещена на официальном сайте Северо-Восточного федераль-

ного университета имени М.К. Аммосова (https://www.s-vfu.ru/universitet/nauka/sciconf/detail.php?ELEMENT_ID=201318):



СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА

Поиск

УНИВЕРСИТЕТ АБИТУРИЕНТУ СТУДЕНТУ ВЫПУСКНИКУ СОТРУДНИКУ РАБОТОДАТЕЛЮ ЗАКУПКИ ИНСТИТУТЫ И ФАКУЛЬТЕТЫ

Научные мероприятия

Главная / Университет / Наука и инновации /



Департамент науки и инноваций

Научно-технический совет

Диссертационные советы

Научные лаборатории

Научные журналы СВФУ

Конкурсы и гранты

Научные мероприятия

Год молодого исследователя

И на официальном сайте Института Цифровых Технологий ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» ([https://xn--](https://xn--b1aecabnea2cbmcffd7av8a5o.xn--p1ai/novyj-rossijskij-nauchno-prakticheskij-zhurnal-startoval-statej-ob-spzhcz-sarus/)

[b1aecabnea2cbmcffd7av8a5o.xn--p1ai/novyj-rossijskij-nauchno-prakticheskij-zhurnal-startoval-statej-ob-spzhcz-sarus/](https://xn--b1aecabnea2cbmcffd7av8a5o.xn--p1ai/novyj-rossijskij-nauchno-prakticheskij-zhurnal-startoval-statej-ob-spzhcz-sarus/)):



Продукты

Услуги и поддержка

Обучение

Внедрение

Новости

О компании



Главная → Новости → Новый российский научно-практический журнал стартовал статьей об СПЖЦ «Сарус»

Новый российский научно-практический журнал стартовал статьей об СПЖЦ «Сарус»

18.05.2023

Вышел первый номер российского научно-практического журнала «САПР электроники» (регистрационный номер: серия Эл № ФС77-84458) – электронного периодического издания технического комитета по стандартизации ТК 165. Его рассылка осуществляется всем корпорациям, предприятиям и министерствам страны.

«САПР электроники» – первый и единственный российский журнал в одноименной технологической области. В числе статей, с которыми стартовало издание, материал об СПЖЦ «Сарус». В ней заместитель директора РФЯЦ-ВНИИЭФ по технологиям полного жизненного цикла – директор Института цифровых технологий – главный конструктор СПЖЦ Олег Викторович Кривошеев рассказал о возможностях этой разработки ядерного центра и новом витке ее развития.

Статус журнала определяется не какими-то искусственно выдуманнами вредоносными «индексами Хирша», которые нам навязал Фонд Сороса с целью

уничтожения российской науки и которые являются анахронизмом прошлой анти-русской эпохи всеобщей стагнации. Статус журнала определяется массо-

Последние новости

Новый российский научно-практический журнал стартовал статьей об СПЖЦ «Сарус»

18.05.2023



06.10.2022

Стратегические мероприятия форума по цифровизации промышленности России «ИТОПК-2022»



15.09.2022

РФЯЦ-ВНИИЭФ стратегический партнер форума по цифровизации ОПК «ИТОПК-2022»

Категории

■ Апробация

востью прочтения в профессиональной среде. Для САПР электроники первостепенное значение имеет практическая значимость, а не пресловутая «научная новизна», которая нужна только для диссертаций. Для статей по САПР электроники нужна не сомнительная, часто унижительная, критика анонимных рецензентов и экспертов, уровень профессионализма которых неизвестен, часто вызывает большие сомнения при прочтении их рецензий и перед которыми авторам статей приходится прогибаться, а оценка реальных заинтересованных пользователей – разработчиков электроники, имена и адреса которых известны и с которыми можно вести конструктивный и взаимовыгодный разговор. С этой точки зрения журнал «САПР электроники» сегодня имеет достаточно высокий статус по сравнению с так называемыми «рецензируемыми журналами», в которых опубликоваться и которые прочитать можно часто только за деньги (иногда очень большие) и в течение очень длительного времени (материал уже морально устаревает), и отвечает духу времени и потребностям

современной электронной промышленности.

На площадке журнала осуществляется плотное взаимодействие разработчиков электроники и разработчиков программного обеспечения для проектирования электроники.

Поэтому я призываю активнее использовать данную площадку в интересах развития российской электроники и достижения, тем самым, 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»**



УДК 621.865:8:007.52:006.354

База данных ЭКБ и материалов

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 описана база данных электронной компонентной базы и материалов, предназначенная для анализа и обеспечения стойкости к комплексным тепловым, механическим, электромагнитным воздействиям, усталостной прочности к тепломеханическим воздействиям, создания карт рабочих режимов, анализа показателей надёжности и создания цифровых двойников.

Ключевые слова: база данных, электронная компонентная база, электронная аппаратура, материалы, варианты установки, моделирование, карты рабочих режимов, модели надёжности, радиаторы охлаждения, виброизоляторы, синхронизация.

Database of electronic component base and materials

Shalumov A.S.

Abstract

The article describes a database of electronic component base and materials designed to analyze and ensure resistance to complex thermal, mechanical, electromagnetic effects, fatigue strength to thermal mechanical effects, create maps of operating modes, analyze reliability indicators and create digital twins.

Keywords: database, electronic component base, electronic equipment, materials, installation options, simulation, operating mode maps, reliability models, cooling radiators, vibration isolators, synchronization.

Введение

При автоматизированном проектировании электронной аппаратуры (ЭА) требуются параметры электронной компонентной базы (ЭКБ), материалов, а также радиаторов, виброизоляторов. Отличительной особенностью систем автоматизированного проектирования (САПР) электроники является наличие базы данных (БД) ЭКБ, содержащей множество параметров. Эта БД

должна быть не только и не столько справочной. Эта БД должна сопрягаться с различными подсистемами САПР электроники и автоматически передавать необходимые для автоматизированного проектирования данные по полным условным записям ЭКБ, наименованиям материалов, радиаторов, виброизоляторов. Часто ошибочно считают базой данных обыкновенный перечень ЭКБ, содержащий дополнительно несколько па-

раметров. Это чисто справочная информация и БД не является. Также часто ошибочно считают, что при наличии на предприятии какой-то БД ЭКБ, можно конвертировать данные в любую другую БД ЭКБ и использовать при автоматизированном проектировании. Для каждой конкретной программы требуются вполне конкретные данные. Поэтому, говоря о наличии той или иной БД ЭКБ, нужно обязательно конкретизировать, какие именно параметры ЭКБ содержит данная БД. Например, для САПР печатных плат требуются одни параметры ЭКБ, например, геометрические, а для подсистемы автоматизированного создания карт рабочих режимов требуются другие параметры, например, электрические допустимые. Общее у этих БД может быть только одно – полные условные записи ЭКБ. Однако и здесь могут быть различия. И уже только по этой причине нельзя конвертировать данные из одной БД в другую. Было бы идеально создать БД ЭКБ, сразу содержащую все параметры ЭКБ для всех возможных программ. Но исторически этого не произошло. И для каждой программы создавалась своя БД. Перед тем, как интегрировать различные БД в одну единую БД, нужно вначале определить целесообразность такого решения. Если это целесообразно, нужно привести к единообразию полные условные записи ЭКБ для всех интегрируемых БД. Наконец, должен быть создан интегрированный интерфейс по заполнению БД новой ЭКБ. Рассмотрим построение БД ЭКБ и материалов на примере подсистемы АСОНИКА-БД, которая является одной из 14-и подсистем Автоматизированной системы обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА [1] – [3]. АСОНИКА-БД – подсистема управления базами данных ЭКБ и материалов по геометрическим, физико-механическим, усталостным, теплофизическим, электрическим и надёжностным параметрам. В настоящее время БД системы АСОНИКА – единственная в России БД ЭКБ, предназначенная для анализа и обеспечения стойкости ЭА и 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 ЭКБ. В качестве СУБД используется PostgreSQL.

БД АСОНИКА развивалась в инициативном порядке, начиная со второй половины 80-х годов. Все попытки получить государственное финансирование не увенчались успехом. В течение 30-и лет были поданы десятки заявок на гранты практически во все государственные фонды. И все они были отклонены по самым различным причинам. Также было обращение в государственные структуры на получение целевого государственного финансирования для создания единой государственной БД ЭКБ и материалов на базе БД АСОНИКА, которая бы постоянно пополнялась новыми ЭКБ и материалами и бесплатно передавалась всем предприятиям России. Данная инициатива не была поддержана. И тогда научный коллектив разработчиков системы АСОНИКА, как коллектив истинных патриотов России (в отличие от тех, кому направлялись многочисленные заявки и обращения) принял решение **больше не обращаться за государственной поддержкой, чтобы впустую не тратить время, а дальше развивать БД за собственные средства, своими силами пополнять её новыми ЭКБ и материалами и бесплатно передавать её всем предприятиям России, приобретающим систему АСОНИКА**. При этом государственные фонды выделили миллионы (а может и миллиарды) рублей различным организациям на создание подобной БД, которую они так не создали и уже скорее всего не создадут никогда, так как выделенные деньги потрачены, а результата нет.

По результатам работы над подсистемой АСОНИКА-БД разработан национальный стандарт – 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).

1 Основные и дополнительные таблицы БД АСОНИКА

АСОНИКА-БД состоит из основных и дополнительных таблиц (см. рис.1).

Основные таблицы: «Материалы», «ЭКБ», «Редактор вариантов установки ЭКБ», «Менеджер моделей вариантов установки ЭКБ», «Карты рабочих режимов ЭКБ», «Модели надёжности ЭКБ», «Радиаторы охлаждения», «Виброизоляторы», «Синхронизация БД». Основные таблицы содержат следующую информацию:

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

- оптические свойства материалов конструкций ЭА;

- параметры ЭКБ:
 - о классы и группы ЭКБ;
 - о типы ЭКБ и технические условия (ТУ);

- о справочную информацию;
- о полные условные записи ЭКБ;
- о параметры, входящие в полную условную запись и их возможные значения;
- о варианты установки ЭКБ на печатную плату;

- о модели вариантов установки ЭКБ, позволяющие значительно сократить время на ввод ЭКБ в БД путем автоматизированного расчёта параметров ЭКБ;

- о геометрические, физико-механические, теплофизические, усталостные, допустимые параметры ЭКБ;

- о изображения ЭКБ на плоскости и в пространстве;

- допустимые электрические, тепловые и механические параметры ЭКБ по нормативно-технической документации для карт рабочих режимов ЭКБ;

- модели надёжности для различных групп и подгрупп ЭКБ и их параметры для конкретной ЭКБ;

- характеристики радиаторов;
- характеристики виброизоляторов.

Дополнительные таблицы: «Классы, группы, параметры, входящие в полную условную запись», «Справочники», «Таблицы».

Дополнительные таблицы создаются специально. Дополнительные таблицы могут содержать числовые, строковые, логические, текстовые, графические и функциональные зависимости параметров ЭКБ.

Рассмотрим последовательно все основные и дополнительные таблицы.

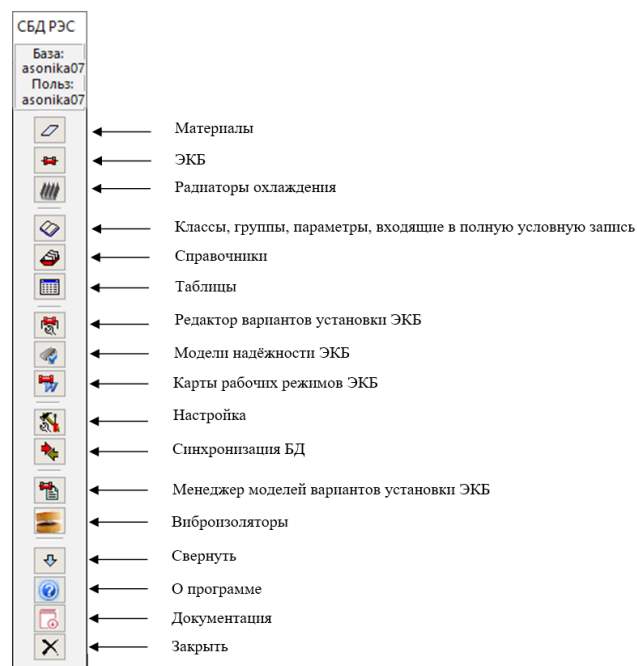



Рисунок 1 – Главное окно АСОНИКА-БД

2 Материалы

При нажатии на кнопку «Материалы» главного окна АСОНИКА-БД (рис. 1) появится справочник по материалам (рис. 2). Для выбора типа отображаемых материалов в таблице необходимо нажать на кнопку  в строке «Отображать материалы». После этого откроется окно выбора типа материалов (рис. 3). После выбора в списке отобразятся элементы нужного типа.

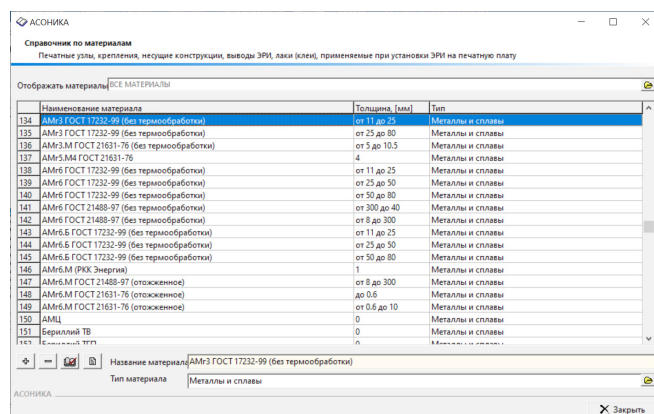


Рисунок 2 – Справочник по материалам

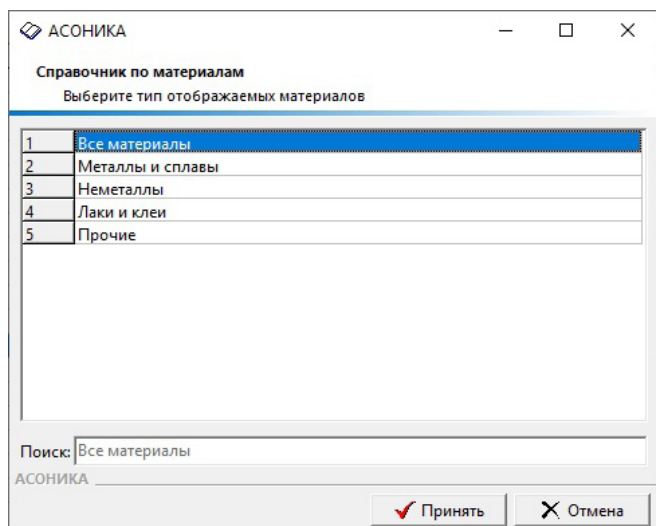



Рисунок 3 – Выбор типа отображаемых материалов

БД содержит большое количество элементов. Чтобы быстро найти нужный материал, кроме выбора типа материала, имеется строка с вводом названия материала. Достаточно ввести несколько первых букв из наименования материала, как указатель быстро переместится на нужную строчку.

Для редактирования параметров выбранного материала необходимо нажать на кнопку  (рис. 2), после чего появляется окно свойств материала, содержащее множество вкладок. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Механические» представлено на рис. 4.

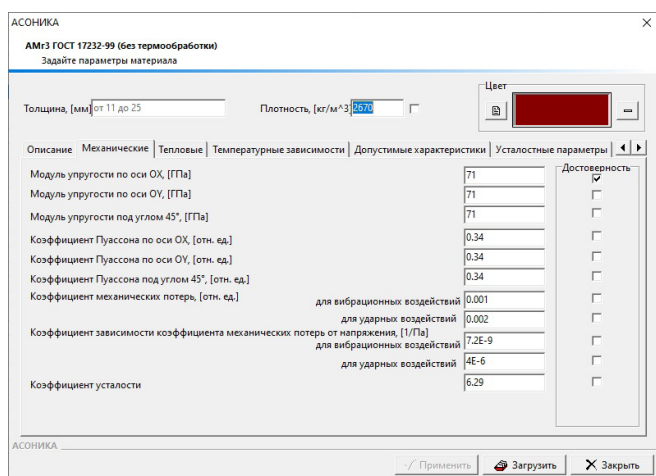



Рисунок 4 – Свойства материала, вкладка «Механические»

При задании числовых значений параметров материала для указания достоверности введенного значения необходимо ак-

тивировать флажок .

Для импорта параметров материала необходимо нажать на кнопку  и выбрать материал, параметры которого будут скопированы для редактируемого материала.

Диалоговое окно с открытой вкладкой «Описание» представлено на рис. 5. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Тепловые» представлено на рис. 6. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Температурные зависимости» представлено на рис. 7. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Допустимые характеристики» представлено на рис. 8. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Усталостные параметры» представлено на рис. 9. Диалоговое окно с открытой вкладкой «Электрофизические параметры» представлено на рис. 10.

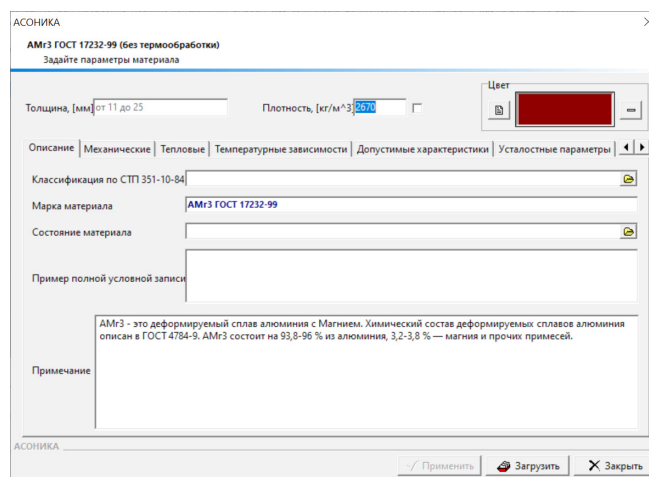


Рисунок 5 – Свойства материала, вкладка «Описание»

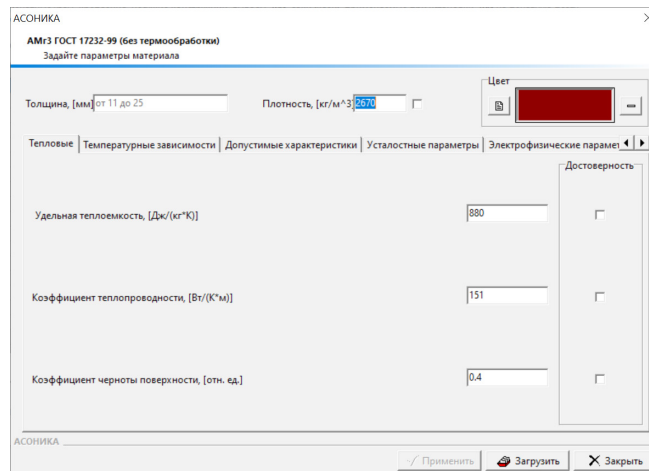


Рисунок 6 – Свойства материала, вкладка «Тепловые»

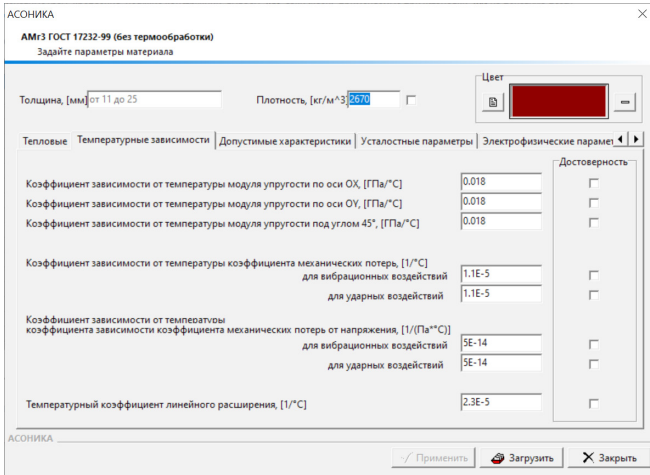


Рисунок 7 – Свойства материала, вкладка «Температурные зависимости»

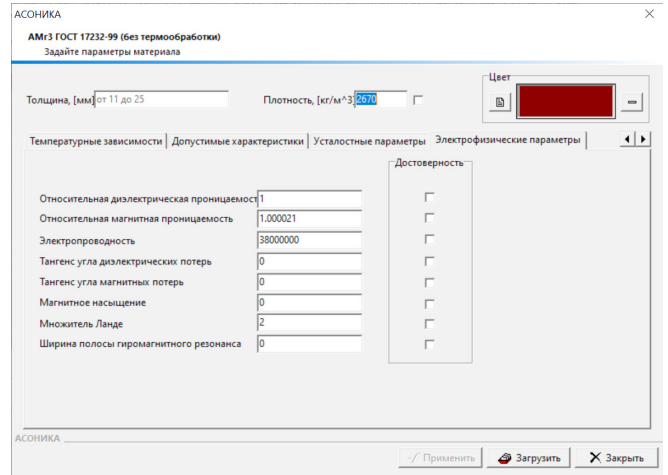


Рисунок 10 – Свойства материала, вкладка «Электрофизические параметры»

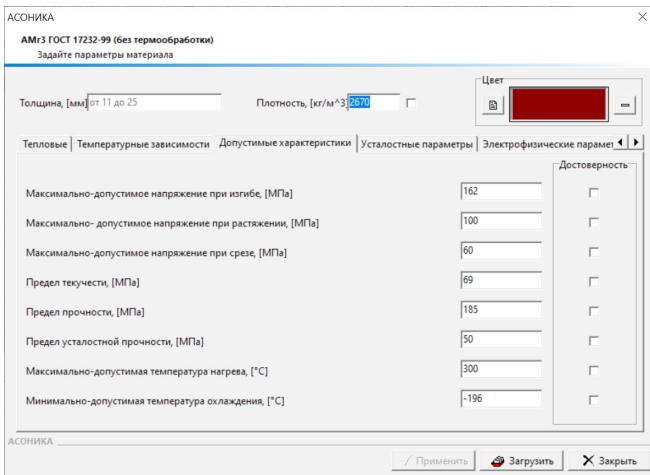


Рисунок 8 – Свойства материала, вкладка «Допустимые характеристики»

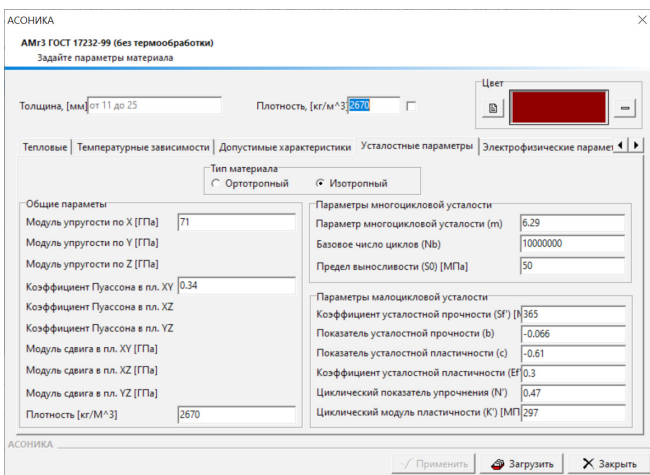


Рисунок 9 – Свойства материала, вкладка «Усталостные параметры»

3 ЭКБ

На рис. 11 представлено окно редактирования ЭКБ, которое открывается при нажатии на кнопку «ЭКБ» (рис. 1). Для выбора нужного класса ЭКБ в таблице необходимо нажать на кнопку в строке «Отображать ЭКБ». После этого откроется окно выбора класса ЭКБ (рис. 12). После выбора в списке отобразится ЭКБ нужного класса.

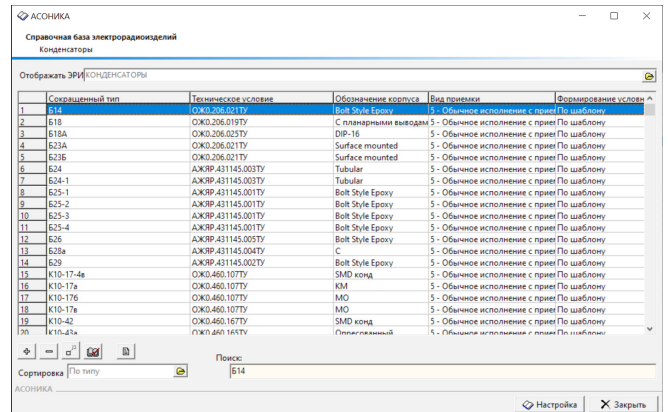


Рисунок 11 – Раздел «ЭКБ». Класс «Конденсаторы»

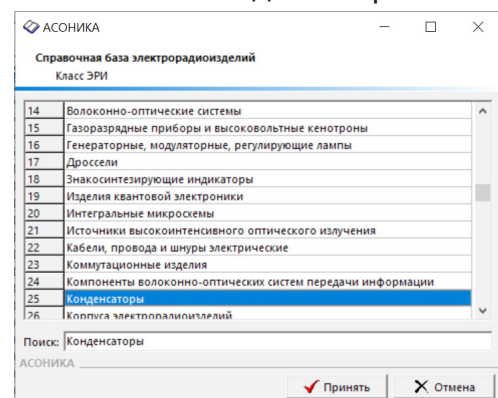


Рисунок 12 – Выбор класса ЭКБ

Для добавления новой ЭКБ следует выбрать способ формирования полной условной записи: по шаблону или без шаблона. При добавлении «по шаблону» нужно ввести сокращенный тип, ТУ и вид приемки, «без шаблона» – достаточно только имени ЭКБ.

При выборе варианта ввода элемента «по шаблону» присутствуют вкладки: «Общие», «Производители», «Аналоги», «Перечни», «Шаблон записи», «Элементы», «Установка», «Надёжность», «Описание» (рис. 17). При выборе варианта ввода элемента «без шаблона» присутствуют вкладки: «Общие», «Производители», «Аналоги», «Перечни», «Установка», «Надёжность», «Описание» (рис. 18).

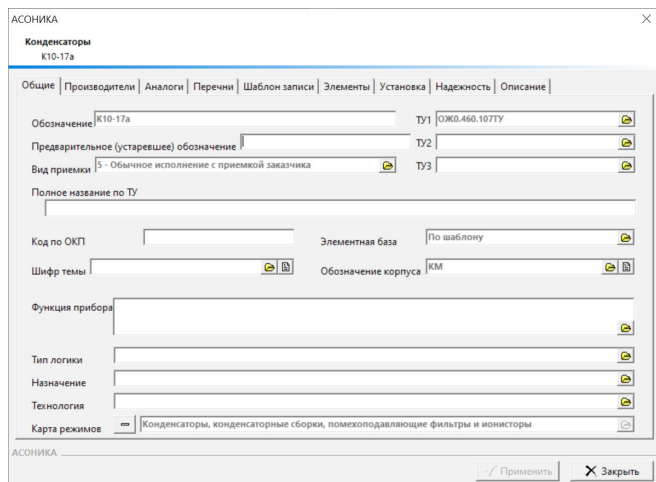


Рисунок 17 – Редактирование параметров ЭКБ «по шаблону»

1) Вкладка «Общие» (рис. 17, 18) предназначена для задания следующих параметров: «Предварительное (устаревшее) обозначение», «Вид приемки», «Полное название по ТУ», «Код по ОКП», «Элементная база», «Шифр темы», «Обозначения корпуса», «Функция прибора», «Тип логики», «Назначение», «Технология». Если в классе ЭКБ карты рабочих режимов присоединены, то они отразятся в графе «Карта режимов».

2) Вкладка «Производители» (рис. 19). Предусмотрена возможность добавления производителя ЭКБ.

3) Вкладка «Аналоги» (рис. 20). Предусмотрена возможность добавления аналога ЭКБ.

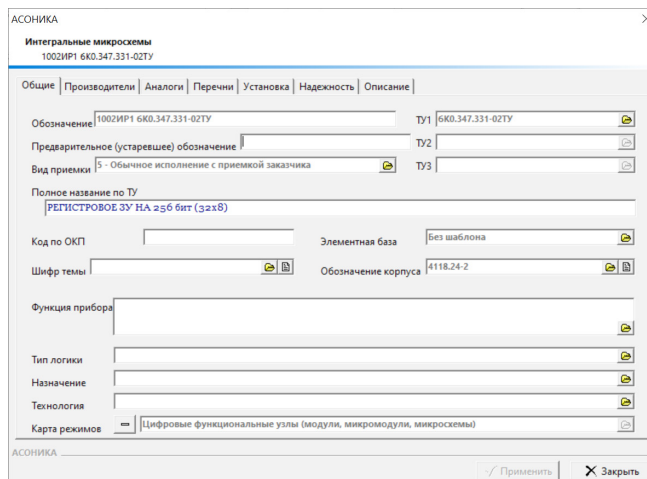


Рисунок 18 – Редактирование параметров ЭКБ «без шаблона»

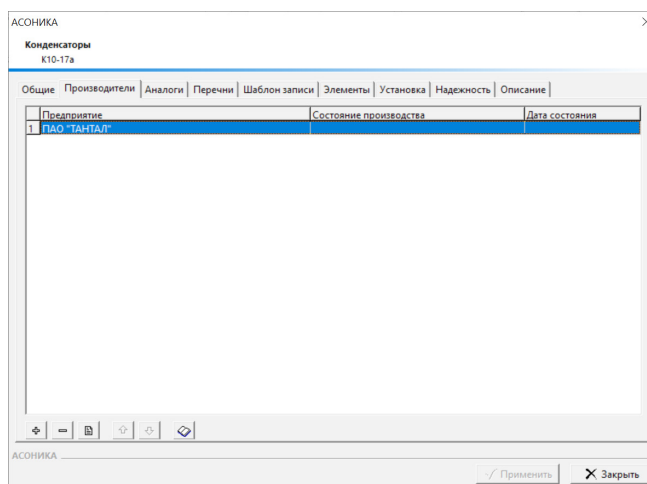


Рисунок 19 – Вкладка «Производители»

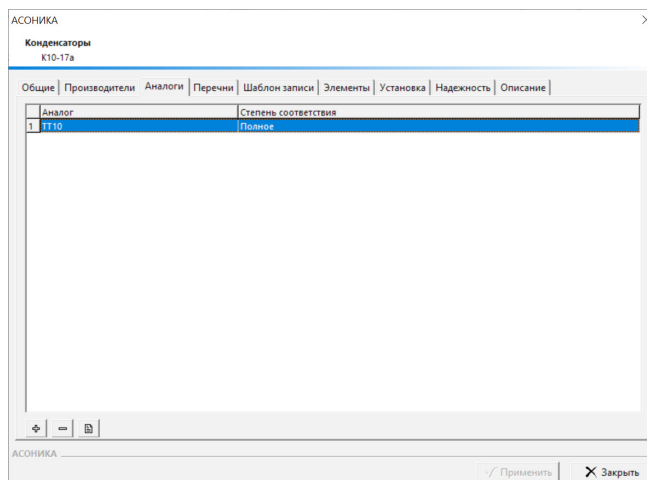


Рисунок 20 – Вкладка «Аналоги»



4) Вкладка «Перечни» (рис. 21). Предусмотрена возможность добавления перечня ЭКБ, в котором присутствует редактируемая ЭКБ.

5) Вкладка «Шаблон записи» (ввод

по шаблону). Данная вкладка представлена на рис. 22. Шаблон записи наименования ЭКБ (полная условная запись) выглядит следующим образом, например: «[0]-[1]-[2][3]-[4] [TU]», где число в квадратных скобках – номер параметра (сокращенный тип имеет номер «0»); TU – номер ТУ.

При формировании полной условной записи ЭКБ вместо номера параметра вставляется его значение, квадратные скобки пропускаются, а все остальные символы вставляются в том же порядке.

6) Вкладка «Элементы» (ввод «по шаблону») (рис. 23). Данная вкладка предназначена для формирования полной условной записи элемента согласно созданному ранее шаблону.

7) Вкладка «Установка» представлена на рис. 24. Сначала необходимо задать форму сечения корпуса и выводов ЭКБ (рис. 25). Для этого необходимо нажать на кнопку  напротив подписи «Сечение» в группе «Корпус» и в группе «Выводы» и выбрать необходимое значение из списка. Для задания материала конструктивных элементов ЭКБ необходимо нажать на кнопку  напротив соответствующей подписи и выбрать нужный материал из списка.

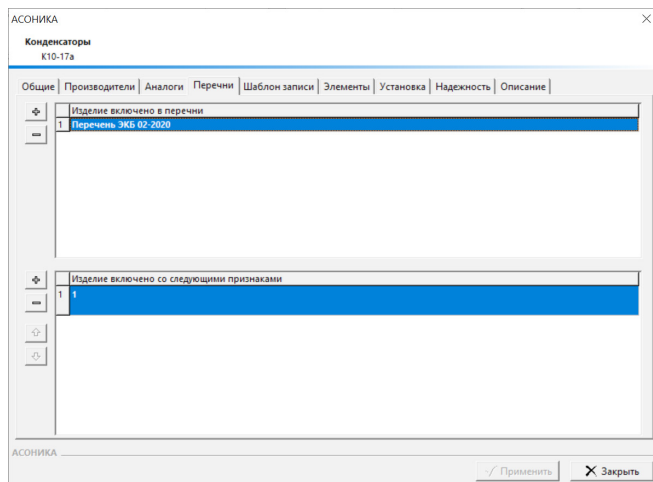


Рисунок 21 – Вкладка «Перечни»

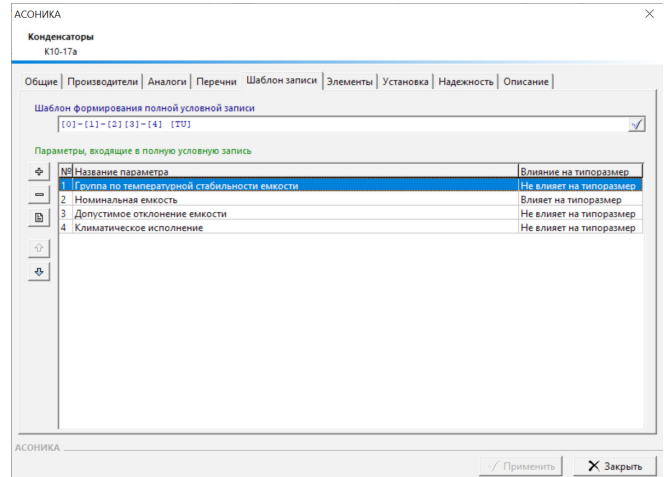


Рисунок 22 – Вкладка «Шаблон записи»

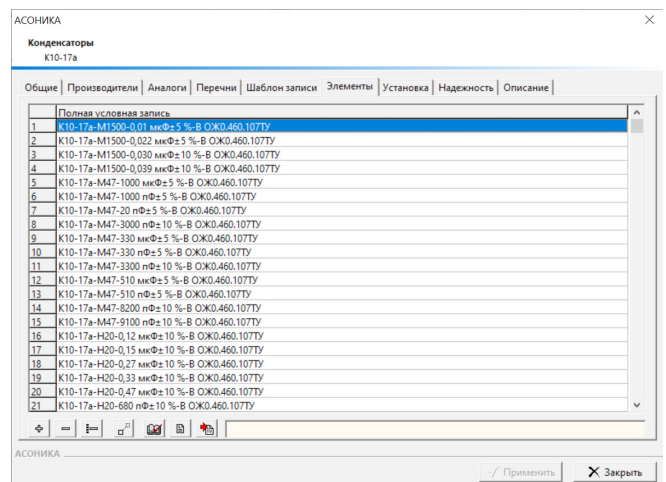


Рисунок 23 – Вкладка «Элементы»

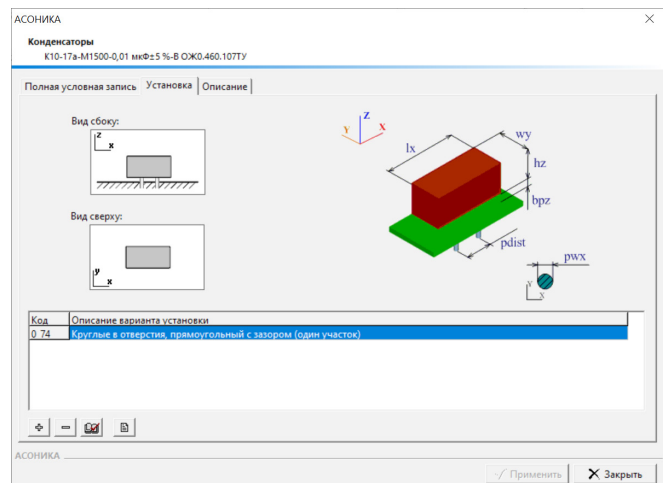


Рисунок 24 – Вкладка «Установка»

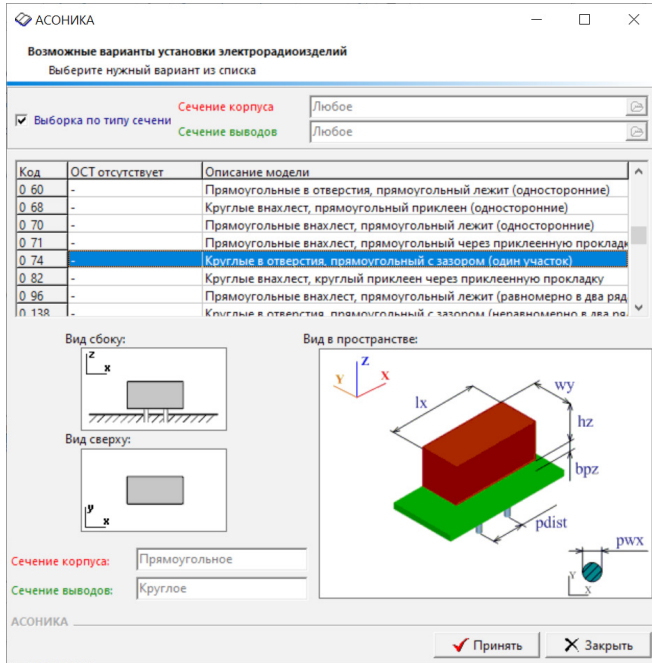


Рисунок 25 – Выбор варианта установки элемента

8) Вкладка «Надёжность» представлена на рис. 26. Для задания параметров по надёжности необходимо выбрать группу изделия, нажав на кнопку . Каждый класс ЭКБ имеет собственные группы изделия, каждая из групп изделия имеет собственные параметры.

9) Вкладка «Описание». В данном разделе приводится описание ЭКБ пользователем в произвольной форме, по мере необходимости.

Рассмотрим более детально вкладку «Установка» для микросхемы, для которой был использован способ формирования полной условной записи «без шаблона» (рис. 27).

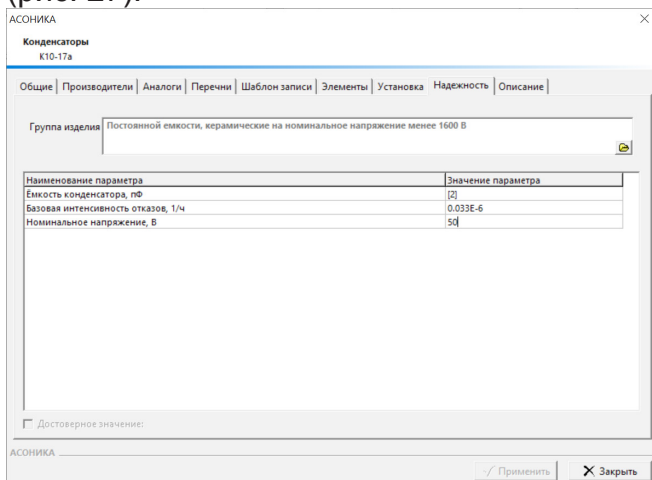


Рисунок 26 – Вкладка «Надёжность»

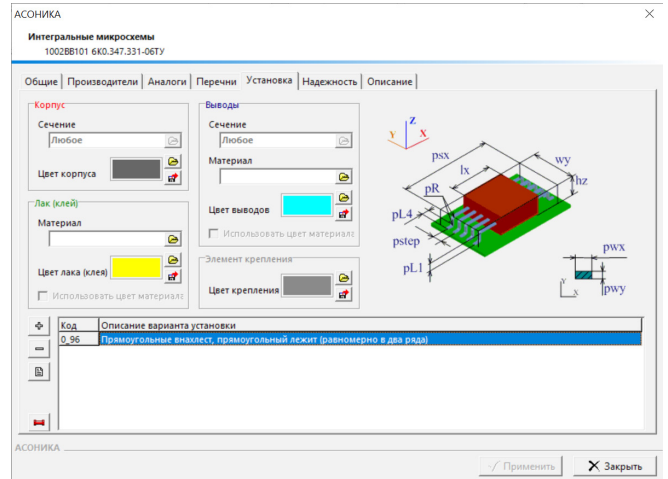


Рисунок 27 – Вкладка «Установка» для микросхемы

В пункте «Параметры ЭКБ» есть 4 вкладки: «Вариант установки» (рис. 28), «АСОНИКА (тепло-механика)» (рис. 29), «Модель ЭКБ» (рис. 30), «Изображение» (рис. 31).

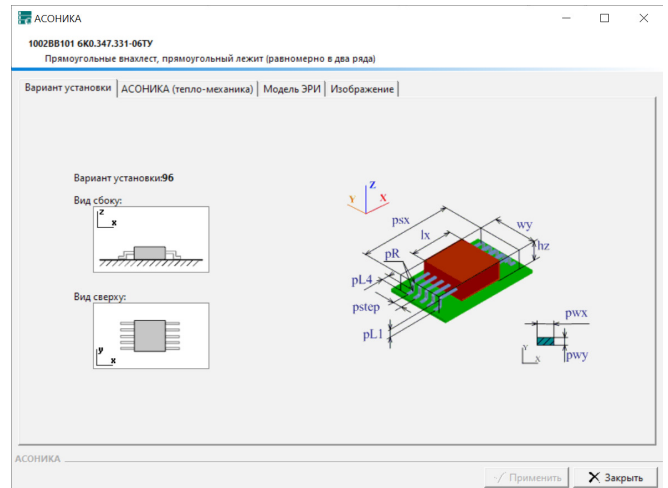


Рисунок 28 – Вкладка «Вариант установки» для микросхемы

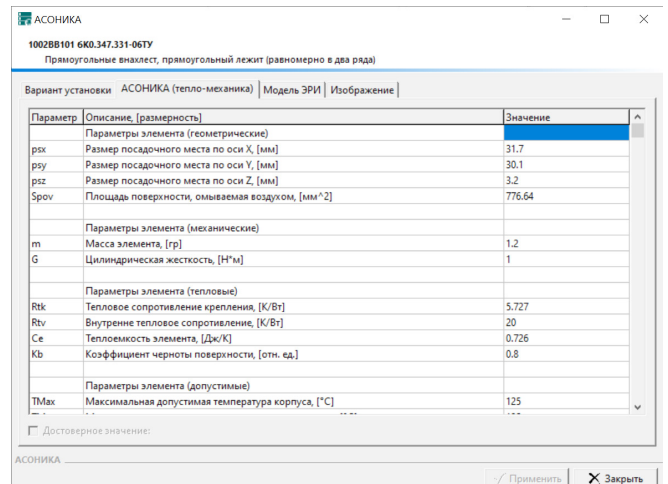


Рисунок 29 – Вкладка «АСОНИКА (тепло-механика)» для микросхемы

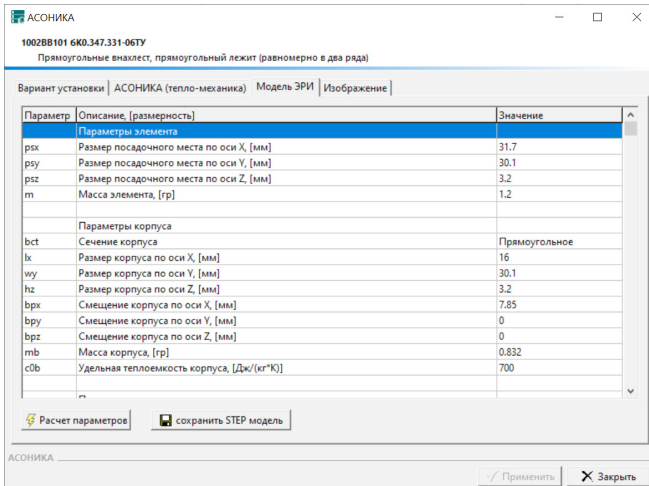


Рисунок 30 – Вкладка «Модель ЭКБ» для микросхемы

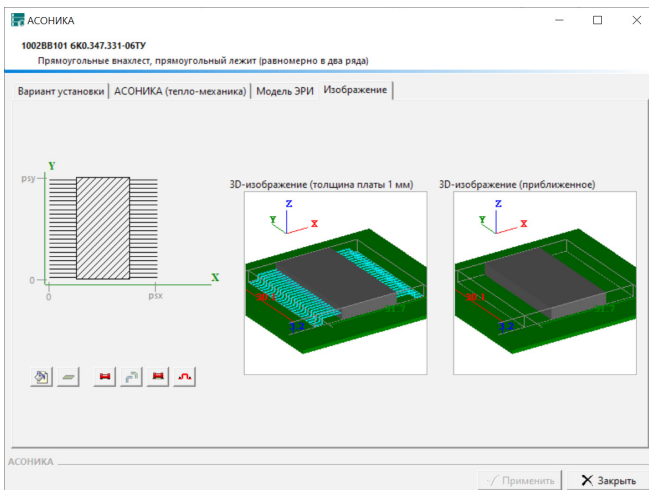


Рисунок 31 – Вкладка «Изображение» для микросхемы

По нажатии кнопки «Расчёт параметров» (рис. 30) вводится минимальный набор данных (рис. 32). Остальные данные рассчитываются по формулам, заложенным в АСОНИКА-БД. Также по введённым данным автоматически формируется изображение. Всё это позволяет значительно сократить трудоёмкость сбора и ввода данных.

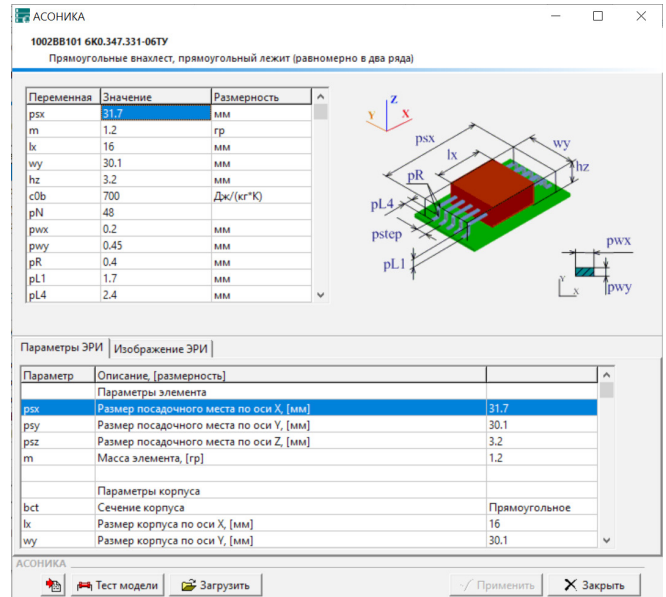


Рисунок 32 – Расчёт параметров

По нажатии кнопки «Сохранить STEP-модель» (рис. 30) автоматически создаётся STEP-модель любой ЭКБ, даже самой сложной (рис. 33). Фрагмент созданной STEP-модели микросхемы приведён на рис. 34. Всё это позволяет значительно сократить трудоёмкость создания 3D-модели ЭКБ и дальнейшего моделирования на тепловые и механические воздействия. Созданная автоматически STEP-модель однозначно не содержит ошибок пересечения и готова к тепловым и механическим расчётам в САЕ-системах, в том числе в подсистеме АСОНИКА-М-3D.

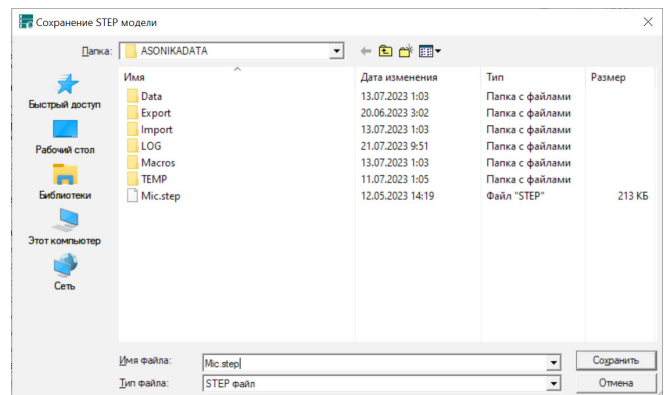



Рисунок 33 – Создание и сохранение STEP-модели

```

Mic.step – Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ASONIKA M-3D Model'),'2:1');
FILE_NAME('C:\ASONIKADATA\Mic.step',2023-05-12T14:19:41',(
'ASONIKA user'),('ASONIKA'),'Open CASCADE STEP processor 7.0',
'ASONIKA M-3D','Unknown');
FILE_SCHEMA(('AUTOMOTIVE_DESIGN { 1 0 10303 214 1 1 1 1 }'));
ENDSEC;
DATA;
#1 = APPLICATION_PROTOCOL_DEFINITION('international standard',
'automotive_design',2000,#2);
#2 = APPLICATION_CONTEXT(
'core data for automotive mechanical design processes');
#3 = SHAPE_DEFINITION_REPRESENTATION(#4,#10);
#4 = PRODUCT_DEFINITION_SHAPE(","#5);
#5 = PRODUCT_DEFINITION('design',"#6,#9);
#6 = PRODUCT_DEFINITION_FORMATION(","#7);
#7 = PRODUCT('1009EH201A_БК0.347.703ТУ','1009EH201A_БК0.347.703ТУ',"
#8);
#8 = PRODUCT_CONTEXT(","#2,'mechanical');
#9 = PRODUCT_DEFINITION_CONTEXT('part definition',#2,'design');
#10 = SHAPE_REPRESENTATION(",(#11,#15,#19),#23);
#11 = AXIS2_PLACEMENT_3D(",#12,#13,#14);
#12 = CARTESIAN_POINT(",(0.E+000,0.E+000,0.E+000));
#13 = DIRECTION(",(0.E+000,0.E+000,1.););
#14 = DIRECTION(",(1.0.E+000,-0.E+000));
#15 = AXIS2_PLACEMENT_3D(",#16,#17,#18);
#16 = CARTESIAN_POINT(",(0.E+000,0.E+000,0.E+000));
#17 = DIRECTION(",(0.E+000,0.E+000,1.););
#18 = DIRECTION(",(1.0.E+000,-0.E+000));
#19 = AXIS2_PLACEMENT_3D(",#20,#21,#22);
#20 = CARTESIAN_POINT(",(0.E+000,0.E+000,0.E+000));
#21 = DIRECTION(",(0.E+000,0.E+000,1.););
#22 = DIRECTION(",(1.0.E+000,-0.E+000));
#23 = ( GEOMETRIC_REPRESENTATION_CONTEXT(3)
    
```

Рисунок 34 – Фрагмент созданной STEP-модели микросхемы

4 Редактор вариантов установки ЭКБ

Окно редактора вариантов установки ЭКБ (рис. 35) открывается при нажатии кнопки  в главном окне АСОНИКА-БД (рис. 1).

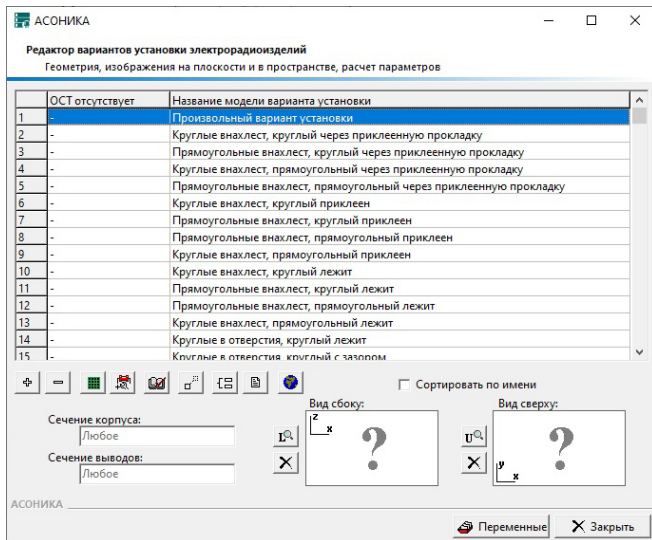







Рисунок 35 – Редактор вариантов установки ЭКБ

Для добавления новой модели варианта установки ЭКБ необходимо нажать кнопку  и ввести название модели, а также задать тип сечения корпуса и выводов. Кнопка  позволя-

ет создать вариант установки для микросхем с корпусом bga. Для данного варианта установки имеется специальный редактор BGA, который облегчает создание 3D-изображения в описании модели.

Для задания схематического изображения варианта установки сверху или сбоку необходимо нажать на кнопку  или  соответственно и в появившемся диалоговом окне выбрать файл изображения (формат *.bmp). Кнопка  позволяет сделать копию имеющегося варианта установки. Необходимо дать название новой модели. Кнопка  позволяет настроить дополнительные параметры конечно-элементной (КЭ) модели: удалить прокладки толщиной менее ... мм, дополнительная проверка пересечения объёмов, нестандартные выводы, удалить выводы, проверка вырожденности геометрии. Для формирования структуры модели необходимо нажать на кнопку . Для создания новых переменных и редактирования уже имеющихся необходимо нажать на кнопку . Описание (размерность) переменной и её коэффициент перевода в СИ редактируются с помощью кнопки . Для каждой переменной в структуре модели можно выбрать режим ввода, при необходимости задать SQL-запрос, дать описание полей.

Кнопка  в окне редактора вариантов установки ЭРИ (рис. 35) открывает «Описание модели» (рис. 36). Данный раздел предназначен для присвоения переменным значений как с помощью функций, задаваемых пользователем вручную, так и возможностью выбора численных значений параметров из базы данных.

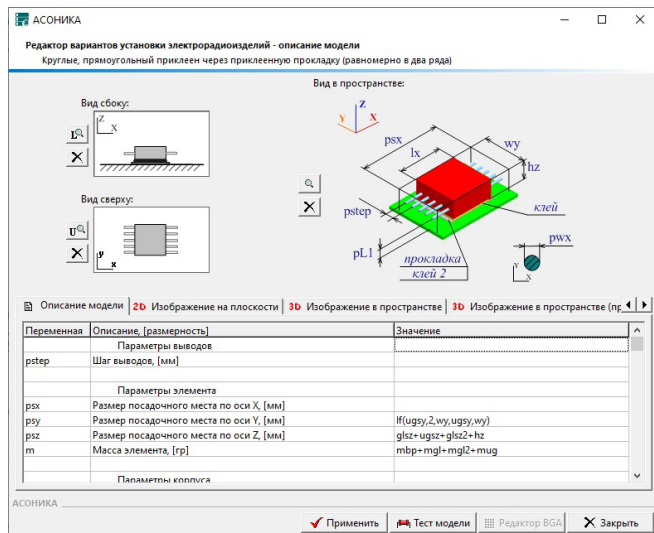








Рисунок 36 – Окно описания модели

После заполнения всех полей требуется нажать кнопку  «Применить», а затем кнопку  «Тест модели». В режиме «Тест модели» осуществляется введение численных значений для ранее заданных переменных. Для записи введённых численных значений параметров необходимо нажать кнопку  «Тест модели». Они отобразятся во вкладке «Параметры ЭКБ» (рис. 37). Также формируется геометрическая модель ЭРИ – необходимо перейти на вкладку «Изображение ЭКБ» (рис. 38). Для того, чтобы использовать введённый вариант установки ЭКБ, необходимо «привязать» его к какому-либо классу изделий. Для этого запускается справочник ЭКБ  и выбирается нужный класс. Далее осуществляется привязка введенного варианта установки к ранее существующим вариантам установки. Для этого необходимо загрузить «Возможные варианты установки ЭКБ» . Для добавления ранее введенного варианта установки необходимо нажать  и выбрать интересующий вариант и нажать  «Принять».

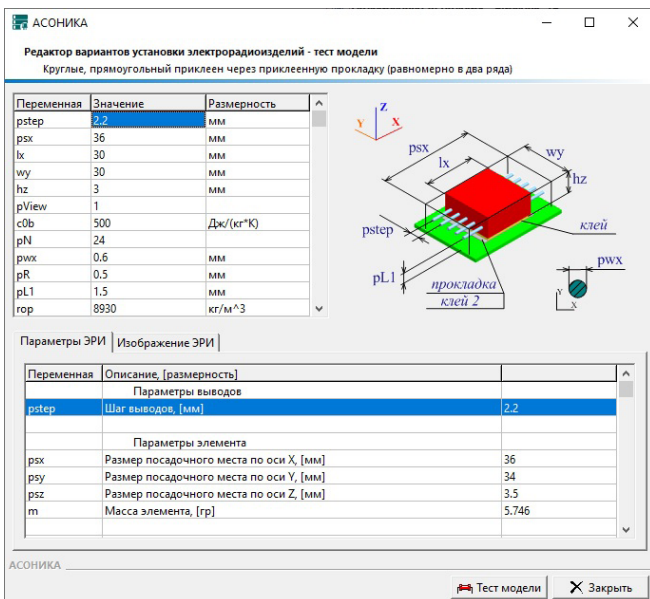


Рисунок 37 – Окно «Тест модели»

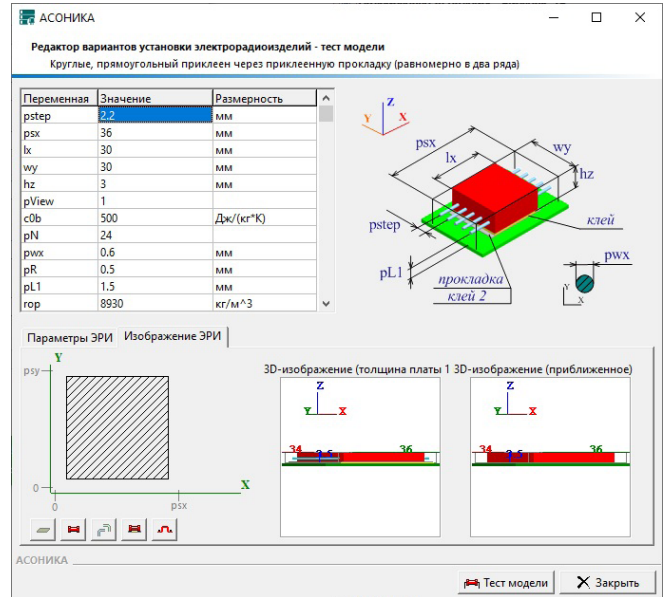



Рисунок 38 – Геометрическая модель ЭКБ

Корректный ввод варианта установки ЭКБ должен иметь следующую последовательность.

1. Запуск БД.
2. Выбор редактора вариантов установки изделий.
3. Создание нового варианта установки.
4. Ввод параметров в раздел «Структура модели».
5. Создание условно графического изображения.
6. Ввод параметров, характеризующих геометрию ЭКБ в плоскости.
7. Ввод параметров, характеризующих геометрию ЭКБ в пространстве.
8. Ввод параметров, характеризующих описание модели.
9. Применение введенного варианта установки в АСОНИКА-ТМ.

5 Менеджер моделей вариантов установки ЭКБ

Чтобы открыть менеджер моделей вариантов установки ЭКБ, необходимо нажать на кнопку  в главном окне АСОНИКА-БД (рис. 1). Откроется окно, показанное на рис. 39.

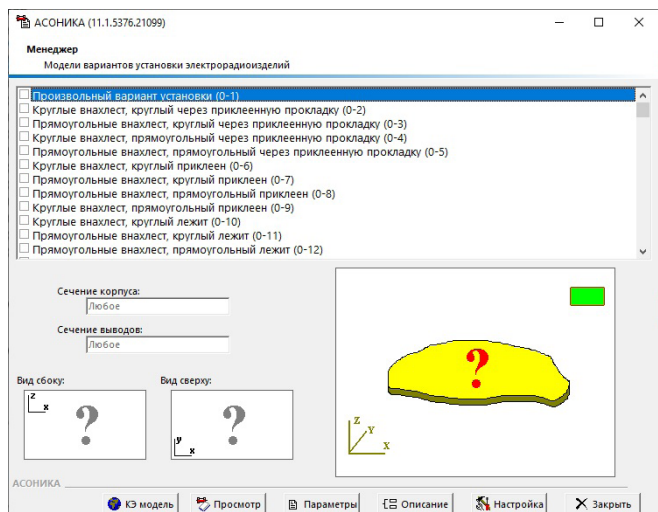


Рисунок 39 – Окно менеджера моделей вариантов установки ЭКБ

Чтобы открыть параметры построения КЭ модели, нужно нажать кнопку **КЭ модель**. В открывшемся окне можно флажками задать параметры КЭ модели: удалить прокладки толщиной менее ... мм, дополнительная проверка пересечения объёмов, нестандартные выводы, удалить выводы, проверка вырожденности геометрии.

При нажатии кнопки **Настройка** откроется окно настройки фильтров типов корпуса (без корпуса, кольцеобразное, круглое, любое, прямоугольное) и сечения выводов (без выводов, круглое, любое, прямоугольное). Также тут можно выбрать тип файла отчета (WORD или HTML). Если поставить флажок возле пункта «Визуализация генерации отчета», то можно будет наблюдать, как формируется отчет. За сортировку отображения списка моделей вариантов установки в окне менеджера отвечают свойства «Выборка по типу сечения» и «Сортировка по названию модели».

Чтобы просмотреть параметры модели вариантов установки ЭКБ, нужно флажком отметить нужную модель и нажать кнопку **Параметры**. Откроется документ MS Word. Чтобы просмотреть описание параметров, нужно нажать кнопку **Описание**. Откроется документ MS Word.

Чтобы отредактировать размеры и параметры, необходимые при расчёте, нужно нажать кнопку **Изменить**. Откроется окно, показанное на рис. 40. Кнопки **Импорт** и **Экспорт** позволяют импортировать и экспортировать

параметры из текстового файла соответственно. Кнопка **Печать** формирует документ Microsoft Word и заносит все указанные параметры в таблицу. Кнопка **Тест модели** позволяет провести проверку соотношений введённых параметров ЭКБ.

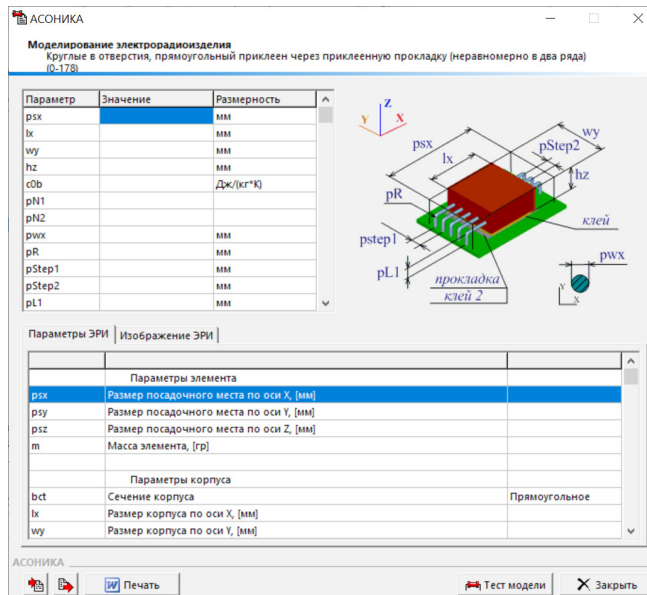


Рисунок 40 – Просмотр параметров модели варианта установки ЭКБ

6 Карты рабочих режимов ЭКБ

Чтобы войти в раздел «Карты рабочих режимов», необходимо в главном окне АСОНИКА-БД нажать на кнопку **Карты** (рис. 1). Окно раздела представлено на 41. Здесь представлен список карт рабочих режимов (КРР). Рассмотрим основные операции, которые можно производить в данном разделе.

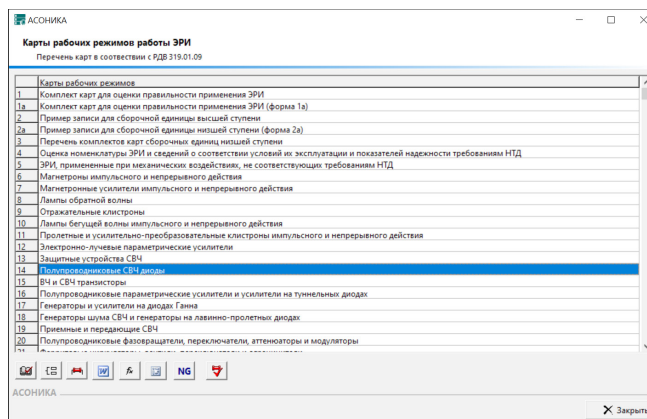






Рисунок 41 – Раздел «Карты рабочих режимов ЭКБ»


Кнопка **Импорт** позволяет переименовать

KPP. Для редактирования структуры формы необходимо нажать на кнопку . Появится окно, представленное на рис. 42. Рассмотрим основные операции в структуре формы.

Кнопки функциональные зависимости  и табличные зависимости  доступны для всех KPP, кроме 1-3 (связаны с титульным листом, оглавлением документа, перечнем сборочных единиц). Пример задания значения функций для резисторов приведён на рис. 43.

Предусмотрена возможность редактирования и копирования ЭКБ, ввода функциональных и табличных зависимостей параметров ЭКБ.

При нажатии на кнопку  (рис. 41) в MS Word распечатывается структура KPP.

Часто бывает, что пользователи работают только с разделом «Карты рабочих режимов ЭКБ», не используя раздел «ЭКБ». В результате в разделе ЭКБ оказываются не заполненными привязки. Чтобы связать ЭКБ со своими KPP, используют кнопку «Контроль базы данных» , которую можно видеть на рис. 41.

АСОНИКА

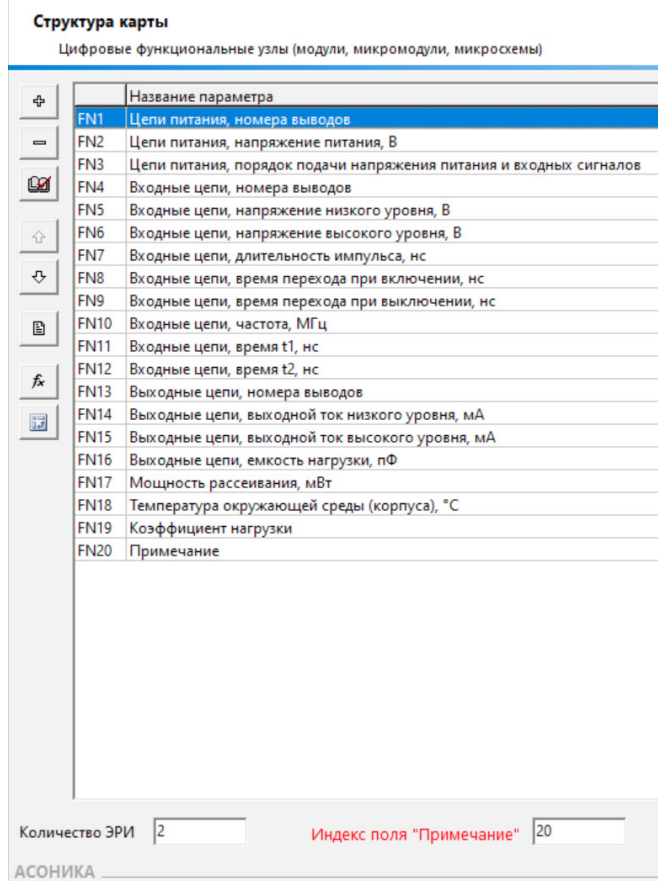


Рисунок 42 – Структура KPP (форма 65)

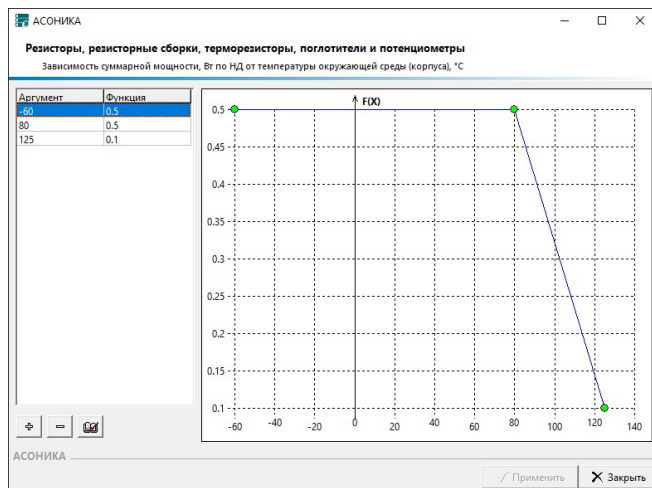



Рисунок 43 – Задание значений функции

Редактор графических номограмм предназначен для формирования и редактирования графических номограмм. Чтобы войти в редактор, необходимо нажать на кнопку , которую можно видеть на рис. 41. Окно редактирования номограммы представлено на рис. 29. Предусмотрена возможность редактирования графических зависимостей, редактирования графика и точек графика, а также задания формулы номограммы и занесение её в БД.

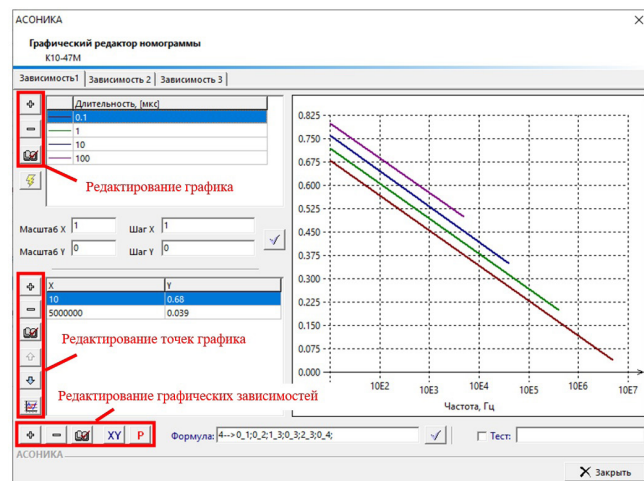



Рисунок 44 – Окно редактирования номограммы

7 Модели надёжности ЭКБ

Чтобы войти в раздел «Модели надёжности ЭКБ», необходимо в главном окне АСОНИКА-БД (рис. 1) нажать на кнопку . На рис. 45 изображено главное окно программы. Оно разделено на три части: в верхней части расположена лента команд; под лентой слева расположено дерево с видами

конструкций, который содержит список всех структур в соответствии с иерархией; в правой части окна расположены окна, позволяющие редактировать следующие составляющие базы данных: список параметров (вкладка «Математические модели»), справочники (вкладка «Справочники») выбранного элемента структур и таблицы зависимостей (вкладка «Таблицы зависимости»).

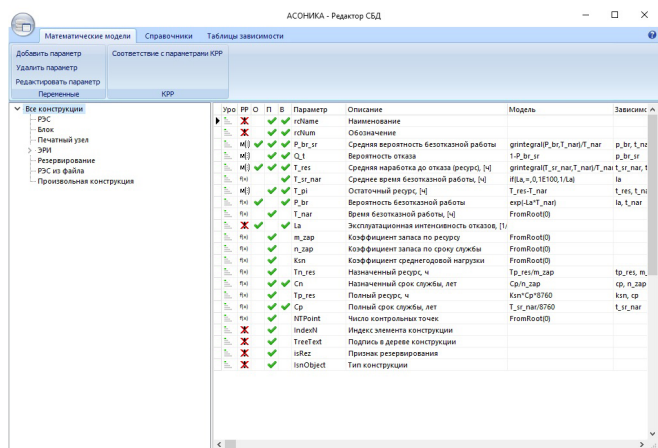


Рисунок 45 – Раздел «Модели надёжности ЭКБ»

На вкладке «Математические модели» можно просматривать и редактировать переменные выбранного вида конструкции. На вкладке «Справочники» можно просматривать и редактировать содержимое дополнительных справочников, а также создавать новые справочники и удалять их. На вкладке «Таблицы зависимости» можно просматривать и редактировать содержимое таблиц зависимостей, а также создавать новые таблицы и удалять их.

Чтобы добавить параметр в модель безотказности, необходимо на вкладке «Математические модели» нажать кнопку «Добавить параметр». Затем в появившемся диалоговом окне (рис. 46) указать все необходимые характеристики добавляемого параметра.

В поле «Имя» вводится обозначение параметра (задается латинскими буквами и является уникальным идентификатором, который в дальнейшем может использоваться как имя поля в таблицах или имя параметра в формулах).

В поле «Описание» вводится название параметра, которое будет отображено в АСОНИКА-Б. В поле «Режим редактирования» необходимо указать одно из значений:

- задается пользователем;
- выбирается из справочника;
- вычисляется;
- групповое вычисление;
- содержится в условной записи;
- табличная зависимость;
- системный параметр.

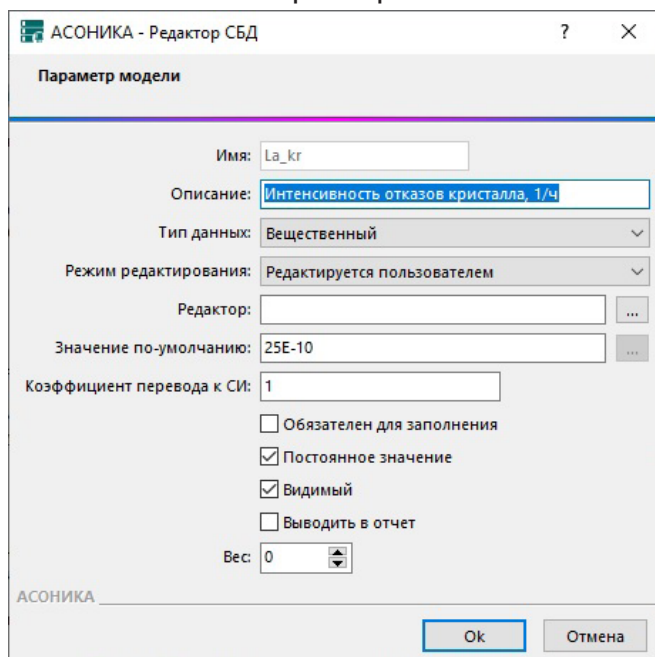


Рисунок 46 – Окно «Добавление параметра»

8 Радиаторы охлаждения

Чтобы открыть справочную базу радиаторов охлаждения, нужно нажать на кнопку главного окна АСОНИКА-БД (рис. 1). Далее выбрать необходимый нормативный документ из списка (нажав клавишу), а затем типоразмер (нажав клавишу), после выбора нажать клавишу «Принять». Откроется окно, показанное на рис. 47. Окно задания параметров типоразмера радиатора представлено на рис. 48.

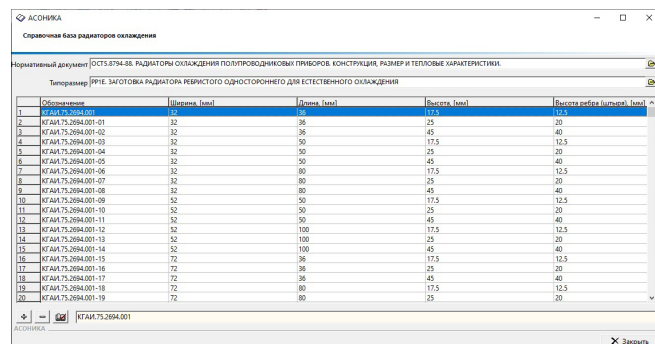


Рисунок 47 – БД радиаторов охлаждения

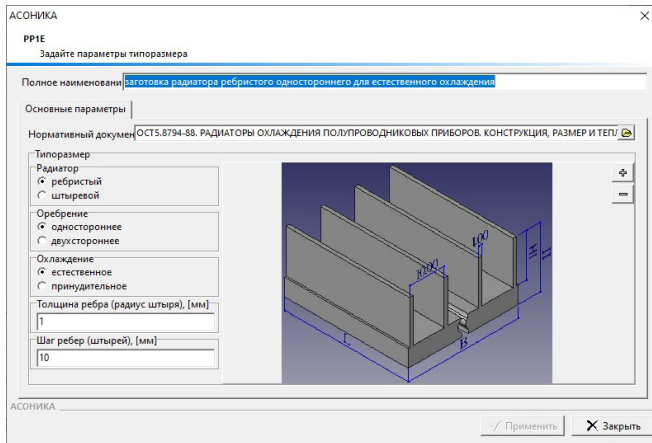



Рисунок 48 – Окно задания параметров типоразмера радиатора

9 Виброизоляторы

Чтобы открыть справочную базу виброизоляторов, нужно нажать на кнопку  главного окна АСОНИКА-БД (рис. 1). Далее выбрать необходимый виброизолятор из списка (рис. 49). Окно добавления виброизолятора представлено на рис. 50.

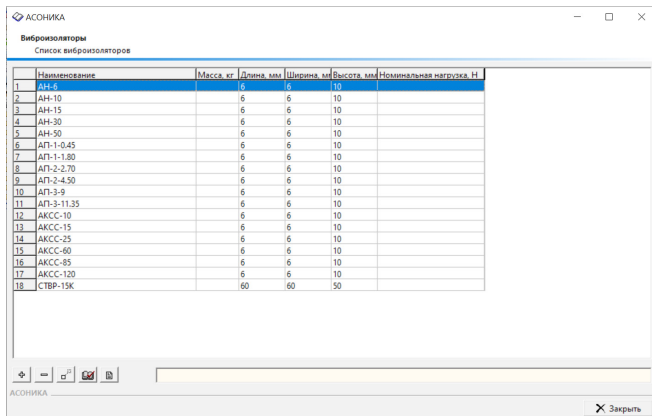


Рисунок 49 – Список виброизоляторов

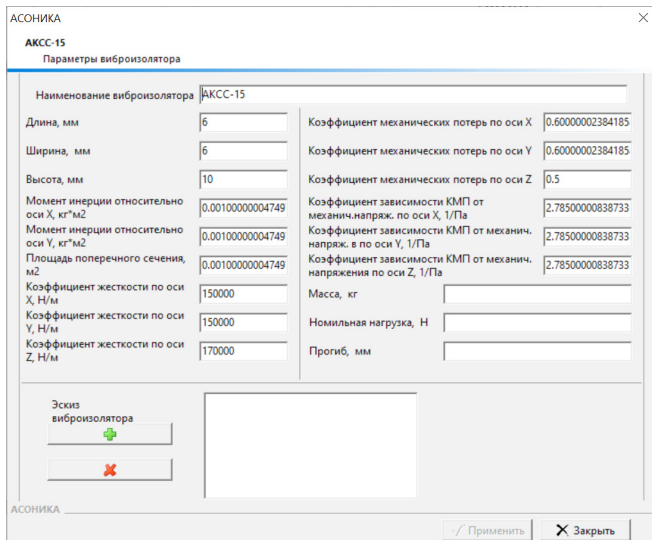



Рисунок 50 – Окно добавления виброизолятора

10 Синхронизация БД

Синхронизация БД – синхронизация двух баз данных ЭКБ, материалов, КРР, вариантов установки ЭКБ, радиаторов, виброизоляторов, классов, справочников, таблиц для всех подсистем системы АСОНИКА. Процесс синхронизации состоит в обновления имеющейся базы данных (конкретных разделов БД) на новую информацию из БД источника. При синхронизации производится сравнение наименований элементов в БД источника и получателя.

Для синхронизации справочных баз данных необходимо нажать на кнопку  «Синхронизация БД» в главном окне АСОНИКА-БД, показанном на рис. 1. Откроется окно программы «Синхронизация баз данных АСОНИКА» (рис. 51). БД получатель – существующая БД, БД источник – новая БД с изменениями.

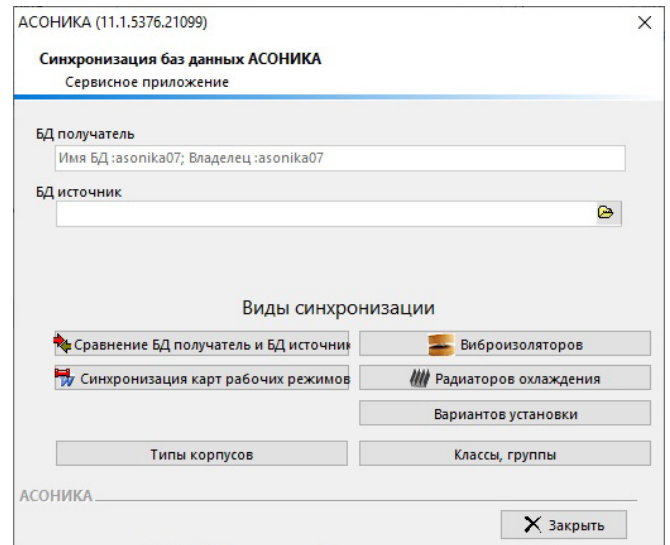



Рисунок 51 – Окно синхронизации БД АСОНИКА

Синхронизация осуществляется в следующей последовательности: сравнение баз данных и синхронизация ЭКБ; синхронизация КРР; синхронизация материалов. Остальные пункты можно синхронизировать в любом порядке.

Ход действий синхронизации следующий. Сначала необходимо указать путь к источнику БД. После того, как база данных источника загружена на сервер, выбирается, что конкретно необходимо синхронизировать (учитывая описанную ранее последовательность).

11 Классы, группы, параметры, входящие в полную условную запись

Чтобы открыть справочник классов ЭКБ, необходимо нажать на кнопку  в главном окне БД (рис. 1). Откроется окно, представленное на рис. 52. Предусмотрено редактирование групп класса, редактирование параметров полной условной записи класса ЭКБ, редактирование размерностей возможных значений параметров полной условной записи, редактирование возможных значений параметров полной условной записи, редактирование возможных вариантов установки ЭКБ выбранного класса (рис. 53). Предусмотрена также возможность редактирования списка КРР для выбранного класса ЭКБ.

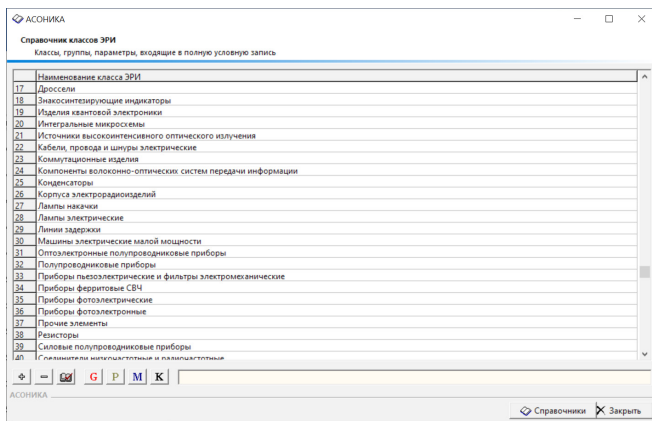


Рисунок 52 – Справочник классов ЭКБ

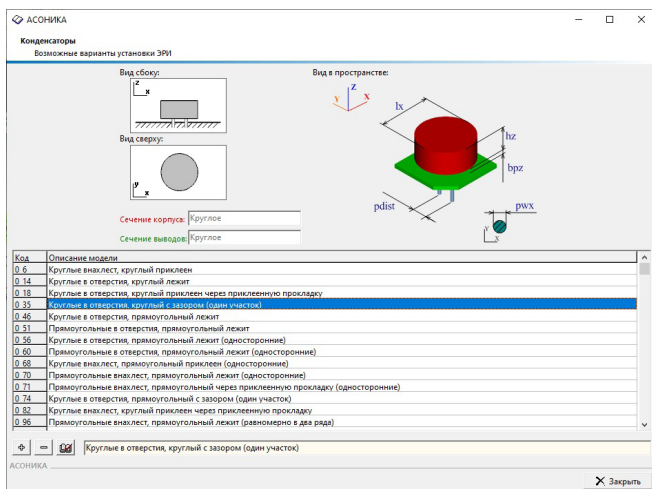


Рисунок 53 – Редактирование вариантов установки ЭКБ (конденсаторы)

12 Справочники

После нажатия на кнопку Справочники главного окна АСОНИКА-БД (рис. 1), от-

кроется окно, представленное на рис. 54. Пример окна для редактирования/заполнения значений элемента справочника приведен на рис. 55.

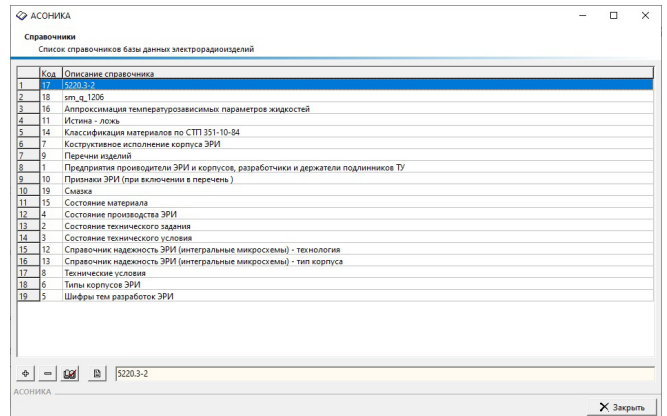


Рисунок 54 – Справочники БД ЭКБ

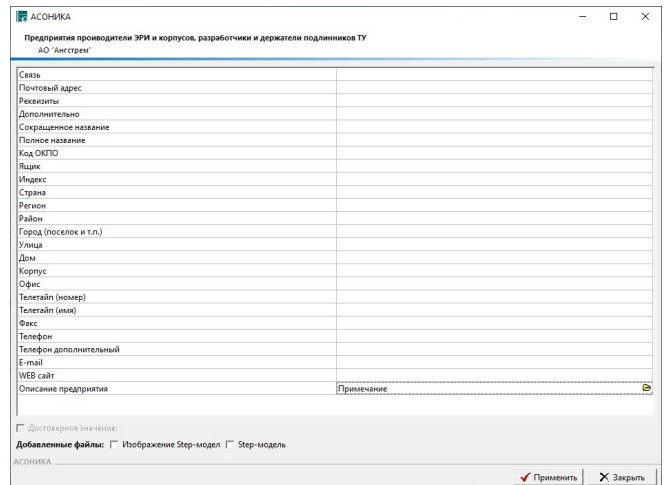







Рисунок 55 – Редактирование/заполнение значений элемента справочника

13 Таблицы

Чтобы открыть редактор таблиц, нужно нажать на кнопку  в главном окне АСОНИКА-БД, представленном на рис. 1. Откроется окно, представленное на рис. 56. Кнопка «Свойства таблицы»  позволяет выбрать справочник и настроить привязку к нему. Сначала выбирается «отношение таблицы» с помощью кнопки . На данный момент таблица может быть подключена к справочнику БД ЭКБ (в процессе разработки подключение таблиц к материалу, классу ЭКБ, группе ЭКБ, сокращенному типу ЭКБ, полной условной записи ЭКБ и варианту установки ЭКБ). Далее, после выбора отношения, становится доступна кнопка  в поле «Привязка», где выбирается необ-

ходимый вам вариант справочника. После нажатия на кнопку «Применить» таблица будет привязана. Настройка привязки таблицы показана на рис. 57. Предусмотрена также возможность просмотра и редактирования полей таблицы (используется кнопка «Структура таблицы» )

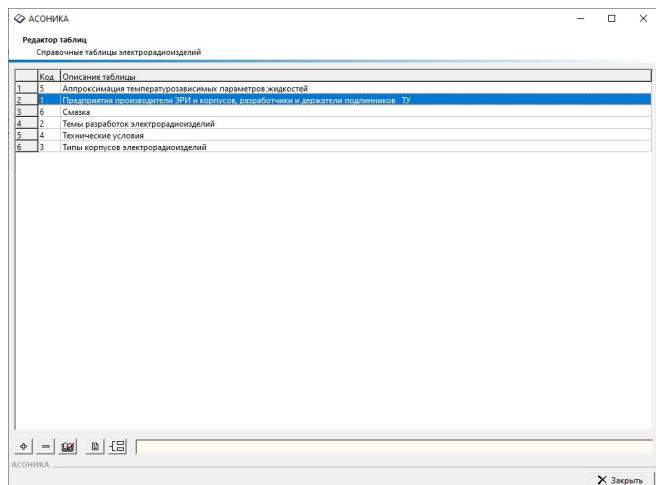


Рисунок 56 – Редактор таблиц (справочные таблицы ЭКБ)

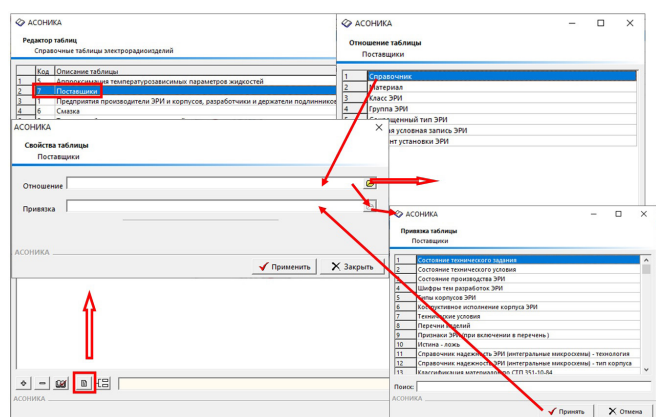


Рисунок 57 – Настройка привязки таблицы

14 Перспективы дальнейшего развития БД АСОНИКА

БД АСОНИКА и подсистема АСОНИКА-БД на данный момент решают все задачи, перечисленные во введении. Однако при необходимости они могут быть дополнены другими моделями и их параметрами, на-

пример, spice-моделями и их параметрами, радиационными моделями и их параметрами и т.д. Так как на создание БД АСОНИКА и подсистемы АСОНИКА-БД, а также на их интеграцию с другими подсистемами системы АСОНИКА и наполнение БД АСОНИКА параметрами ЭКБ и материалов ушло около 30-и лет, начинать такую работу с нуля для других моделей нет смысла. Тем более, как показал наш 30-летний опыт, государственную поддержку от государственных фондов для решения таких важных задач получить невозможно, хотя Правительство России ежегодно перечисляет им на подобные задачи огромные деньги, однако, к глубокому сожалению, при существующих правилах, которые кто-то придумал, они не доходят до истинных разработчиков САПР электроники, а растворяются в длинных коридорах формализма, некомпетентности и ненависти к России. И частные инвесторы вряд ли будут вкладывать свои деньги. Поэтому самый простой и дешёвый путь – добавлять новые структурные элементы в уже существующие БД АСОНИКА и подсистему АСОНИКА-БД.

Библиография

- [1] Автоматизированная система АСОНИКА для моделирования физических процессов в радиоэлектронных средствах с учетом внешних воздействий / Под ред. А.С. Шалумова. М.: Радиотехника, 2013. 424 с.
- [2] Шалумов М.А., Шалумов А.С. Виртуальная среда проектирования РЭС на основе комплексного моделирования физических процессов. – Владимир: Владимирский филиал РАНХиГС, 2016. 87 с.
- [3] Шалумов А.С., Шалумов М.А. Опыт применения автоматизированной системы АСОНИКА в промышленности Российской Федерации: монография. Владимир : Владимирский филиал РАНХиГС, 2017. 422 с.

Импортозамещение и достижение технологического суверенитета в области САПР электроники. Концепция системного развития САПР электроники

Рафилович Михаил Исаакович

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

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы импортозамещения САПР электроники. Применительно к САПР электроники уделено внимание операционным системам, офисным программам, открытому исходному коду, источникам финансирования, внедрению САПР электроники в промышленность и учебный процесс вузов России. Предложена концепция системного развития САПР электроники.

Ключевые слова: САПР электроники, операционные системы, офисные программы, открытый исходный код, источники финансирования, концепция, системное развитие.

Import substitution and achievement of technological sovereignty in the field of CAD electronics. The concept of system development of CAD electronics

Rafilovich M.I.

Abstract

The article deals with the problems of import substitution of CAD electronics. With regard to CAD electronics, attention is paid to operating systems, office programs, open source code, funding sources, the introduction of CAD electronics in industry and the educational process of Russian universities. The concept of systemic development of CAD electronics is proposed.

Keywords: CAD electronics, operating systems, office software, open source, funding sources, concept, system development.

Введение

Современное машиностроение неотделимо от электроники [1]. Проектирование электроники, как и всей промышленной продукции, 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, вертолёт, беспилотной авиационной системы, космического корабля, ракеты, подводной лодки, танка, автомобиля, атомной электростанции, компьютера, системы искусственного интел-

лекта и т.д. САПР электроники составляет особый класс информационных технологий, который требует самостоятельного подхода к решению проблем его импортозамещения.

1 Историческая справка

Советские САПР составляли около 80% мировых САПР [2]. До 1985 года Советский Союз был мировым лидером в области САПР и информационных технологий. В СССР всё аппаратное обеспечение (ЭВМ тип ЕС, СМ) и всё программное обеспечение, включая операционные системы (ОСРВ,

РАФОС), системы управления базами данных, программы инженерного анализа, АСУ, АСУТП **было собственной разработки**. Наиболее известными САПР в СССР были:

– **ПРАМ** – система проектирования печатных плат, включая базу данных всех электронных компонентов отечественного производства, предшественник используемых сегодня в России импортных САПР: PCAD, Mentor Graphics, Altium Designer, Cadence;

– **ИАНА** (разработка фирмы Туполева) – САЕ-система, применявшаяся в промышленности СССР для прочностного и теплового анализа, предшественник используемых сегодня в России импортных САПР: ANSYS, COMSOL, NASTRAN, COSMOS;

– **АСОНИКА** – система анализа электрических схем, их надёжности, теплового и прочностного анализа изделий электроники;

– **АСОН** (Прибалтика) – автоматизированная система создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий.

В СССР разработка САПР финансировалась исключительно государством. Денег давали столько, сколько надо (в США сейчас делается то же самое). Предприятия покупали САПР по очень низким ценам, вузы получали бесплатно. Таким образом, в советских вузах шла целенаправленная подготовка по САПР, которые применялись в промышленности СССР.

Начало кризису САПР в СССР и России положили 1985 – 1991 гг. В перестройку произошла смычка между финансовыми структурами предприятий и вновь появившимися бизнесменами из комсомола. Комсомольские лидеры участвовали в создании так называемых НТТМ (научно-техническое творчество молодежи). Через НТТМ советским предприятиям стали продаваться за большие деньги импортные САПР. При этом лидеры комсомола и представители финансовых структур предприятий получали огромные откаты из НТТМ. Стало невыгодно покупать отечественное программное обеспечение (ПО). Зато лидеры комсомола становились богатыми и многие из них стали на этих деньгах известными олигархами. Им на руку были действовавшие тогда законы и правила в отношении ПО. Предприятия должны были ежегодно тратить деньги на ПО не менее 10% от собст-

венного бюджета, который был исключительно государственным. Если тратили меньше, например, 8%, то в следующем году давали на эти цели только 8%. Таким образом, было выгодно покупать именно импортное ПО, так как оно было значительно дороже отечественного.

В результате засилья импортного ПО на российском рынке отечественное ПО стало не востребованным. В течение нескольких лет многие отечественные разработчики ПО разорились и исчезли с российского поля.

Таким образом, **исчезновение отечественных САПР было рукотворным**. А куда делись разработчики советских САПР? Они просто перешли в те самые САПР, которые мы сейчас называем импортными. Закон сохранения и превращения энергии гласит, что энергия ниоткуда не возникает и никуда не пропадает. Энергия лишь переходит из одного вида в другой. Достаточно привести такой факт. Во время посещения компании Microsoft (США) лидер КПРФ Геннадий Зюганов спросил Билла Гейтса о том, сколько выходцев из СССР работает в его компании. Основатель Microsoft, чтобы быть объективным, предложил присутствующим на встрече сотрудникам своей компании поднять руки тем, кто из СССР. 50 % подняли руки. Одним из основателей компании Mentor Graphics (США) является бывший советский гражданин из Одессы Серж Лифт. И таких примеров можно привести очень много.

В начале 90-х нас насильственно заставили перейти с советского аппаратного обеспечения и советского программного обеспечения на всё американское. В результате пропало большинство советских САПР электроники. И появились иностранные.

В середине 90-х нас также насильственно заставили перейти с американской операционной системы (ОС) DOS под также американскую ОС Windows. Российских САПР стало ещё меньше, так как у обнищавших российских разработчиков не было для этого средств.

Сегодня началась новая волна. Вынуждают переходить с американской ОС Windows на никому не известные так называемые российские ОС, что чревато очень опасными последствиями.

2 Операционные системы

Высока вероятность того, что чисто российских операционных систем как таковых нет. Возможно, всё, что выдаётся за российские ОС – это разнообразная модификация иностранного открытого кода Linux. Linux – это иностранная ОС. И даже её название записано латиницей, а не кириллицей. Как правило, практически все разработчики «российских ОС» не имеют понятия о системах автоматизированного проектирования (САПР) электроники. Это чистые «грантополучатели», которых сегодня развелось более 40-ка. Они никогда не ставили перед собой задачу совместимости со всеми САПР электроники, которые работают только под ОС Windows. Поэтому в «российских ОС» САПР электроники не работают. «Российские ОС» должны были изначально адаптироваться под уже десятки лет существующие САПР электроники, а не наоборот. У разработчиков «российских ОС» не хватает знаний и профессионализма и нет даже желания, чтобы сделать это.

В связи с этим ни на одном российском предприятии в процессе проектирования электроники не применяются «российские ОС». И никогда не будут применяться, пока разработчики «российских ОС» сами не приложат усилия к тому, чтобы сделать свои ОС совместимыми с САПР электроники, написанным под ОС Windows. Однако это маловероятно в обозримом будущем, так как они никогда не ставили перед собой такую задачу. Они делают ОС ради получения грантов и субсидий. И идут при этом по наиболее лёгкому пути, выдавая желаемое за действительное.

В настоящее время на российских предприятиях, разрабатывающих электронику, доминируют иностранные САПР электроники – Altium Designer, Cadence, Mentor Graphics и др., которые все без исключения работают только под ОС Windows. Полноценных российских аналогов этих САПР, покрывающих весь маршрут проектирования и производства современной электроники, включая необходимые базы данных электронной компонентной базы (ЭКБ), в том числе Spice-модели ЭКБ, пока нет. Надо учитывать, что выходные данные САПР

электроники автоматически передаются технологическому оборудованию для производства электроники с участием роботов. Всё оборудование иностранное и работает на иностранном ПО под ОС Windows.

Отдельные отечественные программные комплексы, являющиеся составными частями САПР электроники, например, по виртуальным испытаниям на внешние воздействия и надёжность, являются инструментом разработчика ЭКБ, печатных узлов и блоков электроники, которые в настоящее время проектируются под ОС Windows. И эти отечественные программные комплексы устанавливаются на тех же компьютерах, на которых уже установлены САПР для разработчиков ЭКБ, печатных узлов и блоков электроники, а не на новых отдельных компьютерах. Следовательно, нужно говорить о работе в той или иной ОС САПР электроники в целом, а не отдельной маленькой её части.

И самое главное, заявленные «российские ОС» не стандартизированы применительно к САПР электроники. А то, что не стандартизировано, не может применяться в промышленности. За 3 года существования технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники» в комитет не обратился ни один разработчик «российской ОС» с предложением подготовить ГОСТ Р с требованиями к отечественным ОС, на базе которых работают САПР электроники. В то же время в ТК 165 разрабатываются и вводятся в действие десятки национальных стандартов по виртуальным испытаниям электроники с помощью отечественных программных комплексов.

Процитирую п.10 «Операционная система» Дорожной карты развития «САПР электроники выше мирового уровня» [3] (на сегодняшний день это единственная в России действующая дорожная карта в области САПР электроники):

«Существует мировой эталон операционной системы. Все известные составные части САПР электроники настроены на этот эталон. Любая новая операционная система должна полностью функционально повторять эталон. Результатом тестирования лю-

бой новой операционной системы является работоспособность всех существующих составных частей САПР электроники в этой операционной системе. Таким образом, не САПР электроники подстраивается под новые операционные системы, а операционные системы подстраиваются под существующие САПР электроники, а точнее, под существующий мировой эталон операционной системы. Таким эталоном на данный момент является Windows. Адаптация САПР электроники под любую операционную систему, не совместимую с эталоном, должна осуществляться на 100% за средства Заказчика».

ОБЩИЙ ВЫВОД:

Когда будет разработана настоящая российская ОС, которая совместима со всеми САПР, работающими в ОС Windows, все российские пользователи САПР электроники автоматически смогут работать в этой ОС. Критерием того, что предлагаемая российская ОС действительно является операционной системой, будет то, что все используемые в России САПР электроники без доработок установятся в этой ОС и будут работать не хуже, чем в ОС Windows.

А до этих пор можно смело утверждать, что в России пока, к сожалению, нет собственной ОС, адаптированной под САПР электроники. Пока ОС Windows, к сожалению, остаётся вне конкуренции. Предприятиям нужна прежде всего САПР. А ставить на свой компьютер «российскую ОС», в которой не работает ни одна САПР, бессмысленно. Мы получим «мертвый» компьютер, который никому не нужен. ОС Windows даже в условиях санкций всегда будет доступна всем россиянам.

Поэтому сегодня и сейчас нужно не тратить бюджетные деньги на 40 «российских ОС» и не заставлять отечественные САПР электроники адаптироваться под них, а бросить все интеллектуальные силы (программистов в области ОС и в области отечественных САПР электроники) и бюджетные средства в виде целевого, на 100% государственного заказа (а не грантов и субсидий) на создание пол-

ного российского аналога ОС Windows, в которых все существующие в России САПР электроники будут устанавливаться и работать без каких-либо доработок.

3 Офисные программы

По разным оценкам, продукцией Microsoft до сих пор пользуются от 70% до 90% российских организаций. И если госорганы в последние годы активно переходили на ПО, которое не связано с недружественными государствами, то коммерческие структуры пересаживаются с Microsoft крайне неохотно [4].

Процитирую п.11 «Офисные программы» Дорожной карты развития «САПР электроники выше мирового уровня» [3] (на сегодняшний день это единственная в России действующая дорожная карта в области САПР электроники):

«Существует мировой эталон офисных программ. Все известные составные части САПР электроники при формировании отчётов настроены на этот эталон. Любые новые офисные программы должны полностью функционально повторять эталон. Результатом тестирования любых новых офисных программ является работоспособность всех существующих составных частей САПР электроники при использовании офисных программ для формирования отчётов. Таким образом, не САПР электроники подстраивается под новые офисные программы, а офисные программы подстраиваются под существующие САПР электроники, а точнее, под существующий мировой эталон офисных программ. Таким эталоном на данный момент является Microsoft Office. Адаптация САПР электроники под любую офисную программу, не совместимую с эталоном, должна осуществляться на 100% за средства Заказчика».

Так называемые российские аналоги Microsoft Office на самом деле как таковыми аналогами не являются. Это аналог пишущих машинок. Там нет самого главного – возможности программирования в VBA. И много чего другого.

Нужен на 100% государственный заказ (не грант и не субсидия) на создание полного российского аналога Microsoft Office, работающего на базе полного рос-

сийского аналога ОС Windows.

4 Открытый исходный код (OpenSource)

Программное обеспечение с открытым исходным кодом – это компьютерное программное обеспечение, выпускаемое по лицензии, по которой владелец авторских прав предоставляет пользователям права на использование, изучение, изменение и распространение программного обеспечения и его исходного кода кому угодно и для любых целей. Оно может разрабатываться совместно и публично. Программное обеспечение с открытым исходным кодом является ярким примером открытого сотрудничества, что означает, что любой дееспособный пользователь может участвовать онлайн в разработке, что делает число возможных участников неограниченным. Возможность изучать код способствует укреплению общественного доверия к программному обеспечению.

Программное обеспечение с открытым исходным кодом обычно легче получить, чем проприетарное программное обеспечение, что часто приводит к более широкому использованию.

После ухода западных вендоров ПО с российского рынка многим компаниям пришлось решать вопрос, чем его заменить. Одним из вариантов ответа стали решения на базе Open Source. Интерес к Open Source в России, как и во всем мире, наблюдается уже довольно давно – он возник гораздо раньше, чем были введены санкции. В свете ограничений преимущества решений с открытым исходным кодом стали еще актуальнее. Такие разработки не привязаны к конкретной стране или поставщику, их можно развивать и дорабатывать по своему усмотрению и практически невозможно заблокировать санкционными инструментами [5].

Тем не менее до сих пор бытует распространенное заблуждение о том, что Open Source – это бесплатная история. В представлении руководителей порой рисуется картинка, что кто-то что-то разработал, выложил в сеть, а ты берешь и пользуешься. Чисто формально это так – открытый исходный код потому и называется открытым. Но фактически решения на основе Open Source могут обой-

тись дороже, чем проприетарное ПО.

Мало взять сам код. Необходимо адаптировать решение к конкретной инфраструктуре, обеспечить его поддержку и развитие. И это при условии, что оно изначально работает, что никто не гарантировал. Разработчики вовсе не обязаны исправлять ошибки, дорабатывать решение, обеспечивать поддержку. Впрочем, такое тоже бывает, но уже на коммерческих условиях – например, по модели подписки. И в этом случае мы уже имеем дело не с чистым Open Source, а с коммерческим решением на его основе.

Если эту работу берет на себя сама компания, то ей потребуется дополнительный штат квалифицированных специалистов. Это повлечет за собой издержки, не говоря уже о том, что подобных сотрудников не так просто найти, особенно в нынешних условиях. Как вариант – можно обратиться в компанию, предоставляющую услуги технологического консалтинга, которая возьмет всю эту работу на себя. Но и здесь уже правильнее говорить о **гибридном решении**, чем об Open Source как таковом.

Сильная сторона проприетарного ПО – сервисная поддержка, которая приобретается «в коробке». Владелец решения, как правило, получает услуги по его интеграции, поддержке, обновлению и т.п. При этом он четко представляет объем расходов – разовых или регулярных в случае абонемента. Это позволяет ему оценить предложения разных поставщиков и сделать выбор.

В случае с Open Source это не работает. Без высокой экспертизы сложно понять, сколько средств придется вложить в доводку решения, в его подгонку под инфраструктуру и задачи. Возможно, обойдется малой кровью, а возможно – и вероятно – потребуются немало средств и усилий.

Еще одна слабая сторона Open Source, помимо вопросов техподдержки и функциональности, это отсутствие референса об успешных и неудачных внедрениях. Этот фактор может серьезно замедлить развитие Open Source в России. У одних клиентов решение будет работать прекрасно, а у других и вовсе не станет, и в итоге придется искать альтернативы. Но проблема опять-таки решается с помощью услуг технологического

консалтинга и составления программы цифровой независимости.

Несмотря на перечисленные недостатки, у Open Source есть серьезные перспективы для развития, но мейнстримом становится гибридный подход. Набирают популярность так называемые форки: от основной ветки Open Source отделяется доступный на данный момент код и дорабатывается уже собственными силами. Получившийся продукт продается вместе с услугами сервисной поддержки как коммерческое решение. Получается нечто среднее: продукт коммерческий, но в основе его лежит Open Source. И если подобные гибридные решения создают российские разработчики, то такие продукты практически неуязвимы перед санкциями.

Впрочем, этот тренд характерен не только для России – гибридный подход набирает обороты во всем мире. На сегодняшний день это устоявшаяся практика, позволяющая снизить себестоимость решение. И это происходит как раз за счет того, что часть берется из Open Source. Но вместе с тем клиент получает прозрачную «дорожную карту» и услуги техподдержки. Так что в инфраструктурном слое при гибридном подходе Open Source действительно помогает снизить негативный эффект, возникший из-за ухода западных вендоров.

Специфика САПР электроники допускает использование гибридного подхода, но в конечном итоге оно всё равно становится проприетарным ПО, каковыми сегодня являются практически все известные зарубежные САПР электроники. Электроника и САПР электроники имеют прямое отношение к национальной безопасности любого государства. И ни одна страна не будет вслепую использовать САПР электроники, скомпилированную из открытых кодов, а также не будет предоставлять её после доработки странам – конкурентам. Поэтому САПР электроники всегда будет проприетарным ПО. Кроме того, при проектировании электроники особенно важна точность моделирования электрических схем и конструкций, а в открытых кодах часто специально заложены ошибки, которые внешне не заметны, но дают неверные результаты и могут

привести к низким показателям надёжности.

При этом даже в случае гибридного подхода к работе над САПР электроники должны привлекаться профессионалы высочайшей квалификации. К сожалению, у ряда государственных фондов нет такого понимания и в течение многих лет бытует мнение, что не нужно разрабатывать собственное ПО САПР электроники, а можно просто его скомпилировать из открытых кодов. И они уже много лет (и даже сейчас) умышленно не выделяют деньги на разработку ПО САПР электроники настоящим профессионалам. В результате такой многолетней практики этими деятелями нанесён колоссальный ущерб российской экономике – нет собственных САПР электроники, разрабатываемая электроника часто является ненадёжной, часто происходят катастрофы важнейших подвижных объектов из-за ненадёжности электроники, для которой не проводились виртуальные испытания и для которой отсутствуют цифровые двойники. Вся ответственность за это ложится на руководителей и сотрудников этих государственных фондов.

5 Источники финансирования САПР электроники

Гранты, субсидии, кредиты для разработки САПР электроники практически не доступны, исходя из правил их получения. Возникает ощущение, что авторы этих правил сознательно их разработали, чтобы не допустить получение финансирования потенциальным разработчикам САПР электроники с большим опытом, чтобы одновременно решить 3 задачи: 1) деньги получили «свои» компании (коррупция); 2) не были созданы отечественные САПР электроники и, тем самым, был нанесён удар по критической информационной инфраструктуре в части электроники (госизмена); 3) продвигать на российском рынке импортные САПР электроники (коррупция и госизмена). Но это только мои предположения. Возможно, всё банально просто. И причиной является обычное разгильдяйство и некомпетентность «ответственных» чиновников. По моим данным, после 2014 года и

особенно после начала Специальной военной операции сотни важнейших проектов в области САПР электроники (прежде всего военной, космической и авиационной) были отклонены практически всеми государственными фондами без какого-либо нормально обоснования. Особенно рьяно отклоняли проекты, направленные на укрепление обороноспособности Российской Федерации. А те фирмы, которые были профинансированы, ничего не создали. Миллиарды государственных рублей ушли впустую с точки зрения интересов государства и, прежде всего, обороноспособности.

Это ещё раз подтверждает правильность п.16 Дорожной карты развития «САПР электроники выше мирового уровня» [3] (на сегодняшний день это единственная в России действующая дорожная карта в области САПР электроники): «Финансирование должно быть только бюджетным и только целевым. Нет смысла финансировать начинающих разработчиков. Им надо присоединяться к существующим уже известным коллективам ... Показатели только технические, выручка не должна быть показателем на период разработки. В 2020 году можно уже внедрить САПР электроники мирового уровня. В 2020 – 2022 гг. развить САПР электроники до уровня выше мирового. При этом не ждать окончательной разработки всей САПР, а запускать каждую подсистему по мере её разработки. **То есть при разработке и внедрении САПР электроники целью должна быть не прибыль, а экономическое развитие. Не всё должно быть рыночно.**

Наглядный пример, демонстрирующий абсурдность правил предоставления грантов, представлен на рисунке 1. Письмо из Московского инновационного кластера (cluster@mos.ru) направлено в ООО «НТЦ «Энергомодель» (energo@energomodel.com). Там предлагается получить до 250 млн рублей в рамках поддержки технологических компаний. И главным условием получения гранта является не опыт в разработке и достижения в данной предметной области, а **«выручка за последний отчётный год – не менее 300 млн. и не более 10 млрд. рублей»**. Какое отношение имеет выручка к решению важнейших государственных задач? Наоборот,


реальные разработчики САПР электроники имеют небольшую выручку из-за отсутствия государственного финансирования этого направления во все предыдущие годы. А продажи ПО в предыдущие годы были практически невозможно из-за засилья импортных САПР электроники на промышленных предприятиях и вузах России. **То есть поддержка предоставляется только миллионерам и миллиардерам!!! Так у них уже есть миллионы и миллиарды!!! Зачем им ещё поддержка в виде 250 млн рублей?! Или любые деньги никогда не лишни?! А в это время потенциальные разработчики отечественных САПР электроники страдают от безденежья и не могут реализовать свои идеи в интересах укрепления обороноспособности Родины! И это происходит сегодня и сейчас. Письмо датировано 17 июля 2023 года.**

Далее смотрим в этом письме приоритетные технологии, по которым осуществляется грантовое финансирование (рисунок 2). Как видим, там нет ни электроники, ни САПР электроники. Правда там есть «Новое индустриальное программное обеспечение», но попадает туда САПР электроники или нет – не понятно. Зато отдельной строкой выделено «Новое общесистемное программное обеспечение». То есть не хватает 40-ка ОС. Давайте разработаем 41-ю?!

Результаты предыдущего грантового финансирования ошеломляющие (рисунок 3). Да только новых САПР электроники не появилось. До сих пор нет базы данных Spice-моделей отечественной ЭКБ, без которой невозможны виртуальные испытания отечественной электроники по электрическим характеристикам. А значит невозможно создать действительно надёжную электронику!

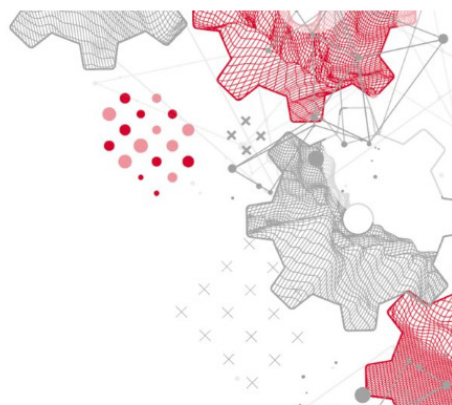
И подобная ситуация по всем другим государственным фондам. Чтобы изменить ситуацию в области САПР электроники, нужно в корне менять модель и правила финансирования. И предлагать их должны не чиновники, а сами опытные разработчики САПР электроники, которые еще пока остались в России (не умерли, не эмигрировали, не отошли от дел). Но нужно торопиться, так как их осталось очень мало.

Получите до 250 млн рублей в рамках поддержки технологических компаний

- 
 Московский инновационный кластер 17 июля, 19:46
 Кому: energo@energomodel.com



Грантовая программа «доращивания»
 технологических компаний под требования
 крупных российских корпораций



Планируете запустить или масштабировать импортозамещающее производство или разработать инновационную продукцию под задачи российских корпораций? Тогда воспользуйтесь грантовой программой «доращивания» от АНО «Центр поддержки инжиниринга и инноваций».

Программа позволяет технологическим компаниям получить от 25 млн до 250 млн рублей грантовой помощи. Подайте заявку **до 11 сентября 2023 года**

[Подать заявку](#)

Условия получения:

Грантополучатель

- > Выручка за последний отчетный год – не менее 300 млн и не более 10 млрд рублей
- > Наличие корпорации-заказчика, заинтересованной в создаваемом продукте
- > Не аффилирован с корпорацией-заказчиком
- > Имеет успешный опыт внедрения технологических продуктов

Корпорация-заказчик

- > Выручка не менее 40 млрд рублей за последний отчетный период
- > Наличие в структуре корпорации Координационного совета
- > Готовность заключить соглашение с оператором программы
- > Готовность участвовать в отборе проектов и приемке результатов

Рисунок 1 – Письмо в ООО «НТЦ «Энергомодель» по поводу грантов

Участие в программе в качестве корпораций-заказчиков принимают 22 российских корпорации, в том числе: ПАО «Газпром», ОАО «РЖД», ПАО «НК «Роснефть», ГК «Росатом», АО «ОСК», АО «ОДК», ПАО «ГМК «Норникель», ПАО «Россети», ПАО «КАМАЗ» и другие

Приоритетные технологии:

Искусственный интеллект	Квантовые вычисления	Квантовые коммуникации
Современные и перспективные сети мобильной связи	Новое общесистемное программное обеспечение	Новое промышленное программное обеспечение
Технологии новых материалов и веществ	Ускоренное развитие генетических технологий	Развитие водородной энергетики и другие

Рисунок 2 – Приоритетные технологии, по которым осуществляется грантовое финансирование



Рисунок 3 – Результаты предыдущего грантового финансирования

6 САПР электроники в промышленности России

В результате действий государственных фондов, описанных в п.5, в России осталось 2-3 компании, причём частные, которые реально разрабатывают САПР электроники. Это энтузиасты, которые ведут все разработки за собственный счёт, без государственной поддержки, хотя государство выделяет огромные деньги на развитие отечественного ПО и импортозамещение. Только распределяются эти деньги фондами неправильно.

Аналитический центр TAdviser совместно с фондом «Сколково» и «Инновационным центром Ай-Теко» создали карту компаний-разработчиков решений для цифровизации промышленных предприятий (рисунок 4). В ходе работы над картой были

сегментированы основные бизнес-процессы промышленных предприятий, собраны и распределены по сегментам поставщики, предлагающие решения для их цифровизации. В состав карты вошли 4 больших сегмента, 12 функциональных блоков и 179 уникальных наименований компаний.

С учётом того, что в России осталось всего несколько организаций – разработчиков САПР электроники (ООО «ЭРЕМЕКС», ООО «НИИ «АСОНИКА» и др.), ситуацию можно **признать критической. Все существующие меры государственной поддержки в виде грантов и субсидий для этих организаций не применимы.** Если эти организации исчезнут, Россия навсегда потеряет отечественные САПР электроники, что может привести к **утрате национальной безопасности страны.**

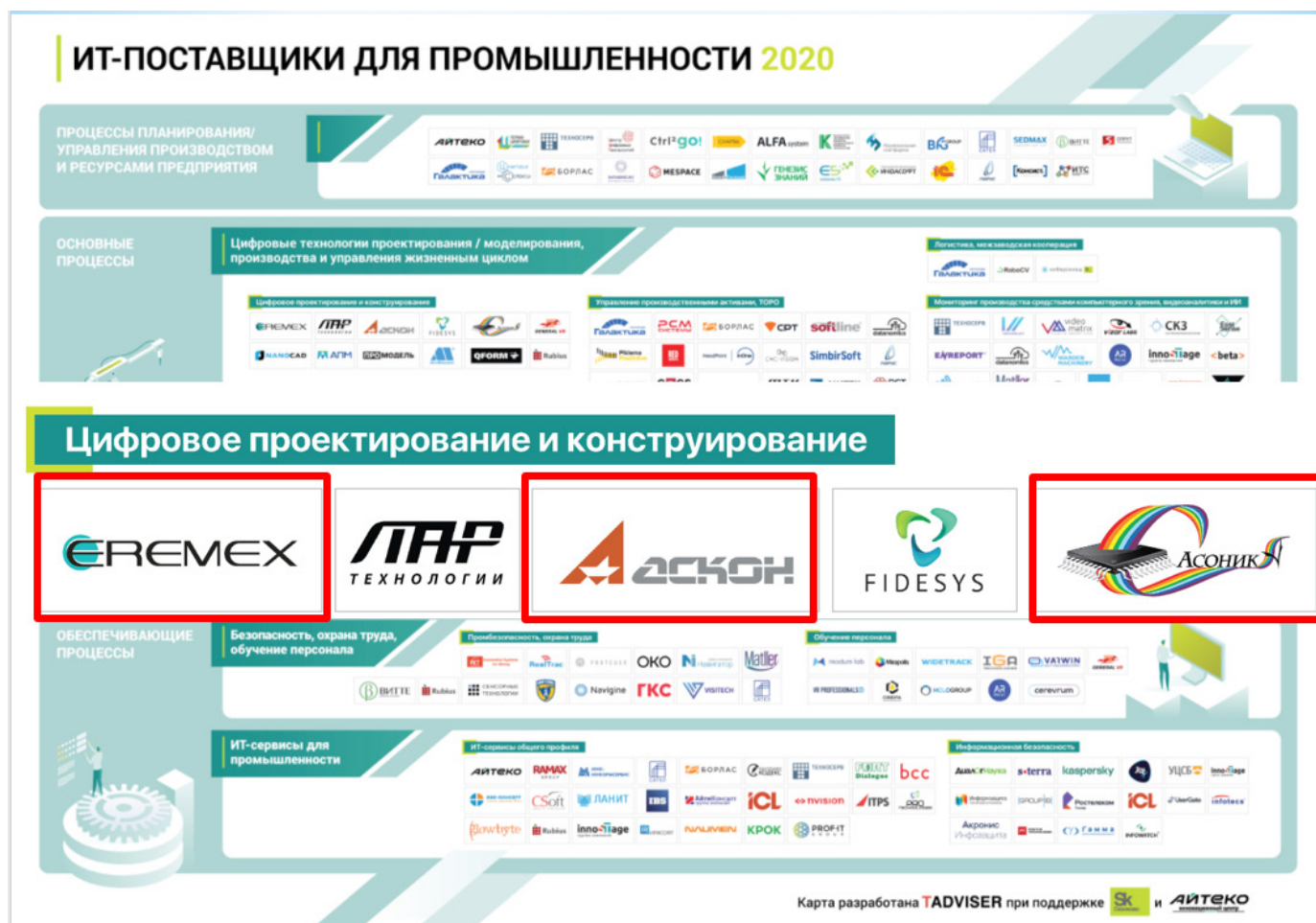


Рисунок 4 – Фрагмент карты компаний-разработчиков решений для цифровизации промышленных предприятий (https://www.tadviser.ru/images/9/9e/ITsolutions_ver_fin.jpg)

Маркетплейс российского программного обеспечения показывает только 1

САПР электроники – систему АСОНИКА (рисунок 5).

The screenshot shows a web browser displaying the russoft.ru website. The page is titled 'Маркетплейс российского программного обеспечения' (Marketplace of Russian software). The main content area features a card for 'АСОНИКА – система обеспечения надежности и качества аппаратуры' (ASONIKA – reliability and quality assurance system for equipment). The card includes a logo, a 'На сайт программы' (Go to program website) button, and details such as the category 'Эффективность бизнеса' (Business efficiency), the developer 'ООО "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ "АСОНИКА"', and supported OS 'Windows'. A list of foreign analogs (Ansys, NASTRAN, COSMOS, COMSOL) is also provided. The left sidebar contains a 'Категории' (Categories) section with various business and industry-related options.

Рисунок 5 – Маркетплейс российского программного обеспечения: подкатегория «Средства проектирования, инженерного анализа» (<https://russoft.ru/details/185>)

В условиях дефицита отечественных САПР электроники организаторы российских выставок и конференций в области САПР электроники, цифровой трансформации промышленных предприятий, импортозамещения систем западных вендоров CAD/CAM/CAE/PLM, покинувших рынок РФ, инженерной подготовки производства (CAE), создания цифровых двойников на российских предприятиях требуют с немногочисленных разработчиков САПР электроники, которые остались в России, оргвзносы (часто в очень больших размерах). **Деньги за отданное личное время в интересах оборонно-промышленного комплекса!** Организаторы этих конференций и выставок не понимают, что разработчики САПР электроники – это не бизнесмены, а интеллектуалы высочайшего уровня, которым надо платить деньги за их доклады и презентации, за их высочайший вклад в промышленность нашей Родины, а не брать с них деньги. Пора прекращать эту дурную практику. Вот, например, условия участия в одной из таких конференций в 2023 году: «Участие в конференции для представи-

телей заказчиков является бесплатным. **Стоимость участия для представителей системных интеграторов и вендоров – 20000 руб. за одного представителя.** То есть богатые заказчики участвуют бесплатно, а нищие разработчики – за деньги! Это абсурд. Ответ на это может только один: «В платных конференциях не участвуем! Сами придумали эти правила, сами их выполняйте. Выступайте сами!».

7 САПР электроники в вузах России

Большинство профильных вузов не приобретают и не используют при подготовке специалистов отечественные САПР электроники, в том числе по государственным программам «**Приоритет 2030**» и «**Передовые инженерные школы**».

Напомним, что базовую часть гранта размером 100 млн руб. в рамках программы «**Приоритет 2030**» получил каждый из 106 российских университетов, отобранных ранее в программу [6]. Общее финансирование федеральной программы «Приоритет 2030» до конца 2022 года составило более

47 млрд руб. Из них финансирование по базовой части гранта составляет более 21 млрд руб. за два года, по специальной части гранта – более 26 млрд руб. Получателями специальной части гранта программы «Приоритет 2030» стали 46 университетов 22 субъектов всех федеральных округов страны. Победители первой группы дополнительно к базовой части гранта до конца 2022 года получили 994 млн. руб., второй – 426 млн. руб., третьей – 142 млн. руб.

В конце 2021 года было объявлено, что в России создадут 30 передовых инженерных школ в партнерстве с высокотехнологичными компаниями [7]. Как сообщил заместитель председателя Правительства России Дмитрий Чернышенко, эта работа будет вестись в рамках стратегической инициативы **«Передовые инженерные школы»** (ПИШ), утверждённой на заседании Правительства под председательством премьер-министра Михаила Мишустина. Вице-премьер отметил, что основная цель инициативы – подготовить востребованные квалифицированные кадры для высокотехнологичных секторов экономики, ориентированных на экспорт. В настоящее время высокотехнологичные компании, работодатели фиксируют у выпускников вузов критический дефицит современных профессиональных компетенций. Новые же инженерные кадры будут владеть наукоемкими, цифровыми и мультидисциплинарными технологиями, знать экологические стандарты и запросы экономики, уметь работать в команде.

«Создание передовых инженерных школ – более чем актуальная для экономики инициатива. Высококвалифицированные кадры, обладающие уникальными компетенциями в области программирования, передовых производственных технологий, ИИ способны осуществить рывок и обеспечить мировое лидерство России по ключевым направлениям. К концу следующего года преподаватели вузов, профессора и сотрудники управленческих команд передовых инженерных школ пройдут профессиональную переподготовку, специально к запуску проекта. До конца 2024 г. ее пройдут около 5 тыс. человек, а к 2030 г. число

вырастет в два раза – до 10 тыс. преподавателей и сотрудников передовых инженерных школ», – сказал Дмитрий Чернышенко.

Подготовка будет вестись по самым актуальным направлениям развития техники и технологий: цифровое проектирование и моделирование, разработка и применение цифровых двойников, передовые производственные технологии, новые материалы и аддитивные технологии, робототехника и мехатроника, технологии сенсорики, технологии беспроводной связи и интернета вещей, искусственный интеллект и большие данные, беспилотные транспортные системы.

Каждый из отобранных университетов в 2022-м должен был получить гранты на сумму почти в 84,6 млн рублей. Большую часть этих денег – 77,8 млн. – вузам выделили на поддержку программ развития ПИШ. Ещё по 6,3 млн. университеты могли потратить на повышение квалификации и переподготовку кадров. Кроме того, каждому грантополучателю выделили по 400 тысяч на обеспечение прохождения практики и стажировок для талантливых участников технологической магистратуры. На сайте ПИШ уточняется, что помимо более чем **2,5 млрд. рублей**, которые вузам выделило государство, они получают софинансирование от высокотехнологичных компаний. **Оно составит 3,8 млрд. на 2022-й.**

Таким образом, по государственным программам «Приоритет 2030» и «Передовые инженерные школы» суммарно вузы России получили в 2022 году более 53 млрд. руб.! Однако в основном потратили их на что угодно, но не на приобретение российских САПР электроники.

И вдруг оказалось в 2023 году, что частные российские компании должны бесплатно или почти бесплатно предоставлять вузам ПО, разработанное за собственные средства этих самых частных компаний, которые не получили, в отличие от вузов, ни одной копейки от государства на создание этого ПО [8]. То есть вузы получили огромные деньги от государства и не купили на них российское ПО, а частные компании – разработчики САПР электроники ничего не получили. Ранее наши вузы охотно покупа-

ли за государственные деньги импортное ПО. А теперь частные компании должны бесплатно или почти бесплатно отдать вузам свои разработки, в которые они вложили исключительно собственные средства. Для частных компаний – разработчиков САПР электроники нет никакой разницы, кто является покупателем их ПО – предприятия или вузы. Какая выгода продавать вузам своё ПО, в которое вложены исключительно собственные средства, по льготным ценам? Вероятность того, что лучшие выпускники вузов, изучившие это ПО, затем пойдут на предприятия, а потом эти предприятия по рекомендациям этих выпускников купят это ПО, близка к нулю, так как лучшие выпускники вузов не идут на российские предприятия электронной промышленности, а идут туда, где много платят. Другое дело, если это ПО разработано исключительно за государственные деньги. Тогда можно передавать его вузам по льготным ценам. Также надо учитывать, что переданное вузам ПО САПР электроники требует поддержки, которая может оказаться сравнимой или дороже стоимости ПО. Кто будет оплачивать эту поддержку? Кто будет платить зарплату сотрудникам частных организаций за работу с вузами? Здесь нужны новые и чёткие правила. И почему поднимается вопрос о льготах только при покупке ПО? **Разве вуз по льготным ценам покупает у частных компаний столы и стулья, компьютеры, оборудование и др.?** Чем хуже компании – разработчики ПО относительно всех остальных компаний, заказчиками которых являются вузы? **Что за такое унижительное отношение к разработчикам ПО?** И это при том, что существует дефицит кадров в области эксплуатации и разработки САПР электроники. Минцифры России оценивает дефицит кадров в ИТ-отрасли в РФ в 500-700 тыс. человек, сообщил министр цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Максуд Шадаев [9].

8 Концепция системного развития САПР электроники

За последние 30 лет было проведено огромное количество совещаний на различных уровнях по созданию, развитию и

внедрению отечественных САПР электроники. К сожалению, все решения остались только на бумаге. Так и не была создана государственная Дорожная карта развития российских САПР электроники. Есть только единственная реально действующая Дорожная карта развития «САПР электроники выше мирового уровня» [3], разработанная в инициативном порядке ООО «НИИ «АСОНИКА» в 2020 году. На реализацию данной Дорожной карты из государственного бюджета не выделено ни копейки. Все разработки ведутся исключительно за собственные средства нескольких частных компаний – разработчиков САПР электроники, которые остались в России, в интересах оборонно-промышленного комплекса и других отраслей народного хозяйства, так как электроника применяется практически везде. Денег, безусловно, не хватает. Поэтому реализуются далеко не все задачи, а первостепенные, на которые хватает собственных средств. Собственными силами создана и пополняется единственная в России отечественная база данных ЭКБ и материалов. Наиболее активные предприятия оборонно-промышленного комплекса и профильные вузы уже много лет используют отечественные САПР электроники, разработанные в соответствии с данной Дорожной картой.

В соответствии с Приложением №2 к протоколу президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для улучшения качества жизни и условий ведения предпринимательской деятельности от 9 ноября 2022 г. № 48 разработаны структура и составы отраслевых комитетов, комитета по развитию общесистемного и отраслевого программного обеспечения, индустриальных центров компетенций (ИЦК) по замещению зарубежных отраслевых цифровых продуктов и решений, включая программно-аппаратные комплексы, в ключевых отраслях экономики и центров компетенций по развитию (ЦКР) российского общесистемного и прикладного программного обеспечения, необходимого для замещения используемых в настоящее время зарубежных аналогов, создаваемых

федеральными органами исполнительной власти в рамках исполнения перечня поручений Председателя Правительства Российской Федерации М.В.Мишустина по итогам конференции «Цифровая индустрия промышленной России» от 16.06.2022 № ММ-П10-10127.

В данном документе отсутствует ИЦК «САПР электроники». Также отсутствует ЦКР «САПР электроники». Как результат, за прошедший 2022-й год со стороны государственных структур практически ничего не сделано для замещения используемых в настоящее время зарубежных аналогов САПР электроники в промышленности и вузах Российской Федерации. Все, кто что-то разработал в области САПР электроники, уже опубликовался в журнале «САПР электроники». Остальные могут говорить всё, что угодно. Но у них ничего нет. И им нечего сказать. Журнал доводится абсолютно до всех, кто имеет прямое или косвенное отношение к САПР электроники. Всё, что сделано за год в этом направлении, достигнуто исключительно энтузиастами в инициативном порядке и исключительно за собственные средства. И никаких перспектив государственной поддержки в этом направлении нет, так как нет соответствующих ИЦК и ЦКР.

В ИЦК «Электроника и микроэлектроника» и в Комитете по развитию общесистемного и прикладного программного обеспечения нет ни одного представителя ни одной из немногочисленных компаний – разработчиков САПР электроники, которые остались в России. Таким образом, сложилась критическая ситуация в области САПР электроники, выход из которой возможен только при немедленном выполнении следующих шагов:

1. Необходимо собрать воедино тех немногочисленных разработчиков САПР электроники, которые остались в России. И это задача чиновников. А далее чиновники должны отойти в сторону. **Необходимо полностью поменять политику государственного финансирования электроники, переместив фокус с разрозненных проектов на создание инфраструктуры, доступной для всех предприятий**

страны [1]. **Сами разработчики должны определить перечень задач, смету расходов, сроки внедрения. Им нужно дать столько денег, сколько нужно для создания полноценных отечественных САПР электроники.** Это высоко сознательные люди и их не надо контролировать. Лишнего они не возьмут. Они сами в состоянии себя контролировать. И не надо создавать новые консорциумы и ассоциации. Обычно деньги потом теряются в таких структурах. Необходимо напрямую финансировать каждого разработчика. А результатом их работы должны быть не бумажные (с проверкой на антиплагиат) и финансовые (с вырубками) отчёты, а реальные программы, которые должны приниматься не всякими там мониторами, кураторами, экспертами и прочими неспециалистами в области САПР электроники, а потребителями разработанного ПО на предприятиях России. Именно так в кратчайшие сроки была разработана советская атомная бомба. Именно так в кратчайшие сроки были разработаны 1-й советский спутник и 1-й советский космический корабль, на котором Юрий Гагарин впервые в мире отправился в космос.

2. До реализации п.1 тем немногочисленным разработчикам САПР электроники, которые остались в России, следуют продолжать развивать САПР электроники исключительно за собственные средства, не пытаясь получить государственные гранты и субсидии, так как либо они их не получают и потеряют время зря (лучше его потратить на полезную работу), либо, если случится чудо, и они получают заявленные гранты, субсидии, будет неэффективно потрачено время на сдачу бесполезных отчётов, исправления надуманных замечаний мониторов и после закрытия договоров на гранты и субсидии на выполнение планов на 5 и более лет по гигантской ежегодной выручке (кое-где она является 12-кратной в год по сравнению с выделенным бюджетным финансированием).

3. Нужно активно работать непосредственно с предприятиями-потребителями САПР электроники. Собственные средства на развитие САПР электроники должны формироваться от продажи уже

разработанных ранее модулей, проведения расчётов по заказам этих предприятий, консультаций и обучения.

4. Необходимо плотно заняться стандартизацией методов, заложенных в разработанное ПО САПР электроники, и самого ПО в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «САПР электроники».

Заключение

Сегодня истинные российские разработчики САПР электроники, операционных систем, офисных программ совместными усилиями должны сделать всё возможное и невозможное для реализации импортозамещения и достижения технологического суверенитета в области САПР электроники. **Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин, Правительство Российской Федерации под руководством Михаила Владимировича Мишустина уделяют огромное внимание развитию отечественных информационных технологий.** Надеюсь, что рано или поздно САПР электроники будут финансироваться государством. Однако не надо просто сидеть и ждать, когда наступит этот момент. Нужно сегодня и сейчас активно работать над тем, чтобы:

1) **на российских предприятиях и в вузах РФ всё больше использовались отечественные САПР электроники.** Для этого разработчикам САПР электроники нужно идти на предприятия и в вузы и предпринимать различные нестандартные действия, искать компромиссные решения. Ответные шаги должны делать наиболее сознательные и творческие работники предприятий и вузов;

2) наконец, появилась **полноценная российская операционная система**, в которой без доработок будет работать любая САПР электроники, которая сейчас применяется на российских предприятиях, и прежде всего российская. И тогда нам больше не понадобится Windows. А российские предприятия – разработчики электроники без сбоев продолжат свою работу. Начинать нужно с разработки в ТК 165 национального стандарта на российскую опера-

ционную систему применительно к САПР электроники;

3) наконец, появились **полноценные российские офисные программы**, в которые без искажений автоматически будут загружаться ранее созданные документы, в которые будет встроен язык программирования и в которых будут реализованы все возможности офисных программ, которые сейчас активно используют российские пользователи. И тогда нам больше не понадобится Microsoft Office. Начинать нужно с разработки в ТК 165 национальных стандартов на российские офисные программы применительно к САПР электроники;

4) регулярно создавались **Spice-модели** отечественной ЭКБ. И тогда для моделирования электрических схем не понадобятся иностранные САПР электроники – Altium Designer, Cadence, Mentor Graphics и др. В настоящее время в ТК 165 АО «ЦКБ «Дейтон» уже разрабатывает национальные стандарты по Spice-моделям. Но это только самое начало. Все заинтересованные специалисты могут подключиться к этой работе;

5) в виду полного отсутствия вертикали шире использовались горизонтальные связи между российскими разработчиками и потребителями САПР электроники на базе первого и единственного российского научно-практического **журнала «САПР электроники»**. Надо больше писать о проблемах и путях решения этих проблем, о достигнутых результатах в области САПР электроники. Устанавливать контакты, развивать взаимовыгодное сотрудничество.

Библиография

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

[2] Шалумов А.С. Системы автоматизированного проектирования (САПР) электроники: состояние, проблемы и перспективы // САПР электроники. 2023. № 1 (1). С. 9 – 19. – Режим доступа: <https://asonika->

online.ru/journal/issues/

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

[4] Муртазин Э. Из России уходят Windows, Word и Excel: как мы будем работать без привычных приложений и программ, 2023. – Режим доступа: <https://www.kp.ru/daily/27540/4807029/>

[5] Open Source или проприетарное ПО?, 2023. – Режим доступа: <https://vc.ru/s/1873905-kite-solution/735315-open-source-ili-proprietarnoe-po>

[6] Подведены итоги отбора университетов на получение специальной части гранта в рамках программы «Приоритет 2030», 2021. – Режим доступа:

https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/?ELEMENT_ID=40889

[7] В России создадут 30 передовых инженерных школ в партнерстве с высокотехнологичными компаниями, 2021. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/news/line/2021-10-07_v_rossii_sozdadut_30_pereдовыh

[8] Минобрнауки России представило реестр отечественных программ для использования вузами с льготной лицензией, 2023. – Режим доступа: <https://minobrnauki.gov.ru/press-center/news/novosti-ministerstva/68386/>

[9] В РФ дефицит ИТ-специалистов составил 500-700 тыс. человек, из них 30-100 тыс. приходится на ИБ, 2023. – Режим доступа: <https://www.novostiitkanala.ru/news/detail.php?ID=171313>

Применение методов виртуальной инженерии в ходе работ по обеспечению стойкости аппаратуры к воздействию специальных факторов. Часть 1. Процесс проектирования стойкой аппаратуры. Общие подходы проектирования

Малютин Николай Васильевич

Профессор, доктор технических наук
mnv220609@mail.ru

Афанасьев Алексей Сергеевич

Начальник Центра военной электроники и электротехники, кандидат технических наук
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

Посысаев Евгений Иванович

Старший научный сотрудник Центра военной электроники и электротехники,
кандидат технических наук
ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы влияния спецфакторов на аппаратуру и их анализа. Представлены структура и содержание программы обеспечения спецстойкости.

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

Application of virtual engineering methods in the course of work to ensure the resistance of equipment to the effects of special factors. Part 1: Ruggedized hardware design process. General design approaches

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

Abstract

The article deals with the influence of special factors on the equipment and their analysis. The structure and content of the program for ensuring special resistance are presented.

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

Введение

При решении основной задачи проектирования – создания аппаратуры, способной выполнять необходимые функции, ее разработчик уже на начальных этапах проектирования должен предвидеть возможность появления нарушений работоспособности из-за действия внешних воздействующих

факторов, к числу которых относятся специальные факторы (СФ). Под СФ следует понимать явления или процессы, внешние по отношению к объектам, аппаратуре и электрорадиоизделиям, которые вызывают или могут вызвать нарушение или потерю их работоспособности в процессе эксплуатации.

В настоящее время термином «специальные факторы» принято обозначать ионизирующие излучения, электромагнитный импульс, ударную волну и световое излучение ядерного взрыва, ионизирующие излучения ядерных энергетических установок и космического пространства, а также излучения сравнительно новых видов оружия – лазерного и радиочастотного. Требования стойкости аппаратуры военного назначения к воздействию СФ установлены в соответствующем стандарте.

В течение восьмидесятых и девяностых годов прошлого столетия специалистами оборонных отраслей промышленности и Минобороны проводились широкие исследования с целью создания математических моделей компонентов радиоэлектронной аппаратуры, а также схем аппаратуры, отражающих их реакции при воздействии радиационных факторов и электромагнитных излучений (ЭМИ). Созданные машинные программы могли рассчитывать реакции схем аппаратуры, содержащие несколько сотен элементов. В то же время не удалось добиться требуемой достоверности результатов расчетов, что было выявлено в ходе проведения прямых экспериментов на моделирующих установках. Это обстоятельство было обусловлено невозможностью, как правило, получить точные значения величин большого числа параметров материалов комплектующих изделий (КИ), необходимых для создания соответствующих моделей, а также неконтролируемым разбросом их уровней. Поэтому данные программы не нашли широкого применения на практике. Их использование возможно только на ранних этапах проектирования отдельных схем аппаратуры для оценочных расчетов.

Эта проблема была решена в рамках комплекса АСОНИКА в подсистеме АСОНИКА – БД, содержащей электронные модели ЭРИ и материалов. В настоящее время возможно выполнение анализа стойкости аппаратуры при воздействии спецфактора – ударной волны и анализ эффективности защиты прибора корпусом от спецфактора ЭМИ (справочно).

1 Процесс проектирования стойкой аппаратуры

Техническое задание (ТЗ) является основанием для проектирования аппаратуры. Применительно к аппаратуре, предназначенной для работы в условиях воздействия СФ, в ТЗ на ее разработку должны содержаться соответствующие требования по стойкости, а также предложения по методам проверки выполнения этих требований.

Учитывая, что из-за воздействия СФ значения технических характеристик, электрических режимов работы претерпевают изменения в процессе эксплуатации, в ТЗ недостаточно оговорить значение этих характеристик в нормальных условиях. Желательно указать также их предельно допустимые уходы при воздействии СФ, диапазон или предельные значения характеристик, которые определяются в зависимости от типа объекта, его назначения и места размещения аппаратуры на объекте, возможных высот перемещения объекта и других условий применения.

Основные правила, которыми следует руководствоваться при выборе показателей стойкости для записи в ТЗ на разработку, можно сформулировать следующим образом [1]. Наиболее часто при задании требований используют так называемый параметрический показатель стойкости аппаратуры к воздействию излучений [2] вида:

$$R_{mp} = P \{ \theta_j \in \theta_{j\text{дон}} \} = P,$$

где R_{mp} – соответствующие значения интегральных или дифференциальных характеристик излучений; θ_j – j-я выходная характеристика аппаратуры; \in – символ, означающий принадлежность.

Таким образом, в ТЗ на разработку указывают значения характеристик для каждого вида излучений, критерии стойкости в виде предельно допустимых значений выходных характеристик, исходя из условий функционирования, и значения вероятности сохранения работоспособности в условиях воздействия СФ. Состав характеристик СФ, устанавливаемый в виде требований, зависит от условий эксплуатации объектов, на

которых размещается аппаратура. Записывая критерии стойкости отдельно для каждого вида излучений в терминах выходных характеристик аппаратуры и их предельно допустимых значений, заказчик должен также оговорить, важна или не важна для функционирования разрабатываемой аппаратуры временная потеря работоспособности, допустимы или недопустимы единичные сбои, какова максимально допустимая продолжительность перерыва в функционировании, определенная исходя из допустимого снижения его качества.

Иногда на практике в ТЗ оговаривают также, так называемые коэффициенты запаса (КЗ) [3], которые для различных видов излучений различны.

В общем случае эти коэффициенты отражают меру неопределенности используемых при оценках моделей и (или) изменения отклика образцов от выборки к выборке для образцов одного изготовителя или образцов различных изготовителей.

В ТЗ необходимо указать, с помощью каких методов будет проводиться оценка соответствия разработанной аппаратуры заданным требованиям, а также амплитудно-временные и спектрально-энергетические характеристики излучения. Для оценки соответствия используют расчетные, расчетно-экспериментальные или экспериментальные методы определения показателей стойкости. Экспериментальные исследования проводятся на моделирующих установках или в натурных физических опытах. На основе ТЗ на разработку аппаратуры в целом разрабатываются технические задания на конкретные устройства и блоки с распределением технических требований между этими блоками, а также с определением, при необходимости, уровней СФ, в том числе и радиационных, воздействующих на эти устройства и блоки.

Иногда в ТЗ заказчик указывает на условие, обеспечивающее стойкость аппаратуры к действию СФ (спецстойкость): использование при проектировании аппаратуры ранее разработанных и успешно опробованных схем, стандартных узлов и т.п. При этом целесообразно учитывать стойкость этих узлов, состав применяемой

в них элементной базы (ЭБ) и КЗ по стойкости к воздействию СФ.

Совокупность и последовательность выполнения мероприятий, направленных на обеспечение стойкости аппаратуры, оговаривают в специально разрабатываемых программах обеспечения стойкости (ПОС) к воздействию СФ, охватывающих все этапы создания аппаратуры (рисунок 1).

Опыт применения программ обеспечения стойкости показал

их высокую эффективность. Реализация предусмотренных ПОС мероприятий на различных этапах создания аппаратуры и контроль со стороны заказчика за процессом её разработки с использованием методов оценки эффективности технических решений по обеспечению стойкости, как правило, позволяют создать аппаратуру, которая соответствует заданным требованиям по стойкости. Основной объём работ по определению показателей стойкости целесообразно перенести на этапы проектирования, поскольку это позволяет более целенаправленно и своевременно выбирать схемотехнические решения по обеспечению требуемой стойкости. Увеличение значимости работ по определению показателей стойкости аппаратуры на этапе проектирования, обусловленное возможностью использования полученных результатов для оценки соответствия требованиям, налагает определенные условия на выбор совокупности методов, рекомендуемых для использования, и целесообразной последовательности этапов процесса определения показателей стойкости аппаратуры к воздействию СФ.

2 Общие подходы проектирования

На этапе анализа вариантов каждый из них оценивается с точки зрения присущих ему свойств по критерию полного соответствия требований ТЗ и этих свойств. В тех случаях, когда существуют непреодолимые физические ограничения, не позволяющие синтезировать хотя бы один вариант построения аппаратуры, удовлетворяющей ТЗ, следует или изменить его, или прекратить проектирование. Таким образом, про-

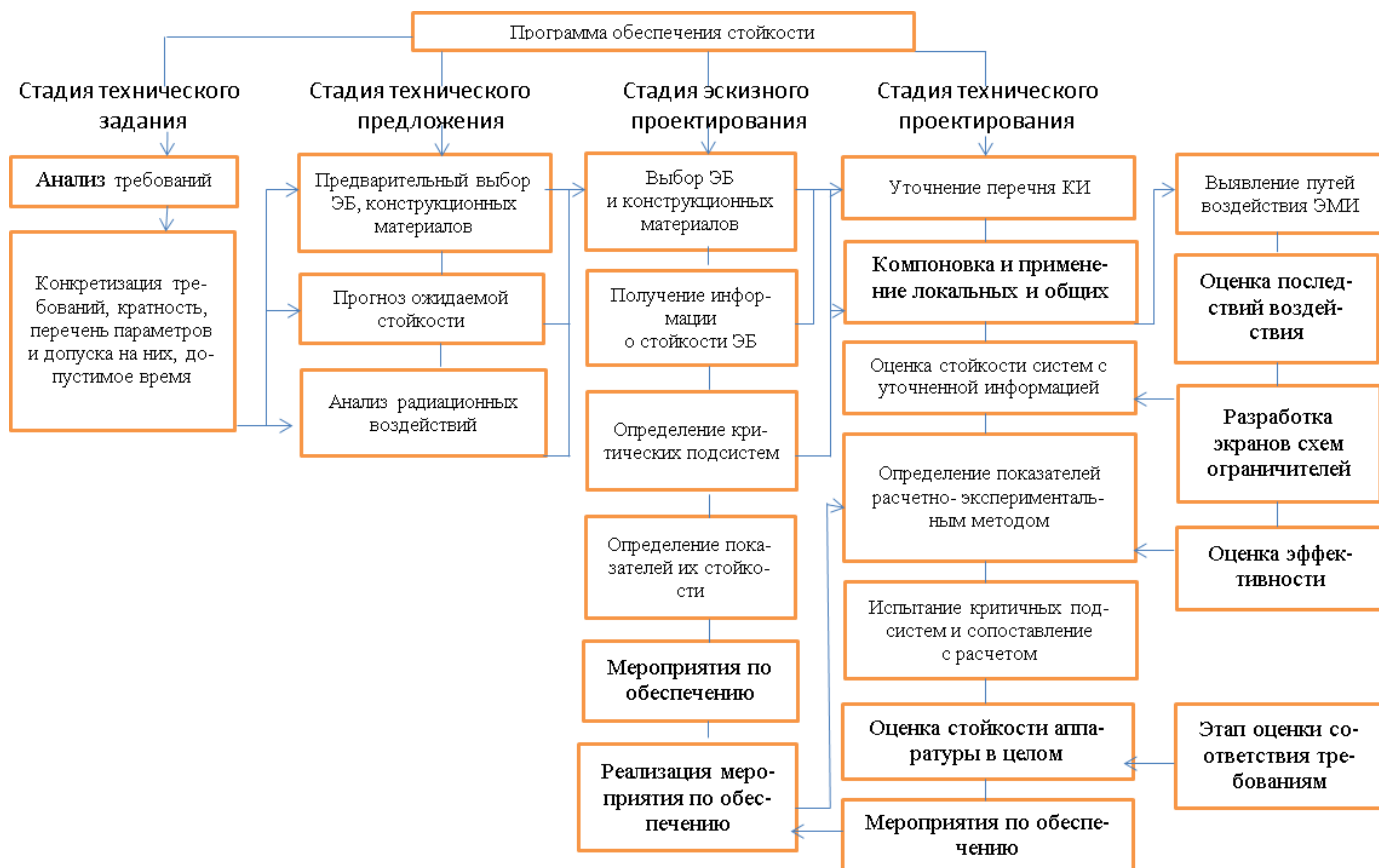


Рисунок 1 – Структура и содержание программы обеспечения спецстойкости

ектирование аппаратуры часто является итерационным процессом решения задачи. На этапе анализа вариантов вырабатывается информация, служащая основанием для выбора наилучшего варианта. Естественно, что на этапе проектирования, основным содержанием которого являются синтез, анализ и выбор вариантов, выполняется большое число операций исследовательского и прикладного плана. Среди этих работ, начиная с ранних стадий, должное внимание следует уделять вопросам обеспечения стойкости к действию СФ. Это обусловлено тем, что проведение мероприятий по обеспечению стойкости после стадии проектирования может оказаться невозможным (приведет к перепроектированию) или, что чаще, экономически невыгодным, существенно увеличивая стоимость [3]. Заметим, что увеличение стоимости разработки аппаратуры зависит, как от уровня требований, так и сложности системы. Для примера в таблице 1 представлены приближенные оценки увеличения стоимости создания аппаратуры, стойкой к воздействию флюенса нейтронов ядерного взрыва с энергией более 0,1 МэВ (Φ_n).

Таблица 1 – Ориентировочные сведения об увеличении стоимости в зависимости от требуемого уровня стойкости [4, 5]

Требования стойкости Φ_n , нейтрон см^{-2}	Увеличение, %, за счет	
	разработки и расчета	программы гарантии качества
10^{11}	10...20	5
10^{12}	20...30	10
10^{13}	50...70	25
10^{14}	100...150	50
10^{15}	300	200

На этапе формирования ТЗ на разработку аппаратуры желательно детально оговорить состав и уровни СФ, в условиях воздействия которых предстоит функционировать аппаратуре, кратность их воздействия, амплитудно-временные и спектрально-энергетические характеристики, перечень основных характеристик аппаратуры и допустимые пределы их изменения в условиях воздействия СФ, вероятность сохранения этих характеристик в пределах установленных норм, допустимость или недопустимость сбоев, появление ложных

или пропадания полезных сигналов, временной потери работоспособности, допустимое время потери работоспособности и т.п. Последовательность этапов определения показателей стойкости рекомендуется выбирать с таким расчетом, чтобы полностью учесть возможные эффекты в аппаратуре из-за воздействия СФ, а также возможность сокращения трудоемких расчетов за счет рационального ограничения числа рассчитываемых подсистем. Рекомендуемые методы должны позволять определять общие и частные показатели стойкости аппаратуры к воздействию СФ. Обеспечение стойкости аппаратуры последовательно решается на этапах эскизного и технического проектирования, изготовления и испытания опытного образца. На этапе эскизного проектирования может возникнуть потребность в уточнении характеристик полей СФ в местах размещения аппаратуры, оценке возможности снижения их уровней специальными защитными экранами (корпусами объекта, аппаратуры), оценке опасности вторичных излучений, разработке функциональных и принципиальных схем аппаратуры, проведении расчетов, теоретических и экспериментальных исследований радиационной стойкости схем и их КИ.

Параметры воздействующих излучений связаны с расположением объекта относительно источника излучений (высотой, дальностью, углом наклона) и, следовательно, с особенностями эксплуатации аппаратуры. На данном этапе проектирования аппаратуры может возникнуть необходимость оценить защитную роль корпуса конструкции объекта и аппаратуры с тем, чтобы более точно сформулировать требования к отдельным подсистемам, имеющим защитные экраны, а также определить потенциальный запас по стойкости или допустить возможность применения блоков и узлов со стойкостью ниже уровней внешних излучений, действующих на объект. Учет особенностей реакции на действие различных излучений позволяет рационально подходить к разработке функциональных и принципиальных схем аппаратуры.

Структура функциональной схемы аппаратуры во многом предопределяет её

специальность, а с точки зрения стойкости к ионизирующему действию импульса гамма-излучения правильно выбранный принцип действия системы может оказаться единственно возможным способом обеспечения ее требуемой стойкости. Последнее связано с тем, что по критерию бесперебойной работы повышение стойкости аппаратуры к импульсному гамма-излучению только выбором радиационно стойких КИ ограничено, как правило, мощностью дозы порядка $10^7 \dots 10^8 \text{ Р с}^{-1}$ [6], а при применении интегральных схем, изготовленных по технологии КМОП/КНС, $10^{10} \dots 10^{12} \text{ Р с}^{-1}$ [1].

Разработку функциональной схемы аппаратуры целесообразно начинать с рассмотрения вопросов обеспечения её стойкости к воздействию импульса гамма-излучения, так как по времени воздействия гамма-импульс опережает импульс нейтронов и переходные процессы в схемах аппаратуры, вызванные гамма-излучением, к моменту прихода нейтронов могут закончиться. Важны выбор принципа обработки информации (аналоговый или цифровой), использование помехоустойчивых кодов, оценка возможности выключения аппаратуры на некоторое время.

Исходя из критериев работоспособности аппаратуры и используя данные о характере нарушения работоспособности типовых схем, узлов и блоков [6, 7], следует выделить подсистемы, не критичные к воздействию импульсного гамма-излучения, т.е. такие, временное изменение параметров которых не оказывает влияние на работоспособность аппаратуры в целом. Такими подсистемами могут быть, например, инерционные блоки управления рулями, устройства, находящиеся в обесточенном режиме, и др. Это позволяет сосредоточить внимание на подсистемах, в которых могут возникать ложные срабатывания, сбои, сигналы, искажения информации, приводящие к нарушению нормальной работы аппаратуры. Для таких подсистем необходимо предусмотреть введение устройств или изменение принципа передачи сигналов, позволяющих обеспечить нормальное функционирование аппаратуры даже при изменении параметров отдельных узлов и

блоков. Для этого в функциональную схему аппаратуры могут быть введены устройства блокировки, шунтирования, резервные блоки сохранения информации на магнитных запоминающих устройствах, датчики, восстанавливающие алгоритм системы, а также использованы корректирующие коды, узкополосные системы и др.

Стойкость аппаратуры к воздействию нейтронов и гамма-излучения (по дозовым эффектам) на этапе составления функциональной схемы, в первую очередь, обеспечивается предварительным выбором КИ электронной техники и электротехники, имеющих стойкость, соответствующую заданным требованиям. Если стойкость изделий окажется недостаточной, то следует предусмотреть введение обратных связей между подсистемами и в системе в целом, снижающих степень влияния отдельных параметров узлов, блоков на выходные параметры аппаратуры.

Повышение стойкости может быть обеспечено также изменением структуры сигналов, например, с использованием дискретных принципов обработки информации вместо аналоговых. На этапе разработки функциональной схемы аппаратуры определяются критерии стойкости и возможные допуски на изменения параметров узлов, блоков и других подсистем аппаратуры с учетом воздействия СФ.

При проектировании принципиальных схем аппаратуры могут использоваться уже конструктивно отработанные в производстве типовые схемы, обладающие необходимыми характеристиками радиационной стойкости. Это позволяет сократить объем работ и сроки разработки аппаратуры. При выборе для использования в аппаратуре уже разработанных ранее схем или при разработке новых необходимо внимательно изучить характеристики их радиационной стойкости. Такие характеристики могут быть получены расчётными методами или экспериментально. Следует стремиться к тому, чтобы расчётные оценки предшествовали проведению экспериментов, обеспечивая выявление критичных параметров и разработку методик испытаний самих схем и аппаратуры.

Стойкость аппаратуры во многом зависит от её конструкции и особенностей построения электрической схемы. Поэтому на данном этапе разработки следует оценить и выбрать оптимальный вариант общего конструктивного решения, включающий использование в качестве электромагнитных экранов кожухов, оболочек и других элементов аппаратуры.

Целесообразно рассмотреть возможность уменьшения размеров узлов и блоков (за счет более плотного монтажа и использования ЭБ на основе микроэлектроники), что существенно влияет на снижение чувствительности аппаратуры к действию ЭМИ и излучений. От принципа передачи и преобразования информации, на основе которого разрабатывается электрическая схема аппаратуры, зависит её стойкость в условиях воздействия электромагнитных полей. Поэтому выбор способа передачи рабочих сигналов может во многом облегчить повышение электромагнитной стойкости аппаратуры или её отдельных устройств.

В практике могут применяться известные методы, использующие помехоустойчивую модуляцию, корректирующие коды, оптимальный прием сигналов и др. С учетом возможных конструктивных особенностей аппаратуры, её расположения в составе корпуса и выбранной системы передачи сигналов разрабатывается вариант функциональной схемы. На этом этапе рекомендуется предварительно определить, в каких цепях схем возможно появление и каковы уровни напряжений (токов), обусловленных воздействием СФ. Это позволяет оценить влияние возникающих перенапряжений, которые могут привести к необратимым повреждениям или к помехам, вызывающим сбои, ложные срабатывания узлов и блоков аппаратуры.

На основе анализа функциональной схемы может быть оценена структурная значимость отдельных подсистем аппаратуры. Это может облегчить задачу проектирования аппаратуры, стойкой к совместному действию ЭМИ, радиочастотных и ионизирующих излучений. По результатам выполненной оценки могут быть предложены меры по защите отдельных блоков и узлов.

В случае значительных перенапряжений или помеховых сигналов необходимо рассмотреть возможность введения в схему аппаратуры общих защитных элементов, а также специальных устройств, исключающих помеховые воздействия ЭМИ и радиочастотных излучений или восстанавливающих алгоритм работы аппаратуры.

В процессе разработки функциональной схемы аппаратуры возможно уточнение требований по стойкости к действию ЭМИ и радиочастотных излучений для отдельных блоков или устройств. Разработка принципиальных схем включает определение и выбор КИ с повышенной стойкостью к импульсным напряжениям, расчет, макетирование и экспериментальное исследование стойкости схем.

При разработке схем в случае необходимости применяют индивидуальные меры защиты как самих схем, так и их отдельных элементов, рассматривают возможности расширения допусков на определяющие параметры, изменения функционального построения, применение общей и локальной защиты с целью дополнительного экранирования. Если проведенные расчёты и эксперименты показали недостаточную стойкость отдельных схем, то по результатам оценки намечаются мероприятия по доработке или созданию новых схем с использованием методов, наиболее эффективно повышающих спецстойкость [6]. На этапе разработки принципиальных схем следует широко практиковать макетирование и экспериментальную проверку схем на стойкость, позволяющие уточнить номенклатуру КИ с учетом их стойкости в различных электрических режимах, критерии стойкости и допуски на параметры схем аппаратуры [1]. На этапе технического проектирования аппаратуры осуществляется разработка конструкций всех частей аппаратуры. Конструкции узлов, блоков, а также массивные изделия (трансформаторы, дроссели) являются в определенной мере с защитными экранами. Линии связи, монтажные соединения при воздействии импульса гамма-излучения могут быть местом образования ионизационных токов (или токов смещения), которые приводят к

появлению паразитных сигналов (помех), оказывающих влияние на функционирование аппаратуры. Поэтому при разработке конструкции аппаратуры необходимо предусматривать оптимальный монтаж токонесущих элементов и их соединений, специальные заливки на основе диэлектрических материалов, которые способствуют уменьшению ионизационных токов в электрических цепях схемы, рациональный выбор заземлений и т.п. [4, 8].

В тех случаях, когда предполагается разработка специальных защитных экранов, необходимо учитывать, что применение их может быть ограничено для объектов, масса и габаритные размеры которых строго лимитированы. Это относится в первую очередь к экранам для ослабления мощности дозы гамма-излучения, использующим материалы из тяжелых элементов. Наряду со специальными защитными оболочками и элементами конструкции аппаратуры, выполняющими роль экранов, в отдельных случаях следует предусматривать использование в качестве физической защиты от излучений других частей объекта, например, баков с топливом для двигателей [4, 8].

В целом, на этапе конструирования решают вопросы рационального и оптимального размещений, соединения и монтажа элементов аппаратуры с учетом минимального воздействия ЭМИ и радиоизлучений, применения защитных устройств на входах и выходах. От качества и тщательности исполнения защитных экранов, элементов ввода кабелей (разъемных контактных соединений, муфт, прокладок), вентиляционных устройств, заземления и других элементов конструкции в значительной степени зависит стойкость аппаратуры к действию ЭМИ и радиоизлучений.

Библиография

[1] Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1988. 296 с.

[2] ГОСТ 18298-70. Стойкость аппаратуры

ры, комплектующих элементов и материалов. Термины и определения. 4 с.

[3] Rose M.A. Nuclear Hardening of Weapon System//Defence Electronics. – 1979. N 2. P. 13-17.

[4] 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.

[5] Моин В.С., Лаптев Н.Н. Стабилизированные транзисторные преобразовате-

ли. – М.: Энергия, 1972. 512 с.

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

[7] Коршунов Ф.П., Гатальский Г.В., Иванов Г.М. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. – М.: Наука и техника, 1978. 232 с.

[8] Михайлов М.И., Разумов Л.Д., Соколов С.А. Электромагнитные влияния на сооружения связи: – М.: Связь, 1979. 264 с.

Создание программных и аппаратных средств САПР современной ЭКБ

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 описаны задачи создания и освоения на российских предприятиях программных и аппаратных средств систем автоматизированного проектирования и открытых библиотек функциональных элементов и сложно-функциональных блоков. Рассмотрены зарубежные аналоги планируемых к созданию отечественных программных средств.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, электронная компонентная база, программные средства, библиотеки, технологии проектирования.

Creation of software and hardware for a computer-aided design system of a modern electronic component base

Sumarokov E.S.

Abstract

The article describes the tasks of creating and mastering at Russian enterprises software and hardware of computer-aided design systems and open libraries of functional elements and complex functional blocks. Foreign analogues of domestic software facilities planned for creation are considered.

Keywords: computer-aided design, electronic component base, software tools, libraries, design technologies.

Введение

Технологический суверенитет подразумевает возможность разработок и производства в России полного спектра твёрдотельной электронной компонентной базы (ЭКБ), включающего интегральные схемы (ИС), большие интегральные схемы (БИС) и сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) уровня «система на кристалле» (СнК) (рис. 1) полупроводниковые приборы (ППП), микроэлектромеханические системы (МЭМС) (рис. 2), ЭКБ для радиофотоники, опто- и фотоэлектроники, а также микроэлектронные модули (ЭМ), включая ЭМ уровня «система в корпусе» (СвК) (рис. 3).

Для достижения суверенности разра-

боток и производства твёрдотельной ЭКБ должны быть созданы и освоены на российских предприятиях программные и аппаратные средства систем автоматизированного проектирования (САПР) и открытые библиотеки функциональных элементов и сложно-функциональных блоков (СФБ).

Разработке программных средств САПР последние десятилетия в России не уделялось достаточного внимания. В нашей стране отсутствуют полноценные отечественные САПР для разработки СВЧ радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), создаваемой, в частности, на основе технологий монолитных и гибридных интегральных схем (МИС и ГИС) и печатного монтажа

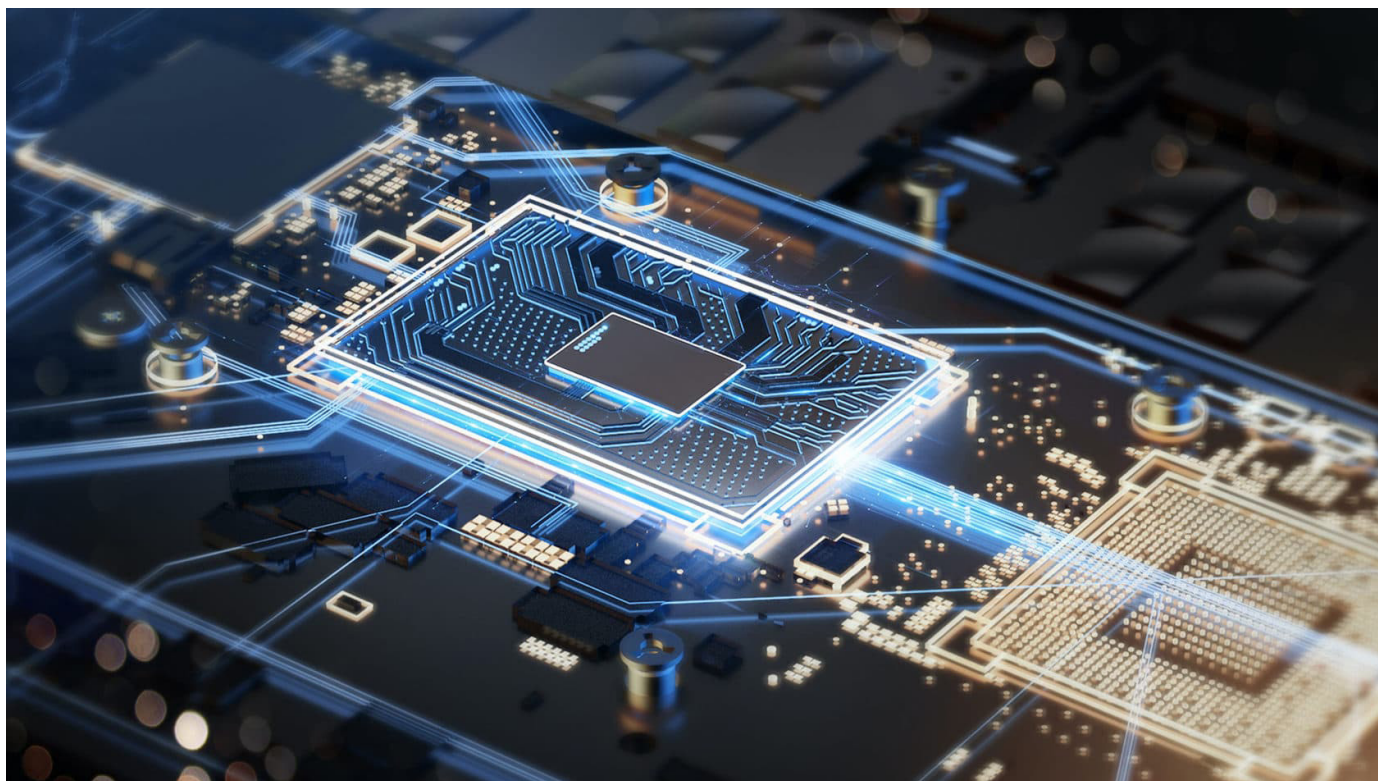


Рисунок 1 – СБИС уровня «система на кристалле»: устройство SoC (англ. System on a Chip) – в русской аббревиатуре СнК – система на кристалле – это автономный неразборный чип (электронная схема), выполняющий определённую функцию

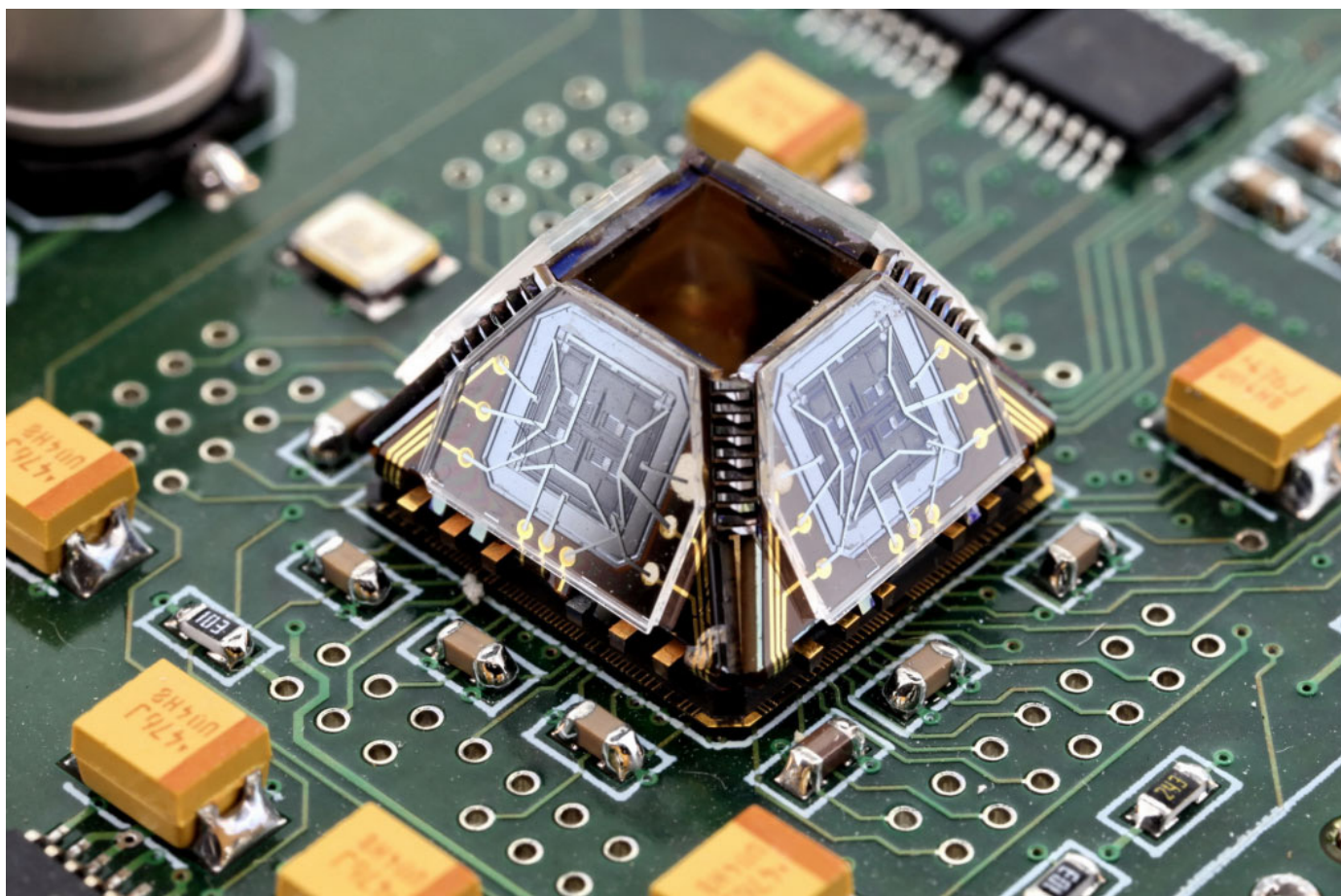


Рисунок 2 – МЭМС: миниатюрное устройство, которое изготовлено как из механических, так и из электрических компонентов, используя методы микрообработки

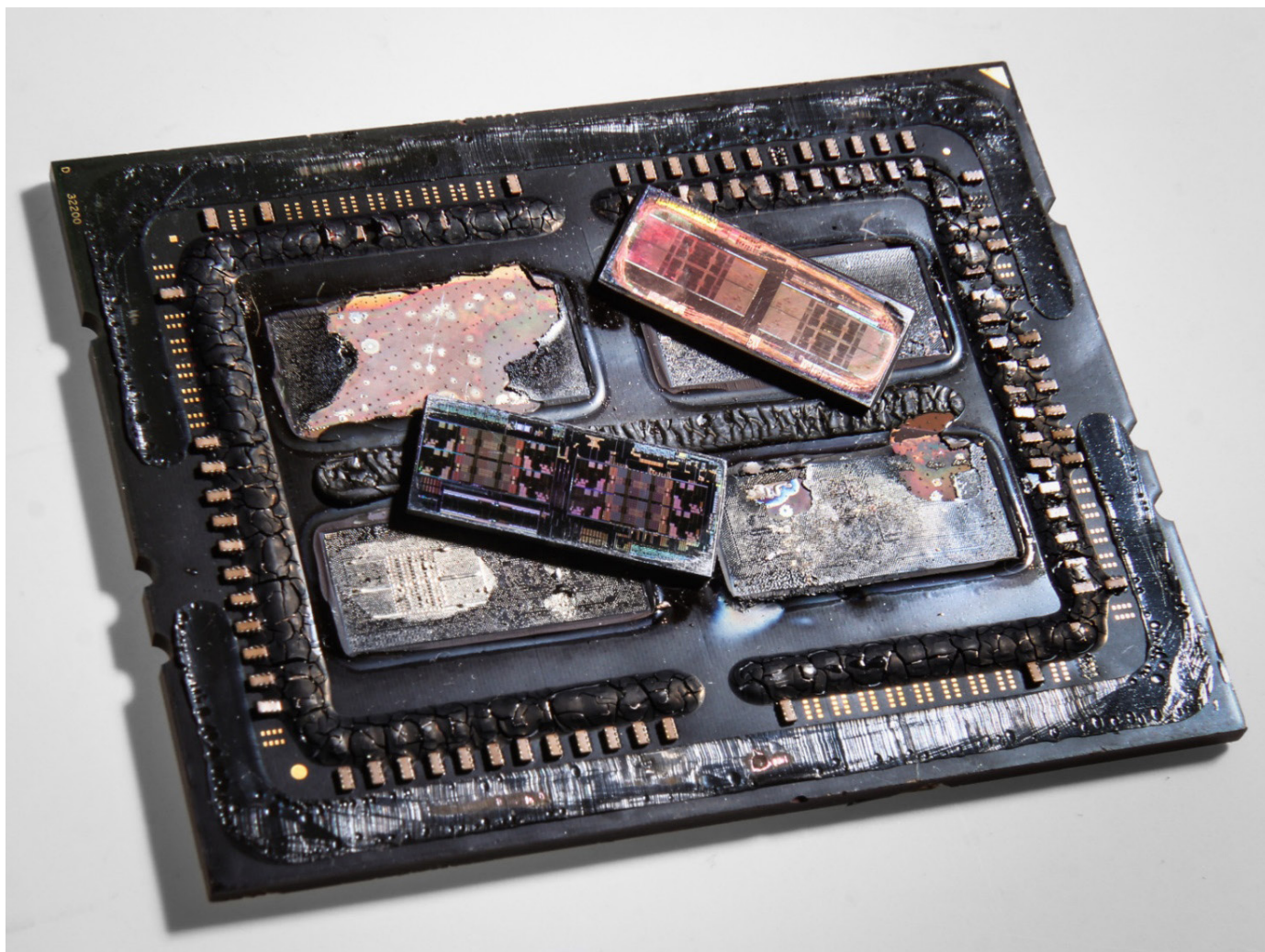


Рисунок 3 – МЭМС: миниатюрное устройство, которое изготовлено как из механических, так и из электрических компонентов, используя методы микрообработки

(ПМ), программные средства САПР для проектирования радиационно-стойких СБИС, САПР радиофотонной, оптоэлектронной ЭКБ, отсутствуют средства САПР полупроводниковых, магниторезистивных, тензорезистивных МЭМС. В стране отсутствуют государственные или частные компании, разрабатывающие средства вышеперечисленных САПР. Существуют лишь отдельные небольшие группы разработчиков, которые в инициативном порядке на собственные средства ведут работы в этом направлении, развивая отдельные подсистемы. Необходимо заполнить эту брешь в этой, несомненно, важнейшей области микро- и радиоэлектроники. Важным является обеспечение на основе совокупности российского научного, технического и технологического заделов в области САПР высокого уровня технической безопасности, установление ведущих позиций в области

разработки САПР радиационно-стойких схем, а также условий и предпосылок для устойчивого развития САПР микроэлектронной отрасли на длительную перспективу. Основными задачами при этом являются:

1. Обеспечение отечественных производителей и разработчиков микроэлектронной ЭКБ современными средствами САПР для проектирования электроники.

2. Формирование в ближайшее время перспективного научно-технического, производственного и кадрового заделов в области разработки и производства САПР по ключевым критически важным направлениям для уровня технологии мирового уровня и выше.

3. Обеспечение создания устойчивых кооперационных связей в отрасли, включающих всех заинтересованных участников, для обеспечения разработки и производст-

ва перспективных САПР, отвечающим всем современным требованиям к уровню его технологии, автоматизации, унификации и стандартизации.

1 Программные средства САПР, библиотеки СФБ и технологии проектирования СВЧ МИС на гетероструктурах GaAs и GaN/SiC

На российских предприятиях при проектировании СВЧ РЭА и приемо-передающих модулей (ППМ) на базе GaAs/GaN интегральных технологий МИС, а также технологий ГИС и ПМ с использованием дискретных

GaAs, GaN и кремниевых полупроводниковых приборов чаще всего используются универсальные САПР СВЧ устройств *Microwave Office* (рис. 4) компании *NI AWR EDA Software (США)* и *Advanced Design System (ADS)* (рис. 5) компании *Keysight (США)*. Для проектирования цифровых и аналоговых СБИС в России разработчики пользуются программным обеспечением признанных мировых лидеров *CADENCE* или *SYNOPSYS*, продукты которых являются промышленным стандартом де-факто.

Однако доступные импортные САПР не позволяют проводить схемотехническое

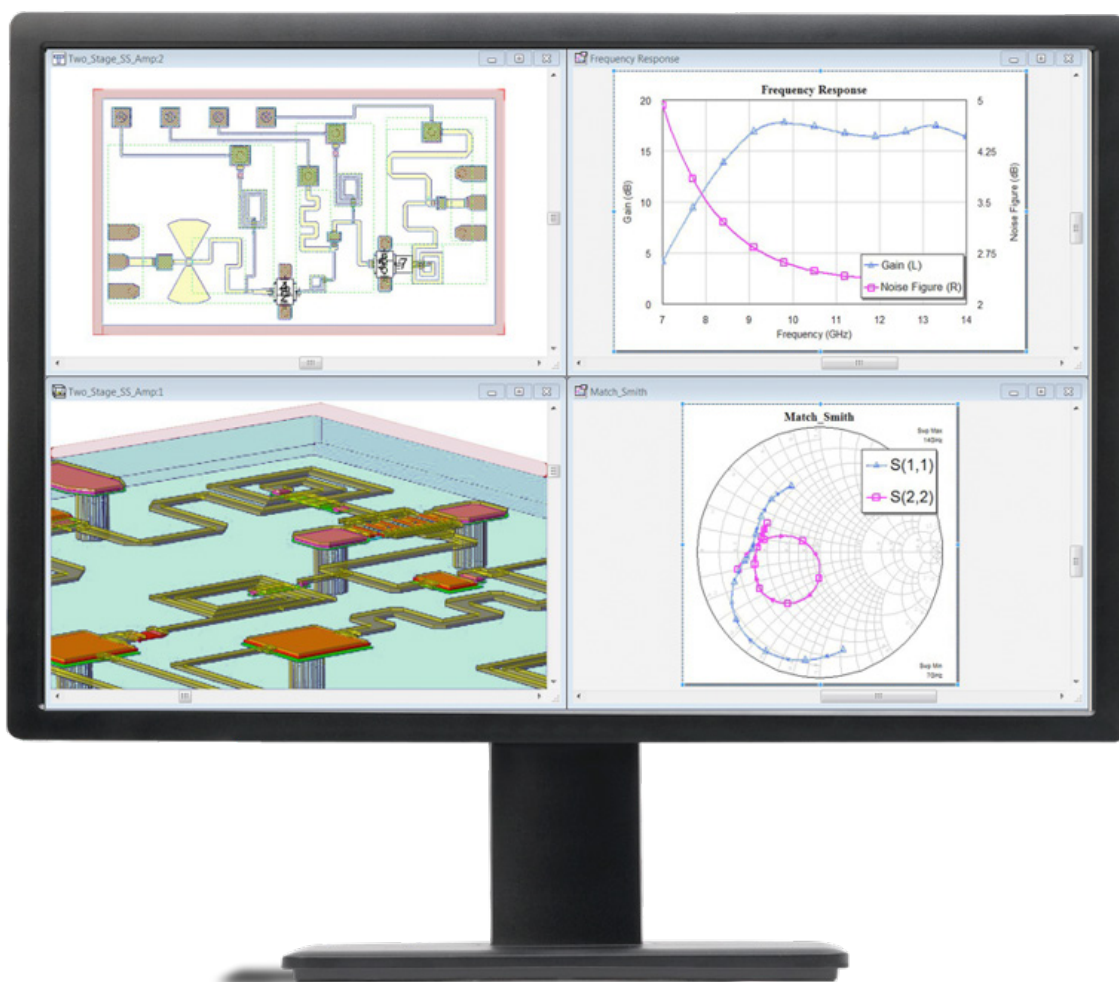


Рисунок 4 – Интерфейс САПР Microwave Office: предлагает решение для разработки всех видов радиочастотных и СВЧ устройств. Программа высоко ценится за интуитивный пользовательский интерфейс. За счет уникальной архитектуры, Microwave Office способен безукоризненно интегрировать собственные высокоэффективные и инновационные программные средства со специализированными программами компаний-партнеров, что способствует снижению времени, требуемому на разработку любого высокочастотного проекта

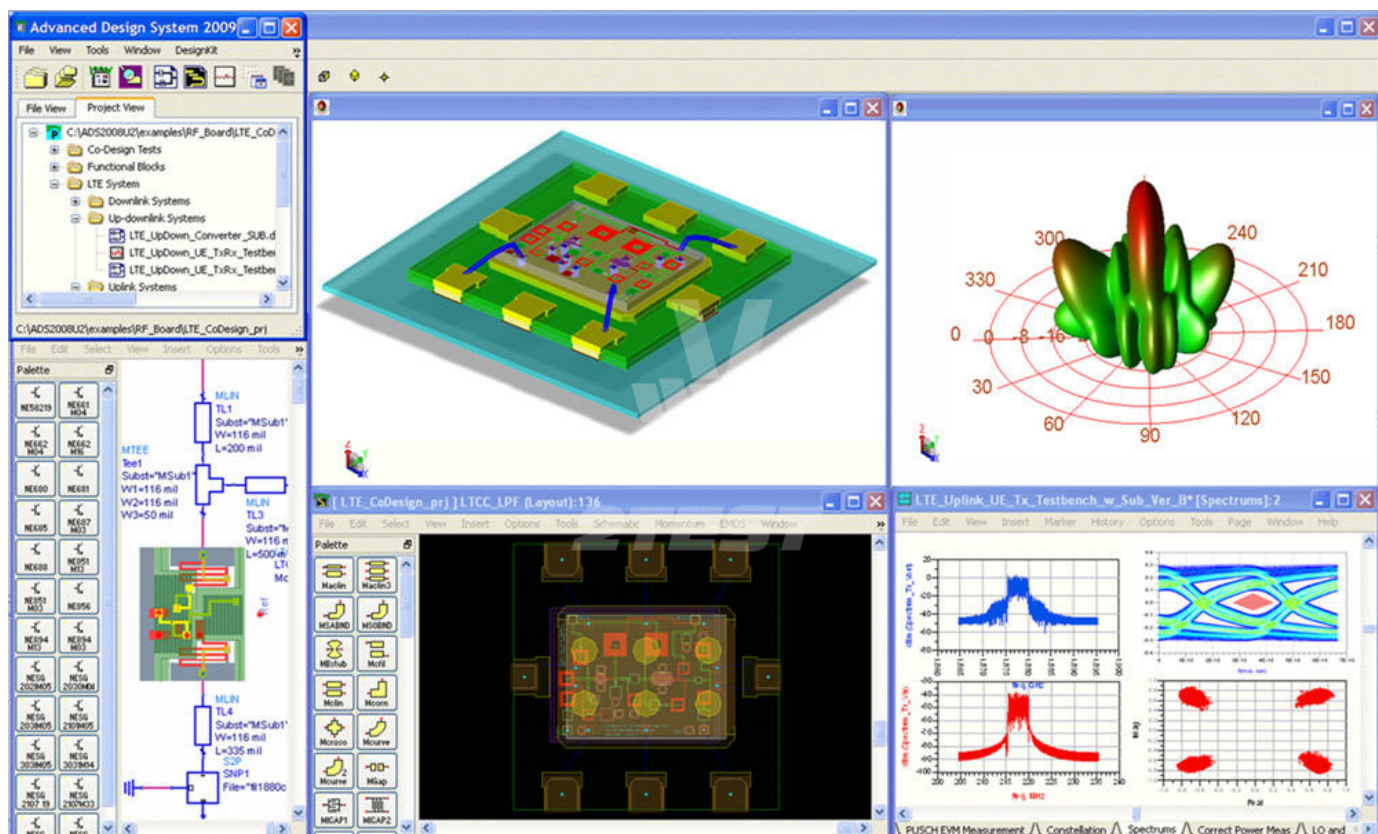


Рисунок 5 – Интерфейс САПР ADS: позволяет исследовать взаимодействие ВЧ и СВЧ компонентов и схем, в том числе монолитных ИС, модулей и печатных плат, а также выполнять совместную разработку ИС, корпусов и плат. Учитывая влияние компонентов на печатной плате, позволяет проектировать не только интегральные и печатные платы в одной среде проектирования, но и объединять разные модули на одной платформе

моделирование и проектирование СВЧ РЭА, включая учет воздействия ионизирующих излучений (ИИ). Кроме того, в связи с политикой санкций следует учитывать прекращение продаж в Россию зарубежными фирмами – производителями программного обеспечения новых лицензий коммерческих САПР, обслуживание и обновление уже приобретенных лицензий. Это лишает отечественные предприятия возможности разрабатывать новые перспективные изделия с современными тактико-техническими данными даже при условии создания в России необходимой технологической базы для производства СВЧ РЭА. Особо следует отметить, что импортные САПР, ориентированные на создание радиационно-стойкой элементной базы, никогда не поставлялись в РФ.

Таким образом, создание отечественных САПР для разработки СВЧ РЭА на базе технологий МИС, ГИС и ПМ, а также БИС и СБИС, в том числе с учетом воздействия

ИИ, в настоящее время является чрезвычайно актуальной задачей.

Её решение будет способствовать повышению конкурентоспособности российской радиоэлектронной промышленности и, в конечном счете, обеспечению безопасности страны. Успешное решение данной задачи обеспечит российских разработчиков СВЧ МИС и РЭА средствами и технологиями проектирования СВЧ МИС и РЭА. При этом разработанные средства проектирования будут ориентированы на имеющиеся и перспективные технологии российских производителей СВЧ ЭКБ.

2 Программные средства САПР, библиотеки СФ-блоков, технологии проектирования ИС, БИС и СБИС, СнК и модулей СВК на Si и КНИ, в т.ч. радиационно-стойких

Мировой рынок САПР СБИС практически монополизирован тремя компаниями **США (Cadence, Synopsys, Mentor**

Graphics). В условиях введения санкций российским предприятиям радиоэлектронного комплекса и космической промышленности закрыт доступ к средствам проектирования СБИС указанных фирм. Это ставит под угрозу осуществление большинство программ по созданию радиотехнических систем и перспективных космических аппаратов, для которых необходима разработка специализированных СБИС.

На сегодняшний момент в России научно-технический задел в области САПР СБИС существует на ряде предприятий. На базе этого задела может быть создана отечественная САПР, обеспечивающая разработку полузаказных БИС. Она позволит выполнять полный цикл проектирования сложных микросхем.

Наиболее сложной задачей является создание базы данных, позволяющей выполнять проектирование сложных микросхем сложностью с большим количеством транзисторов, разработка эффективных алгоритмов подсистем проектирования, обеспечение многопроцессорной обработки информации. Часть подсистем может быть адаптирована к методологии проектирования на стандартных ячейках и настроена на работу с конструкцией структурированных кристаллов (СК) нового поколения. Это подсистемы поведенческого описания схемы и моделирование на языке Verilog, разработки СФ-блоков, а также верификации и аттестации проекта микросхемы. Подсистемы синтеза из поведенческого описания схемы в базис стандартных ячеек библиотек СК, компоновки, размещения ячеек, синтеза топологии микросхем и подготовки информации для производства и ряд других подсистем должны быть разработаны.

На первом этапе нужно перейти к опытной эксплуатации подсистем подготовки поведенческого описания проекта БИС и моделирования на языках Verilog, System Verilog и VHDL, подсистем подготовки информации для производства микросхем и связанных с этим подсистем верификации и аттестации проекта микросхемы. К завершению 2-го этапа должна быть завершена отладка сквозной САПР СнК для СК.

Параллельно с разработкой программных средств проектирования необходимо создание библиотек стандартных цифровых и аналого– цифровых ячеек и библиотек сложно-функциональных блоков, унифицированных для всех серий СК и адаптированных под конструкцию конкретных серий. Библиотека стандартных функциональных ячеек должна иметь расширение троированных триггеров, триггеров сканирования, ячеек для реализации цепей глобальной синхронизации. В рамках создания библиотеки сложно-функциональных блоков требуется разработка блоков, таких как микропроцессорные ядра, микроконтроллеры, блоки памяти, интерфейсные блоки, блоки аналого-цифровой обработки и многие другие. Следует отметить, что в рамках библиотек СК могут быть реализованы любые цифровые и аналоговые блоки, а при наличии технологических возможностей производителя кристаллов микросхем и энергонезависимые блоки памяти и программируемые сложно-функциональные блоки, включая заказные блоки, созданные под конкретное применение.

Особоважной и сложной задачей является создание программных средств **САПР сбоеустойчивых СБИС СнК**. В условиях нейтронного облучения характерными особенностями высокоинтегрированной ЭКБ, выполненной по современным и перспективным проектным нормам, являются сбои и функциональные отказы, причиной которых является локальная ионизация полупроводниковых структур образующимися вторичными заряженными частицами. Выполнение данного требования в первую очередь относится к аппаратуре высокой ответственности, предназначенной для работы в условиях воздействия ИИ, а также аппаратуре авионики, подверженной воздействию атмосферных нейтронов. Поэтому требуется создание отечественной САПР электронных схем для проектирования СБИС, БИС, используемых в РЭА ответственного применения и работающей в условиях воздействия потока нейтронов с энергией до 14 МэВ.

Важнейшей является **разработка библиотек СФ – блоков для сбоеустойчи-**

вых СБИС СнК. Основной задачей разработки стойких к нейтронному облучению библиотек элементов и сложно-функциональных блоков является сокращение времени проектирования БИС, СБИС и времени их испытаний на стойкость к нейтронному облучению, а также устранение слабых мест еще до изготовления опытных образцов ЭКБ.

Следует отметить, что разработка и вывод на рынок отечественной САПР сбоеустойчивых СБИС СнК сократит технологическую зависимость от ЭКБ импортного производства специального назначения и позволит получить опыт для развертывания работы по созданию отечественных стойких к нейтронному облучению БИС, СБИС. Реализация САПР сбоеустойчивых СБИС СнК позволит обеспечить российских разработчиков СБИС, БИС маршрутом проектирования с использованием стойких к нейтронному облучению библиотек, СФ-блоков и подсистем отечественной САПР.

При этом должна быть разработана методология адаптации библиотек стандартных элементов, СФ-блоков и маршрута проектирования стойких к нейтронному облучению СБИС, БИС под другие имеющиеся и вновь создаваемые отечественные технологии российских производителей ЭКБ.

Весьма значительная часть затрат на создание полноценной САПР СБИС должна быть направлена на **разработку и аттестацию СФ-блоков под перспективные отечественные технологии изготовления СБИС.**

В настоящее время в электронной промышленности наблюдается значительный рост количества проектов, реализуемых в виде СнК. По данным компании Gaertner Dataquest, ежегодный объем продаж этих изделий достигает 50–60 млрд. долл., что составляет 20–25% общей стоимости выпускаемых полупроводниковых компонентов.

Типичный набор блоков для СнК представлен в виде источника опорного напряжения, фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), контроллеров внешней памяти, внутреннего ОЗУ/ПЗУ и блоков программируемой логики. Разработка этих устройств

позволит значительно сократить сроки проектирования микросхем, снизить риски и повысить надежность.

Разработка собственной линейки СФ-блоков становится еще более актуальной, потому что ведущие иностранные компании подобные СФ-блоки не могут поставлять в Россию из-за режима санкций. Минимальный перечень требуемых СФ-блоков:

- опорный источник напряжения (LDO);
- источник реверсного напряжения (VanGar);
- драйвер дифференциального интерфейса (LVDS);
- блок контроля сигнала RESET (POR);
- блок с автоподстройкой частоты, используется для синхронизации кристалла (PLL);
- однократно программируемое ПЗУ (OTP);
- интерфейс USB;
- интерфейс DDR;
- блок программируемой логики (FPGA).

При разработке микросхем, предназначенных для создания устройств и систем передачи данных по радиоканалу, разрабатываются не только микросхемы сложно-функциональной категории, содержащие в своём составе элементы цифровой обработки сигналов, управляющие микроконтроллеры и узлы обработки входной аналоговой и цифровой информации, но и микросхемы, содержащие аналоговые радиочастотные входные блоки и смесители и низкочастотные блоки. Поэтому, кроме вышеназванного перечня СФ-блоков, минимально необходимых для разработок цифровых СБИС на объемном кремнии и КНИ, для радиочастотных (РЧ) СБИС, без которых не обходится сегодня практически ни одно носимое устройство, необходима разработка ещё многих типов **библиотеки специальных РЧ СФ-блоков.** В её состав должны войти СФ-блоки:

1. Для изготовления микросхем по технологии SiGe BiCMOS с топологическими нормами 0,25 мкм, 0,18 мкм и 0,13 мкм, позволяющими создавать устройства передачи информации по радиоканалу с несущими частотами до 20 ГГц: МШУ; усили-

тель мощности; смесители квадратурных каналов; генераторы, управляемые напряжением (ГУН); синтезаторы частот с ГУН; фазовращатели; усилитель промежуточной частоты (УПЧ); цифровой демодулятор ЧМ₂ сигналов; стабилизаторы напряжения для СФ-блоков микросхем; формирователи опорного напряжения и токов для СФ-блоков микросхем; СФ-блоки цифровых интерфейсов.

2. Для изготовления по технологии RF CMOS с топологическими нормами 65 нм, позволяющими создавать устройства передачи информации по радиоканалу с несущими частотами до 40 ГГц, дополнительно к вышеназванным СФ-блокам, необходимы АЦП и ЦАП с частотами преобразования до 100 МГц.

3. Для изготовления по технологии RF CMOS с топологическими нормами 28 нм, позволяющими создавать устройства передачи информации по радиоканалу с несущими частотами до 60 ГГц, необходимы АЦП и ЦАП с частотами преобразования до 120 МГц.

Все разрабатываемые и предлагаемые пользователям САПР СБИС СФ-блоки должны снабжаться моделями, точно описывающими функциональные и параметрические характеристики этих блоков. Для этого в комплексе программ САПР должны в обязательном порядке иметься программы **характеризации физических компонентов ИС на уровне элементов (транзисторов, диодов, резисторов и т.п.) и на этой основе – характеристики собственно СФ-блоков**. Характеризация компиляторов включает характеризацию различных конфигураций блока, что дополнительно ставит задачи оптимизации выбора отдельных блоков памяти для характеристики, чтобы обеспечить ускорение общего процесса при сохранении необходимой точности интерполяции параметров между конфигурациями. Потому задача создания высокопроизводительной и конкурентоспособной распределенной подсистемы автоматизированной характеристики библиотек стандартных ячеек является актуальной.

Пользователями САПР характеристики могут быть как фабрики-производители

микросхем, так и независимые компании. Моделирование современных СВЧ схем, выполненных как на дискретных элементах, так и в виде монолитных интегральных схем (МИС), невозможно без использования так называемых **SPICE моделей**. Настройка этих моделей происходит в результате проведения процедуры экстракции SPICE параметров. Имея эти модели, разработчик может без изготовления проверить работоспособность схемы или устройства на той или иной технологии. Именно поэтому все мировые поставщики обеспечивают информационное сопровождение своих изделий, в том числе и моделями с набором SPICE параметров. Важно отметить, что в настоящее время зарубежные компании не поставляют SPICE модели, учитывающие влияние специальных факторов (например, дозовые воздействия ионизирующих излучений). Фактическое положение дел в области программного обеспечения для разработки SPICE моделей и экстракции SPICE параметров характеризуется присутствием на рынке единственной компании Keysight Technology (США), Продукты этих компаний, например **IC-CAP** и **MBP** являются промышленным стандартом де-факто среди программ экстракции SPICE параметров и автоматизации процессов измерений электрофизических характеристик. Разработка подсистемы САПР для создания моделей и экстракции SPICE параметров позволят обеспечить разработку и проектирование новых типов отечественных СВЧ схем специального назначения. Реализация данного направления работ позволит обеспечить российских разработчиков моделями элементов ИС, настроенными на технологию конкретного производителя, в том числе и с учетом дозовых воздействий ионизирующих излучений.

3 Программные средства САПР технологического проектирования ИС и проектирования интегральных полупроводниковых, магниторезистивных, тензорезистивных МЭМС

В настоящее время актуальной задачей полупроводникового производства является

ся сокращение времени и материальных затрат на разработку новых технологических процессов формирования СБИС, а это означает необходимость замены многочисленных экспериментов средствами моделирования как технологического процесса формирования элементов СБИС, так и их электрических характеристик. Необходимо отметить, что отечественных САПР, позволяющих решать задачу приборно-технологического моделирования, на сегодняшний день не существует.

Кроме этого, актуальной задачей любого производства СБИС является и проектирование правильного процесса литографии. Именно данный технологический процесс фактически определяет минимальный уровень технологических норм. Таким образом, для того чтобы современный уровень производства СБИС мог соответствовать мировому уровню, необходимо наличие подсистемы САПР для моделирования технологического процесса литографии.

Задачи создания **отечественной подсистемы САПР технологического проектирования для моделирования технологического процесса литографии** (зарубежный аналог – САПР TCAD) должны включать:

- программную реализацию методов решения дифференциальных уравнений в частных производных для расчета электрических характеристик элементов СБИС с учетом особенностей технологического процесса их формирования на кремниевой подложках, а также на подложках «Кремний на изоляторе» (КНИ), включая процесс прецизионной литографии;

- разработку подсистемы интегрированного полнофункционального программного обеспечения приборно-технологического моделирования, разработку моделей физических процессов, протекающих в полупроводниковых элементах СБИС;

- адаптацию и освоение подсистемы САПР технологического проектирования на отечественных предприятиях – фабриках по изготовлению СБИС.

Задачи создания средств **САПР интегральных полупроводниковых, магнито-резистивных, тензорезистивных МЭМС**

должны решаться в комплексе работ по созданию базовой системы автоматизированного проектирования МЭМС, включающем:

- разработку технологии проектирования элементов МЭМС и электронных модулей на их основе с разработкой маршрутов и методик проектирования инерциальных, ВЧ и оптических МЭМС;

- разработку библиотеки элементов для инерциальных, ВЧ и оптических МЭМС (балки, платформы, опоры, гребенчатые приводы, электроды, подвесы и другое);

- создание интегрированной базовой САПР МЭМС, реализующей основные возможности зарубежного прототипа САПР **CoventorWare** и включающей комплекс программных средств:

- базы данных технологических процессов;

- базы данных свойств материалов для конкретного технологического процесса;

- базы данных элементов МЭМС;

- эмулятор технологического процесса формирования МЭМС-устройств;

- модуль создания электрических схем;

- модуль создания топологии и чертежей масок МЭМС;

- модуль формирования 3D моделей МЭМС.

4 Программные средства САПР радиофотонной, оптоэлектронной ЭКБ и МОЭМС

Необходимо провести работы по созданию отечественных САПР для радиофотоники – относительно до сих пор нового направления, интегрирующего технологии микро – и оптоэлектроники и обещающего многократное революционное совершенствование основных характеристик аппаратуры радиолокации, связи и передачи данных.

Комплекс работ включает:

- разработку и исследование моделей, разработку библиотек СФ-блоков для проектирования радиофотонных ИС на основе InP, Si КМОП и SiGe БиКМОП технологий;

- моделирование конструкций оптических элементов радиофотонных ИС;

- разработку пакета программ, моделирование и тестирование узкополосных ла-

зеров с вертикальным резонатором и шириной спектра 500 КГц и 300 КГц;

– разработку пакета программ, моделирование и тестирование перестраиваемых по длине волны лазеров с вертикальным резонатором и МЭМС-зеркалом;

– разработку пакета программ, моделирование и тестирование гибридных многослойных оптоэлектронных схем для стандарта транзисторов 15 нм;

– разработку пакета программ, моделирование и тестирование гибридных оптоэлектронных ПЛИС на основе лазеров с вертикальным резонатором;

– разработку физико-математических моделей и программ проектирования многослойных АЗВ5 гетероструктур для активных и пассивных компонент микроволновой фотоники, включающий учет квантования в структурах с множественными квантовыми ямами (в т.ч. во внешнем электрическом поле), расчет спектров поглощения, электрооптический эффект, дрейфово-диффузионную модель, лазерную генерацию, расчет волноводных мод с учетом материальных параметров многокомпонентных полупроводниковых твердых растворов из гетеросистемы InAlGaAsP;

– разработку и моделирование конструкций оптических элементов радиофотонных ИС на основе АЗВ5;

– разработку библиотек СФ-блоков для проектирования радиофотонных ИС на основе АЗВ5.

5 Технические средства и операционное программное обеспечение САПР СВЧ МИС, СБИС СнК и модулей СвК

Необходимо решить в настоящее время актуальную задачу проектирования СВЧ МИС, СБИС СнК и модулей СвК путём возможного повторного использования ранее разработанных СФ-блоков и библиотек. Это позволяет сократить время разработки до вывода окончательной продукции на отечественный рынок и в изделия специального назначения. Текущее состояние в области использования САПР разработки и проектирования микроэлектроники и электроники заключается в переходе в облачные вычисления.

Это стало уже устойчивым трендом для зарубежных фирм разработчиков САПР. Кроме того, облачные вычисления представляют собой общий тренд в сфере разработки программного обеспечения и проведения исследовательских работ. Облачные вычисления позволяют эффективно распределять ресурсы между различными разработчиками, а также организовать контроль изменения (систему контроля версий) и контроль доступа к различным частям проекта. Все это является крайне необходимым при современных размерах и сложности проектов в микроэлектронике.

6 Комплексование, поставка и освоение базовыми дизайн-центрами средств САПР и технологий проектирования СВЧ МИС, СБИС СнК и модулей СвК

Данные работы должны обеспечивать внедрение средств САПР на предприятиях микро- и радиоэлектронного комплекса, их по техническую поддержку и развитие, поставки в Центры коллективного пользования (ЦКП) опытных образцов:

– аппаратно-программного комплекса САПР для аналогового и смешанного проектирования для технологий Si, КНИ, SiGe и САПР СБИС СнК на основе этих технологий;

– аппаратно-программного комплекса САПР для проектирования СВЧ МИС сантиметрового и миллиметрового диапазонов для технологий АЗВ5, Si, КНИ, SiGe;

– подсистемы САПР характеристики физических компонентов ИС на уровне элементов и на уровне СФ-блоков.

Необходимо также обеспечить обучение персонала, техническое сопровождение и поддержку средств САПР, установленных в ЦКП. Также необходимо предусмотреть работы по установке и настройке САПР на рабочих местах в не менее чем в 10 дизайн – центрах (самостоятельных или в составе предприятий) и в 5 ВУЗах, обучение там персонала и техническое сопровождение.

7 Создание Единого координационного центра САПР ЭКБ для ре-

гулирования разработок отечественных средств проектирования и использования импортных САПР при выполнении государственных программ

Центр будет осуществлять координацию использования, техническую поддержку и наполнение программного обеспечения САПР номенклатуры микроэлектронной ЭКБ, применяемой в РЭА вооружении, военной и спецтехнике, и РЭА гражданского назначения, включая образцы вычислительной техники (ВТ) и телекоммуникационного оборудования (ТКО) для проектирования ЭКБ: СБИС, СВЧ МИС, ППП, МЭМС, опто-, фото- и радиофотонной ЭКБ и ЭМ.

Центр будет предоставлять и координировать доступ пользователей к существующим и обновленным информационным ресурсам программного обеспечения (ПО) САПР через облачное пространство.

Кибербезопасность ПО САПР будет обеспечиваться и поддерживаться Центром на основе программно-аппаратной платформы защиты ПО САПР от несанкционированного копирования.

Заключение

В результате реализации мероприятий, изложенных в данной статье, в России в части создания САПР и подсистем САПР будут созданы:

- программная платформа, комплекс САПР и модулей для схемотехнического и топологического проектирования СВЧ устройств на основе технологий монолитных/ гибридных интегральных схем и печатного монтажа;

- САПР СБИС СнК с технологическими нормами до 65 нм;

- САПР для проектирования радиационно-чувствительных аналоговых СБИС;

- система для экстракции SPICE – параметров элементов, построения моделей дискретных элементов интегральных СВЧ элементов и автоматизация их измерений;

- САПР для создания и аттестации стойкой к нейтронному облучению ЭКБ;

- программная система для построения моделей и электромагнитного моделирования корпусов ВЧ и СВЧ интегральных схем;

- САПР для сквозного маршрута проектирования микросборок, многокристальных модулей и электронных модулей уровня «система в корпусе»;

- высокопроизводительная и конкурентоспособная распределенная система автоматизированной характеристики библиотек стандартных ячеек;

- САПР низкоуровневой программной эмуляции аппаратных платформ;

- САПР приборно-технологического моделирования радиационно-стойких СБИС;

- система облачного кооперативного использования средств разработки и проектирования СБИС с аппаратными ускорителями;

- Единый координационный центр САПР ЭКБ для регулирования разработок отечественных и использования импортных средств САПР.

Особо необходимо отметить, что результатами выполнения мероприятия «Разработка САПР для создания и аттестации стойкой к нейтронному облучению ЭКБ» будут **решение сложной межотраслевой проблемы, «технологический прорыв» и создание «ноу-хау»**: разработана стойкая к нейтронному облучению библиотека элементов, сложно-функциональные блоки и демонстрационная аналого-цифровая интегральная схема для технологии КНИ 350/250 нм.

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

Первые национальные стандарты в области информационного обеспечения САПР ЭКБ: общие положения, микросхемы интегральные

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 информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования электронной компонентной базы, разработанные в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники». Рассмотрены общие положения, спецификации декларативных знаний по техническим характеристикам микросхем интегральных, перечень технических характеристик микросхем интегральных.

Ключевые слова: технические характеристики, функциональные, электрические, эксплуатационные, конструкционные, структурные, архитектурные, электронная компонентная база, микросхемы интегральные.

The first national standards in the field of information support for computer-aided design of electronic component base: general provisions, integrated microcircuits

Ilyin S.A.

Abstract

The article describes the new and first national standards in the field of information support of computer-aided design systems for electronic component base, developed within the framework of the technical committee for standardization TC 165 «Computer-aided design of electronics». General provisions, specifications of declarative knowledge on the technical characteristics of integrated microcircuits, a list of technical characteristics of integrated microcircuits are considered.

Keywords: technical characteristics, functional, electrical, operational, structural, structural, architectural, electronic component base, integrated circuits.

Введение

Введены в действие с 01.08.22 национальные стандарты, разработанные Федеральным государственным бюджетным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт радио-

электроники» (ФГБУ «ВНИИР») в рамках технического комитета по стандартизации ТК 165 «Системы автоматизированного проектирования электроники»:

1. ГОСТ Р 59988.00.0-2022 Системы автоматизированного проектирования элек-

роники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Общие положения (*Утвержден 13 июля 2022 г. Приказ № 622-ст*)

2. ГОСТ Р 59988.02.1-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Микросхемы интегральные. Спецификации декларативных знаний по техническим характеристикам (*Утвержден 13 июля 2022 г. Приказ № 623-ст*)

3. ГОСТ Р 59988.02.2-2022 Системы автоматизированного проектирования электроники. Информационное обеспечение. Технические характеристики электронных компонентов. Микросхемы интегральные. Перечень технических характеристик (*Утвержден 13 июля 2022 г. Приказ № 624-ст*)

Это первые национальные стандарты в области информационного обеспечения систем автоматизированного проектирования электронной компонентной базы (ЭКБ).

Целью комплекса стандартов по техническим характеристикам электронных компонентов является повышение семантической однозначности данных по техническим характеристикам ЭКБ; снижение затрат на разработку, объединение и обслуживание баз данных, баз знаний и других информационных ресурсов, использующих данные по ЭКБ; стандартизация и унификация атрибутов технических характеристик ЭКБ.

Комплекс стандартов по техническим характеристикам электронных компонентов представляет собой совокупность отдельно издаваемых стандартов. Эти стандарты относятся к одной из следующих тематических групп: «Спецификации декларативных знаний» и «Перечень технических характеристик». Стандарты комплекса могут принадлежать как ко всем электронным компонентам, так и к отдельным группам объектов стандартизации.

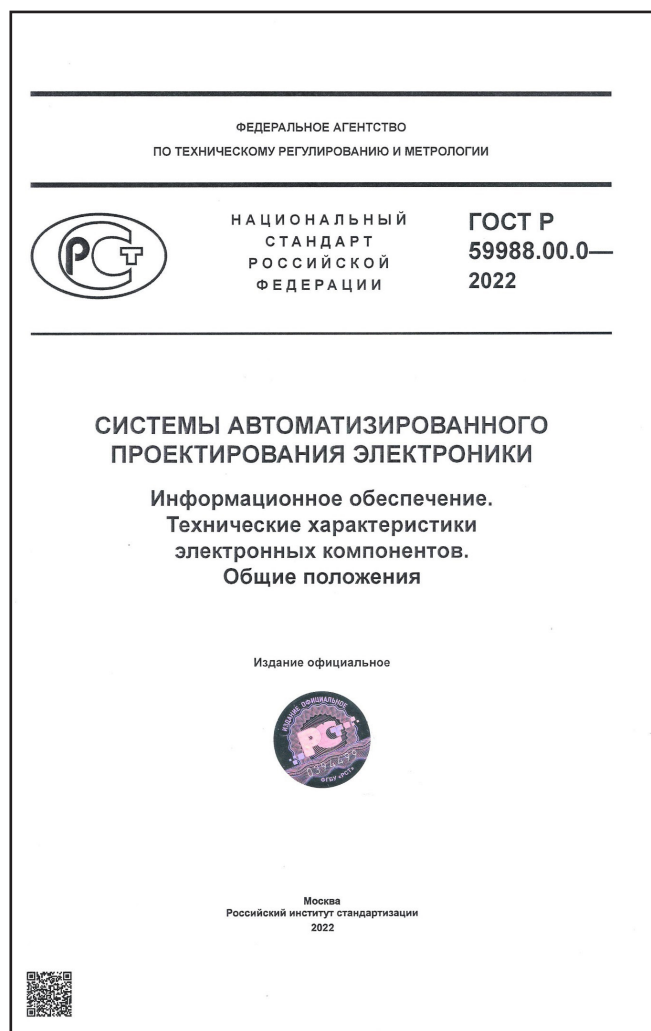
1 ГОСТ Р 59988.00.0-2022

ГОСТ Р 59988.00.0-2022 определяет общие положения комплекса стандартов по техническим характеристикам электронных компонентов. Применение стандартов этого комплекса позволит обеспечить се-

мантическую однозначность данных по техническим характеристикам ЭКБ, уменьшив тем самым:

- затраты на разработку и эксплуатацию информационных ресурсов по ЭКБ;
- затраты на интеграцию информационных ресурсов по электронной компонентной базе при одновременном повышении качества данных.

Настоящий стандарт предназначен для применения при разработке баз данных (БД), баз знаний (БЗ), технических заданий (ТЗ), технических условий (ТУ) и прочего и позволяет обеспечить семантическую однозначность данных по техническим характеристикам (ТХ) ЭКБ.



Настоящий стандарт устанавливает правила и рекомендации по применению в БД, БЗ и других информационных ресурсах:

- формирования обозначений стандартов комплекса «Технические характеристики электронных компонентов»;

– использования единиц и квалификаторов измерения ТХ ЭКБ;

– классификации ТХ ЭКБ.

Настоящий стандарт не распространяется на рассмотрение всех проблем классификации и терминологии ТХ ЭКБ и разработан в развитие требований государственных, отраслевых стандартов и других руководящих документов по ЭКБ.

Комплекс стандартов «Технические характеристики электронных компонентов» делится на следующие группы (части) по объектам стандартизации:

- часть 1. Изделия СВЧ;
- часть 2. Микросхемы интегральные;
- часть 3. Приборы и модули полупроводниковые;
- часть 4. Приборы оптоэлектронные;
- часть 5. Изделия квантовой электроники;
- часть 6. Лампы электровакуумные, приборы газоразрядные и рентгеновские;
- часть 7. Трубки электронно-лучевые приемные и преобразовательные;
- часть 8. Приборы фоточувствительные;
- часть 9. Индикаторы знаков синтезирующие и видеомодули;
- часть 10. Приборы пьезоэлектрические и фильтры электромеханические;
- часть 11. Резисторы и конденсаторы;
- часть 12. Трансформаторы, дроссели, линии задержки;
- часть 13. Изделия коммутационные (реле, контакторы, переключатели и др.);
- часть 14. Соединители электрические, изделия электроустановочные и присоединительные;
- часть 15. Машины электрические малой мощности;
- часть 16. Источники тока;
- часть 17. Кабели, провода и шнуры электрические;
- часть 18. Функциональные устройства (унифицированные источники вторичного электропитания, усилители электрические, преобразователи угла и сигналов и др.);
- часть 19. Компоненты волоконно-оптических систем передачи информации;
- часть 20. Источники света электрические и приборы световые;

– часть 21. Изделия из ферритов, магнитодиэлектриков, аморфных и нанокристаллических сплавов;

– часть 22. Микросборки и многокристалльные модули.

Каждая часть по объектам стандартизации включает два стандарта:

– спецификации декларативных знаний (СДЗ);

– перечень технических характеристик (ПТХ).

Стандарты СДЗ содержат:

– эталонные наименования ТХ ЭКБ с перечнем применяемых на практике синонимов;

– определения ТХ ЭКБ.

Стандарты ПТХ содержат:

– классификационные признаки части/раздела классификатора ЭКБ;

– списки ТХ ЭКБ, которые используются в каждом корневом разделе классификатора ЭКБ.

2 ГОСТ Р 59988.02.1-2022

ГОСТ Р 59988.02.1-2022 относится к тематической группе «Спецификации декларативных знаний» и устанавливает правила и рекомендации по применению в БД, БЗ, ТЗ, ТУ и прочих для множества электронных компонентов, относящихся к классу «Микросхемы интегральные»:

– предпочтительных наименований ТХ ЭКБ с перечнем синонимов;

– определений ТХ ЭКБ;

– единиц измерения ТХ ЭКБ;

– квалификаторов измерения ТХ ЭКБ;

– типов данных ТХ ЭКБ.

Настоящий стандарт предназначен для применения при разработке БД, БЗ, ТЗ, ТУ и прочего и позволяет обеспечить семантическую однозначность данных по ТХ ЭКБ.

Настоящий стандарт устанавливает правила и рекомендации по применению в БД, БЗ и других информационных ресурсах:

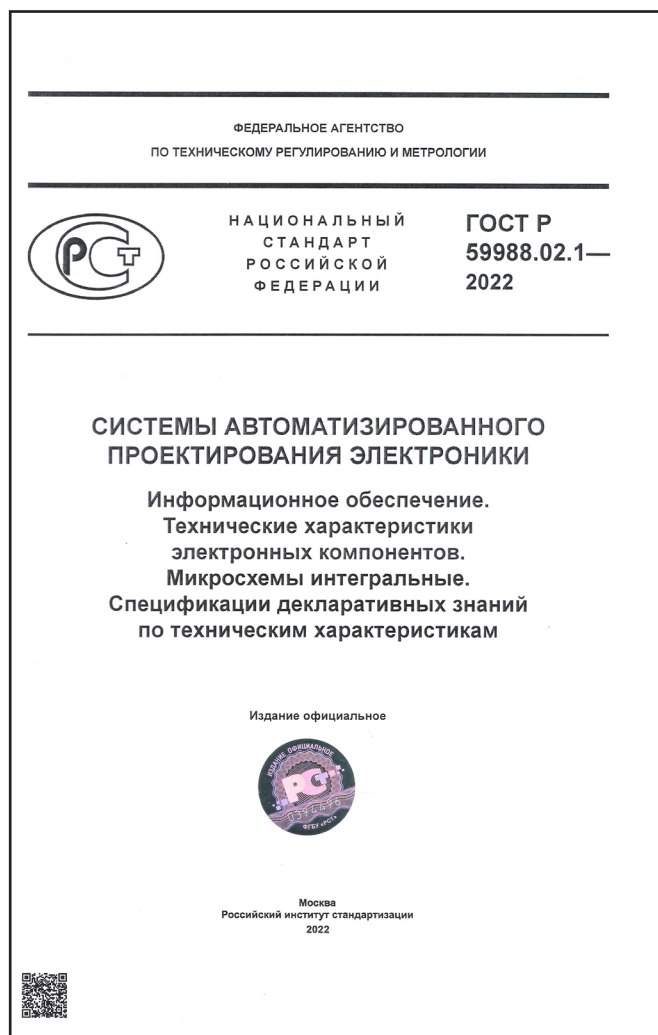
– предпочтительных наименований ТХ ЭКБ с перечнем применяемых на практике синонимов;

– определений ТХ ЭКБ;

– единиц измерения ТХ ЭКБ;

– квалификаторов измерения ТХ ЭКБ;

– типов данных ТХ ЭКБ.



Настоящий стандарт не распространяется на рассмотрение всех проблем классификации и терминологии ТХ ЭКБ и разработан в развитие требований государственных, отраслевых стандартов и других руководящих документов по ЭКБ.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы **«Функциональные технические характеристики»**:

- время выборки;
- время задержки распространения при включении;
- время задержки распространения при выключении;
- время задержки импульса интегральной микросхемы;
- время преобразования;
- время преобразования электронного датчика;
- время нарастания выходного сигнала;
- время спада выходного сигнала;
- время включения;

- время выключения;
- время задержки включения;
- время задержки выключения;
- время перехода при включении;
- время перехода при выключении;
- время переключения частоты;
- время установления;
- время включения защиты;
- время цикла;
- длительность фронта входного сигнала;
- длительность спада входного сигнала;
- время установления выходного напряжения;
- ёмкость оперативного запоминающего устройства;
- ёмкость постоянного запоминающего устройства;
- скорость передачи данных;
- информационная ёмкость.
- амплитудная ошибка;
- коэффициент деления частоты;
- коэффициент умножения частоты;
- коэффициент нелинейности амплитудной характеристики;
- коэффициент ослабления синфазных входных напряжений;
- коэффициент передачи;
- коэффициент преобразования;
- коэффициент усиления напряжения;
- коэффициент шума;
- коэффициент стабилизации входного напряжения;
- коэффициент усиления тока;
- коэффициент полезного действия;
- крутизна преобразования;
- крутизна проходной характеристики;
- максимальная скорость нарастания выходного напряжения;
- дифференциальная нелинейность;
- нелинейность;
- погрешность коэффициента преобразования;
- отношение сигнал/шум;
- ошибка измерения;
- погрешность калибровки;
- разрешающая способность измерения;
- коэффициент нестабильности источника опорного напряжения;

- фазовая ошибка;
- температурный коэффициент напряжения;
- вносимые потери;
- начальное ослабление.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы **«Электрические технические характеристики»:**

- входное напряжение низкого уровня;
- входное напряжение высокого уровня;
- выходное напряжение;
- выходное напряжение низкого уровня;
- выходное напряжение высокого уровня;
- входное напряжение открытой микросхемы;
- выходное напряжение открытой микросхемы;
- максимальное выходное напряжение;
- максимальное отклонение выходного напряжения;
- напряжение питания;
- напряжение питания (ядра) микросхемы;
- напряжение питания (периферии) микросхемы;
- напряжение отпускания;
- напряжение смещения нуля;
- напряжение стабилизации;
- падение напряжения;
- погрешность нуля;
- пороговое напряжение;
- напряжение срабатывания;
- порог отключения схемы защиты;
- опорное напряжение;
- остаточное напряжение;
- абсолютная погрешность выходного тока;
- входной ток низкого уровня;
- входной ток высокого уровня;
- выходной ток низкого уровня;
- выходной ток высокого уровня;
- выходной ток;
- выходной ток каждого ключа закрытой микросхемы;
- коммутируемый ток;
- температурный коэффициент выходного тока;
- ток потребления;
- ток потребления в статическом режи-

ме;

- динамический ток потребления;
- ток потребления *i*-го источника питания;
- ток стабилизации;
- ток утечки;
- разность входных токов;
- диапазон входных частот;
- диапазон выходных частот;
- диапазон рабочих частот;
- диапазон промежуточных частот;
- максимальная тактовая частота;
- максимальная частота дискретизации;
- полоса пропускания;
- опорная частота;
- разрешение по частоте;
- рабочая частота;
- частота генерирования;
- частота переключения;
- частота следования импульсов тактовых сигналов;
- частота входного сигнала;
- максимальная частота выходного сигнала;
- частота фазового детектора;
- шаг сетки рабочих радиочастот;
- входное сопротивление;
- динамическое сопротивление;
- сопротивление в открытом состоянии;
- входная мощность;
- мощность на входе гетеродин;
- выходная мощность;
- рассеиваемая мощность;
- диапазон измеряемых емкостей;
- индукция отпускания;
- индукция срабатывания.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы **«Эксплуатационные технические характеристики»:**

- рабочая температура;
- число циклов перепрограммирования.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы **«Конструкционные технические характеристики»:**

- тип корпуса;
- технология (тонкопленочная интегральная; гибридная интегральная; микроблок; полупроводниковая интегральная; МОП логика; полупроводниковая интег-

ральная, КМОП логика; полупроводниковая интегральная, РТЛ логика; полупроводниковая интегральная, ДТЛ логика; полупроводниковая интегральная, ТТЛ логика; полупроводниковая интегральная, ТТЛШ логика; полупроводниковая интегральная, ЭСЛ логика; полупроводниковая интегральная, ИИЛ логика.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы «**Структурные технические характеристики**»:

- разрядность данных;
- количество функциональных выводов;
- количество элементов (вентилей);
- число разрядов;
- число вычислительных ядер.

Рассмотрены ТХ ЭКБ группы «**Архитектурные технические характеристики**»:

- тип памяти (SDRAM, DDR, DDR2, DDR3, DDR4);
- архитектура (CISC, RISC, MISC, VLIW, EPIC, MIPS, ARM, архитектура «Эльбрус»);
- тип интерфейса (ATA, SATA, AGP, PCI и PCI-x, PCI Express (PCIe), JTAG);
- перечень поддерживаемых типов интерфейсов.

3 ГОСТ Р 59988.02.2-2022

ГОСТ Р 59988.02.2-2022 относится к тематической группе «Перечень технических характеристик» и устанавливает правила и рекомендации по применению в БД, БЗ, ТЗ, ТУ и прочих для множества электронных компонентов, относящихся к классу «Микросхемы интегральные»:

- классификационных признаков части/раздела отраслевого классификатора электронных компонентов;
- перечней ТХ электронных компонентов.

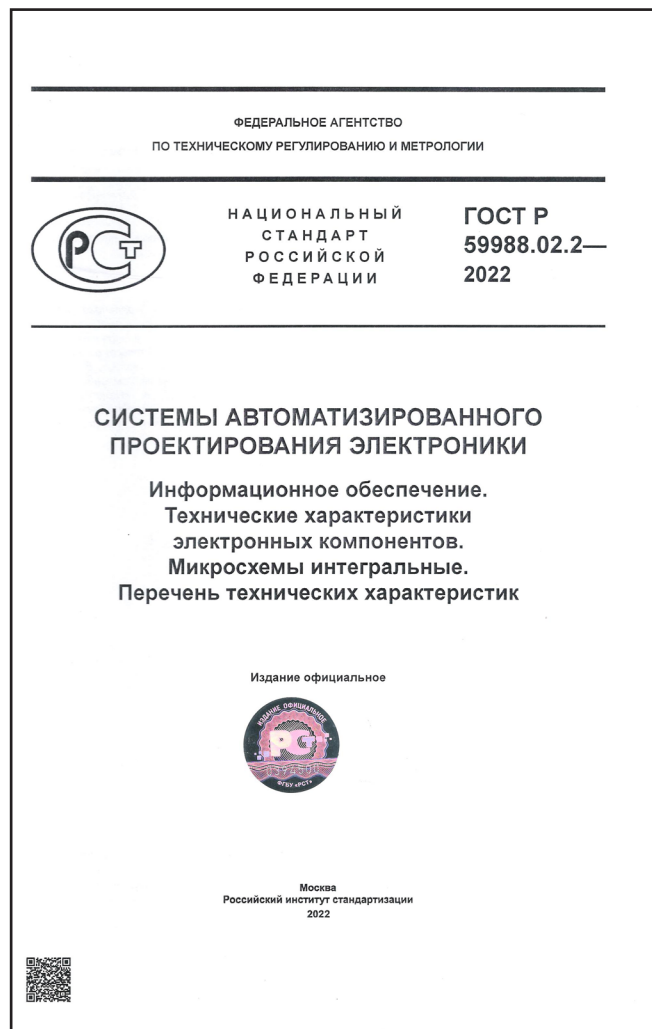
Настоящий стандарт предназначен для применения при разработке БД, БЗ, ТЗ, ТУ и прочего и позволяет обеспечить семантическую однозначность данных по ТХ ЭКБ.

Настоящий стандарт устанавливает правила и рекомендации по применению в БД, БЗ и других информационных ресурсах:

- предпочтительных наименований ТХ ЭКБ с перечнем применяемых на практике синонимов;

– классификационных признаков части/раздела классификатора ЭКБ;

– перечней ТХ ЭКБ, использующихся в каждом корневом разделе классификатора ЭКБ.



Настоящий стандарт не распространяется на рассмотрение всех проблем классификации и терминологии ТХ ЭКБ и разработан в развитие требований государственных, отраслевых стандартов и других руководящих документов по ЭКБ.

Наименования частей/разделов, для которых рассмотрены **классификационные признаки** и перечни ТХ ЭКБ, использующиеся в каждом корневом разделе классификатора ЭКБ:

- 1) **микросхемы цифровые** (логические элементы, триггеры, счетчики, регистры, буферные преобразователи, шифраторы, дешифраторы, цифровые компараторы, мультиплексоры, демультимплексоры, сумматоры, полусумматоры, ключи,

арифметико-логические устройства, микроконтроллеры, (микро)процессоры, однокристалльные микрокомпьютеры, микросхемы и модули памяти, ПЛИС):

- микросхемы логические, включая логические элементы, триггеры и схемы цифровых устройств;

- микросхемы запоминающих устройств;

- микросхемы вычислительных средств, включая микропроцессоры, микроЭВМ, цифровые процессоры обработки сигналов и контроллеры;

- микросхемы интерфейса, включая схемы для организации локальных вычислительных сетей;

- базовые матричные кристаллы и микросхемы на их основе, программируемые логические интегральные микросхемы;

- микросхемы цифровые прочие;

2) **микросхемы аналоговые:**

- усилители;

- коммутаторы и ключи;

- компараторы;

- преобразователи сигналов;

- формирователи, модуляторы, детекторы и генераторы;

- микросхемы для источников вторичного электропитания;

- фильтры;

- микросхемы аналоговые прочие;

3) **микросхемы интегральные аналого-цифровые и цифро-аналоговые:**

- преобразователи аналого-цифровые;

- преобразователи цифро-аналоговые;

- микросхемы аналого-цифровые и цифро-аналоговые прочие;

4) **микросхемы преобразователей физических величин и компонентов датчиков.**

Интеграция САПР «МАКС» И САРУС.CAD

Кривошеев О.В., Трищенко А.В., Ганчук С.Н., Уразов А.В.,
Сыров С.А., Щербаков А.А., Кузнецова А.А.

Федеральное государственное унитарное предприятие
РОССИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ЦЕНТР

Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики
(ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»)
Институт цифровых технологий
avurazov@rosatom.ru

Аннотация

Рассматривается задача интеграции системы автоматизированного проектирования «МАКС» и системы полного жизненного цикла «САРУС». В статье представлены технические решения по сопряжению продуктов и перспективы дальнейшего развития.

Integrating the MAKES computer-aided-design system to the SARUS.CAD

Krivosheev O.V., Trishchenkov A.V., Ganchuk S.N., Urazov A.V., Syrov S.A., Shcherbakov A.A., Kuznetsova A.A.

Abstract

The following article considers the task of integrating the MAKES Computer-Aided-Design System to the SARUS Product Lifecycle Management System. The article presents technical solutions for pairing these products and describes prospects for further development.

Введение

СПЖЦ «САРУС» – импортнезависимая защищенная система управления жизненным циклом изделий от проектирования до эксплуатации. Ориентирована на машиностроительный сегмент и может быть использована для создания приборов, датчиков, механизмов и двигателей средней сложности.

Продукт может работать как на операционной системе Windows, так и на российской операционной системе Astra Linux. В числе преимуществ также стоит отметить применение собственного ядра геометрического моделирования. Полная импортнезависимость и защищенное исполнение сегодня являются ключевыми преимуществами СПЖЦ «САРУС».

Система сможет применяться на предприятиях, использующих различные типы

производства. Продукт развивается в рамках модульной концепции: основные его элементы – управление предприятием в целом, а также жизненным циклом непосредственно выпускаемой продукции.

Сегодня в СПЖЦ «САРУС» входят 17 модулей (CAD, PDM, CAPP, CAM, ILS, CAE, IETM, БД НМО, BI, BPMS, MDM, ECM, IP, TP, DBMS, HV, VDI), объединенных в комплекс программ в защищенном исполнении.

Программный модуль «Система конструкторского проектирования» (CAD) предназначен для создания и конструкторского проектирования трехмерных объектов, а также снижения затрат времени на трудоемкость разработки сложных наукоемких конструкций изделия.

Реализация программного модуля «Кабели и жгуты» осуществляется на базе CAD-системы в отдельной библиотеке и

дает возможность проводить проектирование и маршрутизацию электрокабельных составляющих 3D-моделей изделий.

Функционал программного модуля представляет собой полностью интегрированный в интерфейс «Системы конструкторского проектирования» инструмент разработки электрокабельных жгутов и средства трассировки, позволяя осуществлять прокладку кабельных компонентов изделия в ручном и полуавтоматическом режимах.

Инструменты проектирования и маршрутизации электрокабельных составляющих позволяют создавать жгуты проводов непосредственно в сборочной модели проектируемого изделия.

Интеграция САПР «МАКС» и САРУС.CAD

САПР «МАКС» – отечественное программное решение, основной задачей которого является автоматизация процесса проектирования кабельных сетей и трубопроводных систем на предприятиях прибор-, машино-, авиастроения и других передовых отраслей промышленности.

Для обеспечения возможности обмена информацией между системами в конце 2021 года были проведены работы по сопряжению продуктов.

В процессе интеграции САПР «МАКС» и программного модуля «Системы конструкторского проектирования» СПЖЦ «САРУС» были проведены следующие этапы работ:

1. Моделирование проводников электрической схемы в трехмерном пространстве программного модуля САРУС.CAD, спроектированной в САПР «МАКС».

Данные схемы экспортируются из САПР «МАКС» в виде структурированного XML-документа и импортируются в модуль САРУС.CAD.

Трехмерные представления подключений формируются автоматически. По умолчанию провода создаются в виде тонких линий. Они ассоциативно связаны с точками контакта. На рисунке 1 показаны добавляемые провода в процессе работы команды и после.

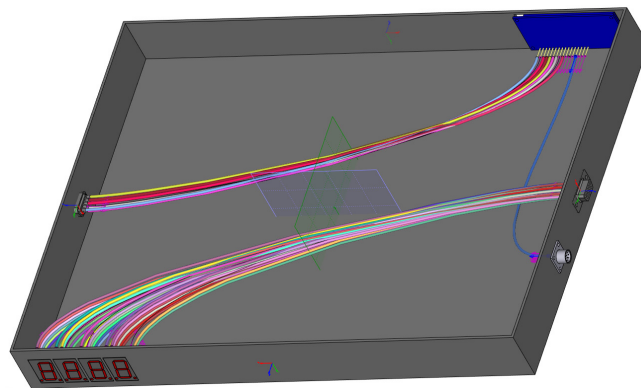


Рисунок 1 – Провода во время и после добавления в модель

При выборе проводов в дереве навигатора, таблице соединений или в графическом поле они подсвечиваются для однозначного определения нужной линии связи в множестве связей.

Все соединения, представленные в трехмерном пространстве, будут созданы в соответствии со схемой в САПР «МАКС».

2. Трассировка проводников.

В процессе моделирования схемы происходит прокладывание проводников по маршруту посредством функции «трассировка», представленной в программном модуле САРУС.CAD. Диаметр участка жгута меняется в зависимости от количества проводов в сегменте.

В режиме автотрассировки модуль автоматически подбирает оптимальные маршруты и объединяет их в трассы. На рисунках 2 и 3 представлена модель во время и после трассировки.

После завершения трассировки в созданный ранее файл экспорта записываются длины проводников.

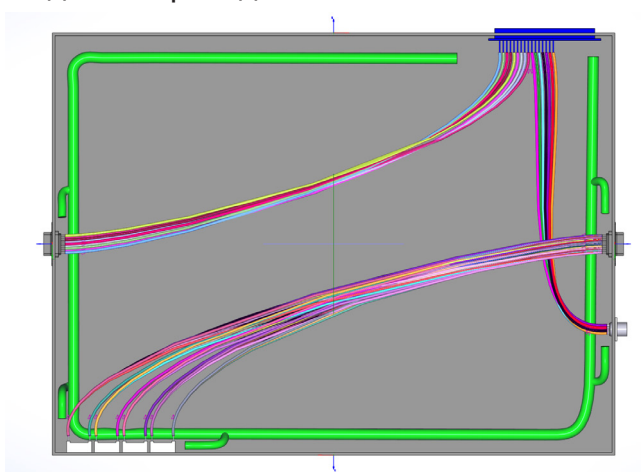


Рисунок 2 – Модель во время трассировки

3. Расчет и передача длин проводников в САПР «МАКС».

Данные о длинах проводников, полученные в результате моделирования схемы в программном модуле САРУС.CAD (рисунк 4), импортируются в САПР «МАКС». Система оповещает о новых значениях и назначает значения длин проводникам схемы, спроектированной в САПР «МАКС».

При этом на основе длин проводников и топологии электрокабельных конструкций, полученных из САРУС.CAD, в САПР «МАКС» автоматически формируется комплект конструкторской документации, включая спецификацию, сборочный чертеж, таблицу соединений и т.д.

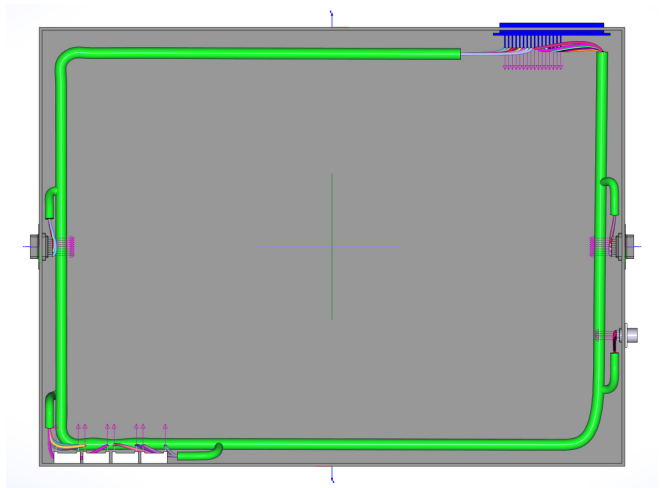


Рисунок 3 – Модель после трассировки

Заключение. Развитие

В настоящий момент разработанный модуль позволяет создавать упрощенные модели трехмерных электрокабельных конструкций.

В качестве перспективы развития модуля – реализация функций создания моделей с полным описанием структуры кабелей и с поддержкой межмодульных соединений, добавление возможностей автомати-

ческого формирования конструкторских чертежей на базе данных 3D-модели.

По мере реализации функциональности программного модуля САРУС.CAD в части проектирования электрокабельных конструкций совместно со специалистами АО «Цифровая мануфактура» планируется развитие инструментов взаимной интеграции систем.

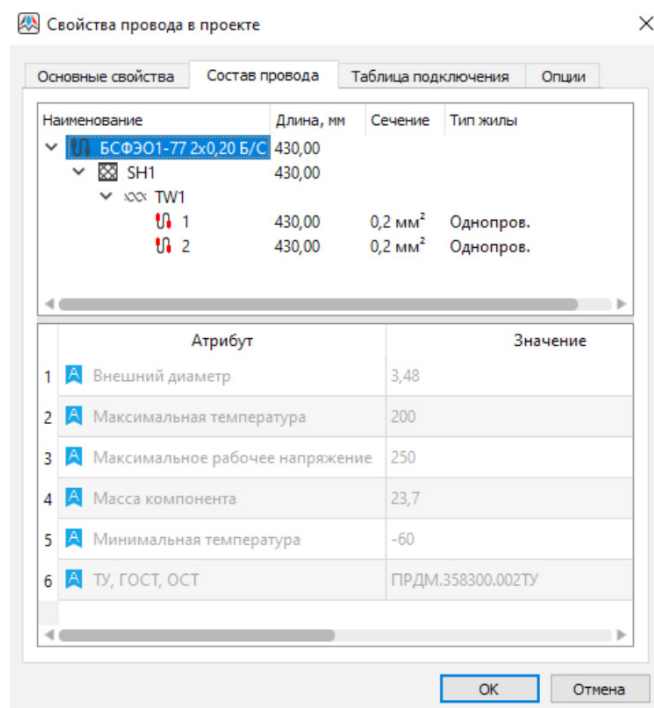


Рисунок 4 – Назначения длин проводам

Библиография

[1] Кривошеев, О.В. «САРУС». Атомный фундамент для САПР Электроники/О.В. Кривошеев // САПР Электроники. – 2023 №1 (1). – с. 77-79.

[2] САПР «МАКС»: официальный сайт. – URL: <https://maks.manufactory.digital>

[3] Цифровое предприятие – комплекс программ в защищенном исполнении: официальный сайт. – URL: <https://цифровое-предприятие.рф>

УДК 621.396.69

Методика обеспечения контролепригодности радиоэлектронных устройств

Увайсов Сайгид Увайсович,

Москва, РТУ МИРЭА, д.т.н., проф., зав. кафедрой КПРЭС
uvaysov@yandex.ru

Черноверская Виктория Владимировна,

Москва, РТУ МИРЭА, к.т.н., доцент кафедры КПРЭС
v_chernoverskaya@mail.ru

Иванов Илья Александрович,

Москва, РТУ МИРЭА, к.т.н., доцент кафедры КПРЭС

Раевский Георгий Петрович,

Москва, РТУ МИРЭА, к.т.н., доцент кафедры КПРЭС

Увайсова Аида Сайгидовна,

Москва, РТУ МИРЭА, к.т.н., инженер кафедры РЭС

Аннотация

Конструктивная и функциональная сложность современных радиоэлектронных устройств (РЭУ) весьма остро поднимает вопросы обеспечения их контролепригодности и диагностируемости, поскольку именно эти составляющие играют ключевую роль в поддержании исправного и работоспособного состояния РЭУ в ходе его эксплуатации. В современных условиях разработки перед инженерами встает задача обеспечения контролепригодности на ранних этапах проектирования РЭУ, что является гарантом поддержания высоких надежностных показателей устройства в течение всего срока службы. В статье приведены результаты научного исследования, в ходе которого был разработан метод обеспечения контролепригодности РЭУ и реализующий его алгоритм, создана аналитическая диагностическая модель, выявлены ключевые диагностические признаки, предложен механизм расчета допусков на электрические параметры ЭРЭ и определения контрольных точек схемы РЭУ. Апробация результатов исследования показала возможность использования предложенного метода при разработке РЭУ с целью повышения эффективности проектных процедур и качества производимых радиоэлектронных средств.

Ключевые слова: радиоэлектронное устройство, техническая диагностика, функция чувствительности, диагностический признак, контрольная точка, проектирование, конструирование, технологический допуск, отбраковочный допуск.

Methodology for ensuring the testability of radio-electronic devices

Uvaisov S.U., Chernoverskaya V.V., Ivanov I.A., Raevsky G.P., Uvaisova A.S.

Abstract

The structural and functional complexity of modern radio-electronic devices (RED) very acutely raises the issue of ensuring their testability and diagnosability, since these components play a key

role in maintaining the serviceable and operational state of the RED during its operation. In modern development conditions, engineers are faced with the task of ensuring testability at the early stages of designing a RED, which is a guarantee of maintaining high reliability indicators of the device throughout its entire service life. The article presents the results of a scientific study, during which a method was developed to ensure the testability of the RED and an algorithm that implements it, an analytical diagnostic model was created, key diagnostic features were identified, a mechanism was proposed for calculating tolerances for the electrical parameters of electronic components and determining the control points of the RED circuit. Approbation of the research results showed the possibility of using the proposed method in the development of RED in order to increase the efficiency of design procedures and the quality of produced radio-electronic equipment.

Keywords: radio-electronic device, technical diagnostics, sensitivity function, diagnostic sign, control point, design, construction, technological tolerance, rejection tolerance.

Введение

Современные радиоэлектронные устройства (РЭУ) являются сложными техническими системами, сложность которых сама по себе является системной характеристикой, затрагивающей ключевые аспекты их разработки: функциональная сложность, сложность конструкторских решений, сложность технологических процессов производства, сложность в эксплуатации, сложность контроля и диагностики.

Стремление расширить спектр решаемых задач и сконцентрировать в одном РЭУ функционал нескольких устройств достигается за счет усложнения схемной, алгоритмической, конструктивно-технологической, программной реализации, а также за счет профессиональной подготовки эксплуатирующего и обслуживающего персонала.

Таким образом, сложность современных РЭУ носит комплексный, многоаспектный характер, и должна учитываться на всех этапах их жизненного цикла (ЖЦ). И если этапы проектно-конструкторской и технологической деятельности позволяют формализовать данный процесс за счет применения современных CAD/CAE/CAM систем, применения инструментов компьютерного и математического моделирования, итерационных проектных процедур, то задачи технической диагностики и контроля в этом плане менее проработаны.

В связи с постоянным усложнением радиоэлектронных устройств вопрос обеспечения их контролепригодности в настоящее время стоит особенно остро. Поскольку в условиях эксплуатации практически отсут-

ствует возможность улучшения контролепригодности РЭУ, то важно обеспечить ее на этапе проектирования устройства. Однако, проблема заключается в отсутствии методов, позволяющих на ранних этапах разработки (автоматизированного проектирования) РЭУ обеспечить возможность их диагностирования хотя бы в объеме критически важных контролируемых параметров. При этом для выбора метода и средств диагностирования необходимо учитывать индивидуальные особенности конкретного РЭУ.

Конструкторско-технологическое проектирование РЭУ начинается со схематического проектирования, результатом которого является схема электрическая принципиальная и перечень элементов разрабатываемого устройства. Если рассматривать этот процесс с точки зрения обеспечения контролепригодности, то разработка соответствующей методики потребует решения ряда взаимосвязанных задач, среди которых особое внимание следует уделить выбору и ранжированию значимых диагностических признаков, расчету коэффициентов значимости, расчету допусков на параметры элементов с учетом дестабилизирующих факторов.

1 Выбор диагностических признаков печатного узла РЭУ

При проектировании контролепригодных РЭУ и, в частности, печатных узлов (ПУ), как основных функциональных единиц, необходимо обеспечить глубину диагностирования вплоть до комплектующих

электрорадиоэлементов (ЭРЭ), т.е. необходимо определить фактические значения их электрических параметров. Поскольку проектирование осуществляется средствами САПР, то речь идет о параметрах моделей ЭРЭ, т.е. разработчик, используя методы компьютерного моделирования, определяет численные значения модельных параметров таким образом, чтобы «цифровой двойник» удовлетворял всем схемотехническим требованиям к РЭУ. Эти параметры и являются диагностическими признаками РЭУ – их изменение отражается на поведении схемы и ее реакции на входные воздействия при диагностировании устройства.

При формировании совокупности диагностических признаков следует помнить о размерности решаемой задачи. Печатные узлы современных РЭУ характеризуются высокой плотностью монтажа ЭРЭ при сравнительно небольших линейных размерах печатной платы, поэтому число диагностических признаков и размерность диагностической модели, которую нужно исследовать для получения фактических значений параметров ЭРЭ, может составлять $10^3 \dots 10^5$ показателей.

Решение подобных диагностических задач даже для высокопроизводительных вычислительных систем весьма трудоемко и требует больших временных затрат, что в условиях штатной эксплуатации РЭУ становится практически невозможным. Следовательно, исходя из ТЗ на проектирование, условий диагностирования РЭУ и характеристик контрольно-измерительного оборудования, необходимо сформулировать критерий выбора наиболее важных диагностических признаков, относительно которых будет оцениваться фактическое техническое состояние РЭУ.

В представленном исследовании в качестве основного диагностического признака применялась функция чувствительности $S_{q_i}^y$ (чувствительность выходной характеристики к изменению параметра ЭРЭ). Функция чувствительности в общем случае представляет собой аналитическую зависимость выходного параметра от параметров ЭРЭ, времени (частоты) и дестабилизирующих факторов в явном виде:

$$y=f(q_1, q_2, \dots, q_m, t) \quad (1)$$

где y – выходной параметр узла;
 q_1, q_2, \dots, q_m – параметры ЭРЭ;
 t – время.

Тогда функция чувствительности определяется по формуле:

$$\frac{\partial y(t, q_i)}{\partial q_i} = u(t, q_i) \quad (2)$$

Если математическая модель представлена в неявном виде, то функция чувствительности определяется решением системы уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial y^n} * \frac{\partial y^n}{\partial q_1} + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} * \frac{\partial y^{n-1}}{\partial q_1} + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} * \frac{\partial y}{\partial q_1} - \frac{\partial f}{\partial q_1} &= 0; \\ \dots & \dots \\ \frac{\partial f}{\partial y^n} * \frac{\partial y^n}{\partial q_m} + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} * \frac{\partial y^{n-1}}{\partial q_m} + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} * \frac{\partial y}{\partial q_m} - \frac{\partial f}{\partial q_m} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

или

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial y^n} * \frac{\partial^n}{\partial t^n} * \frac{\partial y}{\partial q_1} + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} * \frac{\partial^{n-1}}{\partial t^{n-1}} * \frac{\partial y}{\partial q_1} + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} * \frac{\partial y}{\partial q_1} - \frac{\partial f}{\partial q_1} &= 0; \\ \dots & \dots \\ \frac{\partial f}{\partial y^n} * \frac{\partial^n}{\partial t^n} * \frac{\partial y}{\partial q_m} + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} * \frac{\partial^{n-1}}{\partial t^{n-1}} * \frac{\partial y}{\partial q_m} + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} * \frac{\partial y}{\partial q_m} - \frac{\partial f}{\partial q_m} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

С учетом формулы (2) получим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial y^n} u^n(t, q_1) + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} u^{n-1}(t, q_1) + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} u(t, q_1) - \frac{\partial f}{\partial q_1} &= 0; \\ \dots & \dots \\ \frac{\partial f}{\partial y^n} u^n(t, q_m) + \frac{\partial f}{\partial y^{n-1}} u^{n-1}(t, q_m) + \dots + \frac{\partial f}{\partial y} u(t, q_m) - \frac{\partial f}{\partial q_m} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Решая систему уравнений (5) определяют функцию чувствительности [1].

В большинстве пакетов схемотехнического проектирования для анализа применяется метод узловых потенциалов, в соответствии с которым эквивалентная схема замещения РЭУ может быть представлена в матричной форме:

$$AGA^t \varphi = AI + AGE \quad (6)$$

где A и A^t – прямая и транспонированная матрицы инцидентности схемы,

G – диагональная матрица проводимостей ветвей схемы,

φ – матрица узловых потенциалов схемы,

I – матрица источников токов в ветвях схемы,

E – матрица источников ЭДС в ветвях схемы.

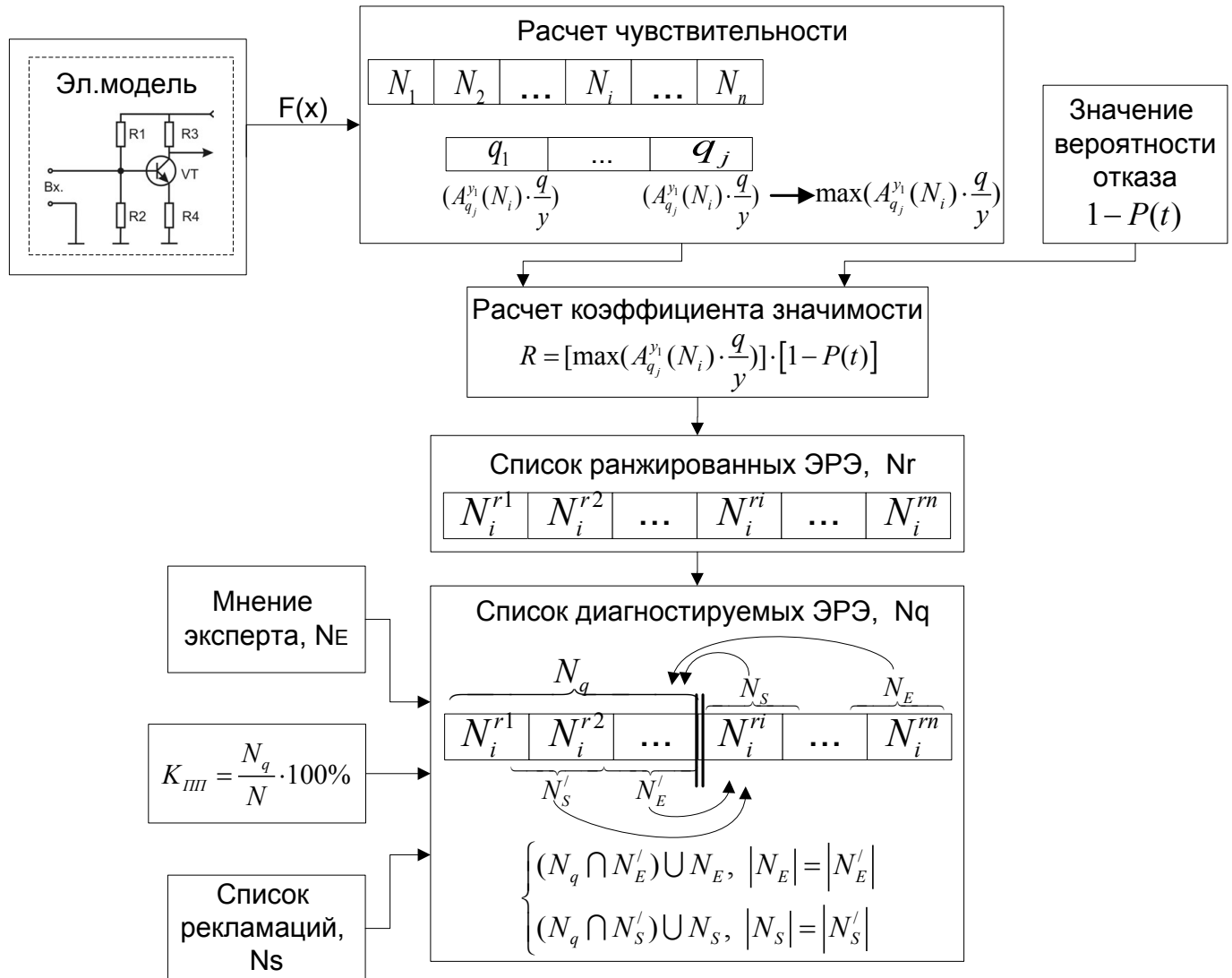


Рисунок 1 – Схема процесса ранжирования ЭРЭ по степени их влияния на выходные характеристики устройства

Для решения диагностических задач можно считать, что в схеме отсутствуют внутренние источники ЭДС и тогда общее выражение (6) можно записать в виде:

$$AGA^t \varphi = A I \quad (7)$$

Если в схеме n узлов и m ветвей, то:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix};$$

$$A^t = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{n1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1m} & a_{2m} & \dots & a_{nm} \end{pmatrix};$$

$$G = \begin{pmatrix} g_{11} & g_{12} & \dots & g_{1m} \\ g_{21} & g_{22} & \dots & g_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ g_{m1} & g_{m2} & \dots & g_{mm} \end{pmatrix} \quad (8)$$

где $g_{ij} = 0$, если $i \neq j$;

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \\ \dots \\ \varphi_n \end{pmatrix}; \quad I = \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \dots \\ I_m \end{pmatrix} \quad (9)$$

Поскольку $AGA^t = Y$ и $A I = y$, то выражение (7) можно представить в виде:

$$Y^* \varphi = I \quad (10)$$

где Y – матрица узловых проводимостей схемы, I – узловые токи [2].

Последнее выражение можно представить в виде:

$$(Y + \Delta Y)^* (\varphi + \Delta \varphi) = I \quad (11)$$

где ΔY – отклонение электрического параметра схемы из-за влияния дестабилизирующих факторов или по причине имеющейся неисправности,

$\Delta \varphi$ – соответствующее ΔY отклонение узлового потенциала от номинального значения в этом же узле.

Правая часть уравнения остается неизменной, поскольку представляет собой тестовое воздействие, подаваемое на вход схемы для диагностирования. Напряжение, измеренное в узле, равно:

$$U = \varphi + \Delta\varphi \quad (12)$$

Номинальное значение напряжения U в этом узле может быть рассчитано при номинальных значениях всех внутренних электрических параметров РЭУ:

$$U = Y^{-1} * I \quad (13)$$

При диагностике реальных схем РЭУ исследуемые параметры необходимо упорядочить (проранжировать) по степени их влияния на выходные характеристики устройства [3]. Коэффициент значимости параметра определяется на основе аппарата нечеткой логики, как свертка функции чувствительности реакции схемы на тестовое воздействие по каждому параметру и индивидуального показателя надежности ЭРЭ (вероятности отказа и коэффициента режима конкретного ЭРЭ). Аппарат нечеткой логики базируется на методах экспертных оценок и дальнейшей обработке полученных результатов. Схема процесса упорядочивания ЭРЭ по степени значимости приведена на рисунке 1.

Помимо ранжирования диагностических признаков очень важно определить контрольные точки (КТ) схемы. Выбор контрольных точек осуществляется на основе анализа ранга матрицы чувствительности диагностической модели РЭУ при заданных тестовых воздействиях. Условием включения очередной точки в перечень КТ является численное равенство ранга матрицы числу параметров; при этом уравнения, входящие в систему, должны быть линейно независимыми.

В выбранных контрольных точках по результатам измерения отклика схемы на входные тестовые воздействия рассчитываются фактические значения диагностических признаков [4].

При этом значение напряжения в n -й контрольной точке U_n с учетом погрешности измерения δ_n равно:

$$U_n + \delta_n = Y_n^{-1} I_n + \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L \frac{\partial U_n}{\partial y_m} \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \Delta q_l \quad (14)$$

Данное выражение представляет со-

бой диагностическую модель, в которой измеренные в контрольных точках схемы напряжения U_n связаны со входными тестовыми воздействиями в виде узловых токов I_n через вариации значений первичных модельных параметров схемы. Эти вариации в возмущенной схеме обусловлены дрейфом параметров и интерпретируются как неисправность схемы РЭУ в случае, если $|\Delta q_l| > |\Delta q_l^{доп}|$, где $\Delta q_l^{доп}$ – допуск на l -й электрический параметр схемы.

Поскольку измеренные значения выходных напряжений в узлах схемы содержат погрешность, то выражение (14) является вероятностной моделью, которая описывается системой линейных уравнений. С учетом этого можно записать математическое ожидание и дисперсию линейной функции:

$$\begin{pmatrix} U_{11} \\ U_{12} \\ \dots \\ U_{1n} \\ \dots \\ U_{1N} \\ U_{2N} \\ \dots \\ U_{kN} \end{pmatrix} = (Y_{kk})^{-1} * \begin{pmatrix} I_{11} \\ I_{12} \\ \dots \\ I_{1n} \\ \dots \\ I_{1N} \\ I_{2N} \\ \dots \\ I_{kN} \end{pmatrix} + \left(\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \right)_{kk} * \begin{pmatrix} M_1(\Delta q_1) \\ M_1(\Delta q_2) \\ \dots \\ M_1(\Delta q_l) \\ \dots \\ M_1(\Delta q_L) \\ M_2(\Delta q_1) \\ \dots \\ M_k(\Delta q_L) \end{pmatrix} \quad (15)$$

где Y_{kk} – диагонально-блочная матрица вида:

$$Y_{kk} = \begin{pmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ Y_{k1} & \dots & Y_{kk} \end{pmatrix}$$

$$Y_k = \begin{pmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ Y_{N1} & \dots & Y_{Nn} \end{pmatrix}$$

где Y_k – узловые проводимости схемы в N узлах при k -том тестовом воздействии;

$$\left(\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \right)_{kk} = \begin{pmatrix} \frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_{l1}} & \dots & \frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_{l1k}} \\ \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_{lk1}} & \dots & \frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_{lkk}} \end{pmatrix}$$

$$\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_{l1}} = \begin{pmatrix} \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{k1}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_1} & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{k1}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_2} & \dots & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{k1}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kn}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_1} & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kn}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_2} & \dots & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kn}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kN}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_1} & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kN}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_2} & \dots & \sum_{m=1}^M \frac{\partial U_{kN}}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \end{pmatrix}$$

При этом $Y_i \neq Y_j$;

$$\left(\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \right)_i \neq \left(\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \right)_j ;$$

$$M_1(\Delta q_l) = M_2(\Delta q_l) = \dots = M_k(\Delta q_l)$$

Если погрешности измерения напряжений в контрольных точках подчиняются нормальному закону распределения, то согласно «правилу трех сигм» можно записать:

$$U * \delta = 3 * \sigma(U)$$

$$\sigma(U) = \frac{U * \delta}{3} \text{ или } D(U) = \left(\frac{U * \delta}{3}\right)^2$$

С учетом этого диагностическая модель РЭУ относительно дисперсии отклонений электрических параметров от их номинальных значений будет иметь вид:

$$\begin{pmatrix} \left(\frac{U_{11} * \delta}{3}\right)^2 \\ \left(\frac{U_{12} * \delta}{3}\right)^2 \\ \dots \\ \left(\frac{U_{1n} * \delta}{3}\right)^2 \\ \dots \\ \left(\frac{U_{1N} * \delta}{3}\right)^2 \\ \left(\frac{U_{2N} * \delta}{3}\right)^2 \\ \dots \\ \left(\frac{U_{kN} * \delta}{3}\right)^2 \end{pmatrix} = \left(\left(\frac{\partial U_n}{\partial y_m} * \frac{\partial y_m}{\partial q_l} \right)_{kk} \right)^2 * \begin{pmatrix} D_1(\Delta q_1) \\ D_1(\Delta q_2) \\ \dots \\ D_1(\Delta q_l) \\ \dots \\ D_1(\Delta q_L) \\ D_2(\Delta q_1) \\ \dots \\ D_k(\Delta q_L) \end{pmatrix} \quad (16)$$

причем $D_i(\Delta q) = D_j(\Delta q)$.

Уравнения (15) и (16) позволяют рассчитать математическое ожидание и диспер-

сию фактических отклонений диагностических признаков схемы от их номинальных значений.

Таким образом, для выявления параметрических неисправностей схемы РЭУ нужно сравнить полученные значения $M(\Delta q)$ и $\sigma(\Delta q)$ с установленными проектными допусками на электрические параметры элементов схемы, как показано на рисунке 2.

2 Расчет диагностических допусков на электрические параметры ЭРЭ

Оценивание технического состояния РЭУ на основе сравнения фактических значений параметров ЭРЭ с технологическими допусками на них может привести к неверным результатам. Поэтому, возникает задача сужения поля технологических допусков на величину дрейфа электрических параметров, который возникает вследствие деградационных процессов, связанных со старением, и температурных перепадов.

В настоящее время расчет таких отбраковочных допусков осуществляется посредством имитационного моделирования методом статистических испытаний Монте-Карло [5, 6].

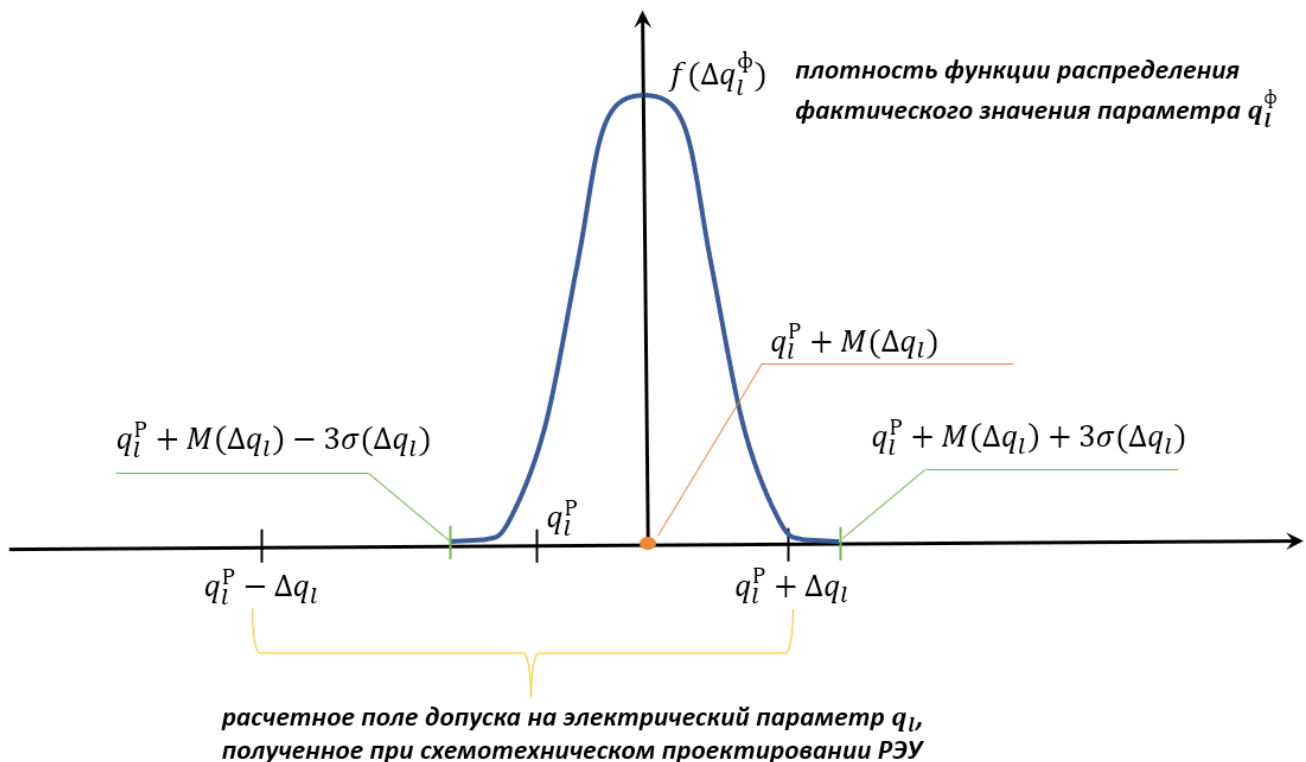


Рисунок 2 – Сравнение фактического значения электрического параметра схемы РЭУ с назначенным полем допуска

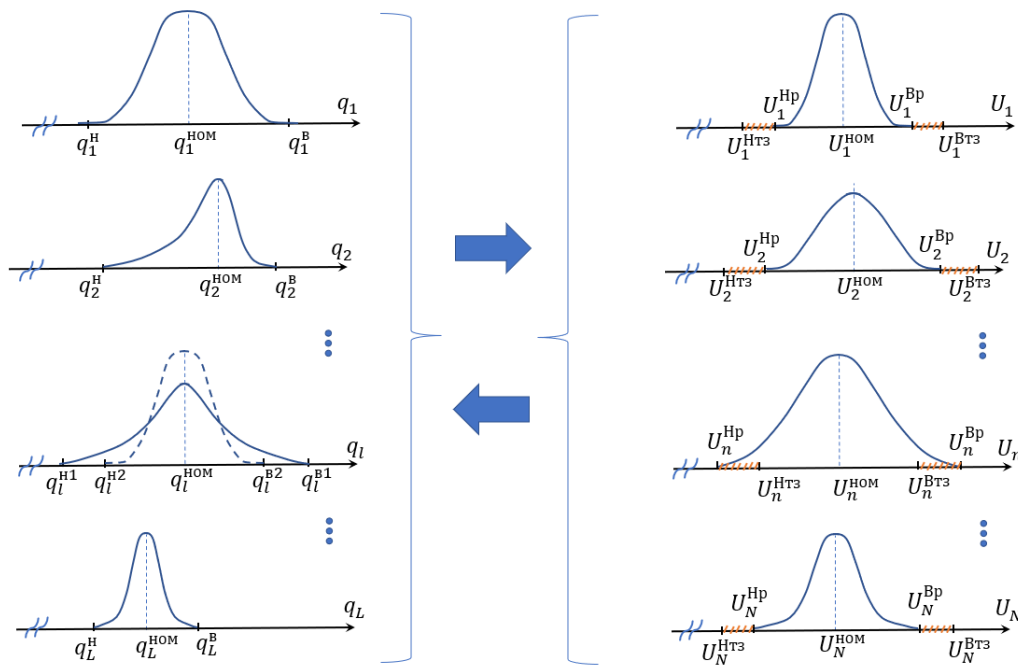


Рисунок 3 – Иллюстрация синтеза технологических допусков на электрические параметры элементов РЭУ методом имитационного статистического моделирования

Следует помнить, что точность метода Монте-Карло во многом зависит от числа проведенных испытаний. Если, например, задать погрешность оценки M_i и σ_i в пределах $[0,01...0,001]\%$ с доверительной вероятностью $0,9...0,95$, то потребуется до 10^8 испытаний. Однако в практических задачах часто оказываются приемлемыми погрешности оценок M_i и σ_i в пределах $[10...24]\%$ с доверительной вероятностью $0,9...0,95$, что обеспечивается при числе испытаний $N \in [50...200]$.

Процесс синтеза начинается с задания максимальных допусков на электрические параметры q_i ЭРЭ и расчета методом статистических испытаний Монте-Карло соответствующих им разбросов выходных характеристик U_n . Если в результате моделирования при заданном наборе разбросов параметров хотя бы одна характеристика не будет соответствовать требованиям ТЗ, то выбирается электрический параметр q_i , допуск на который нужно сузить. Итерационный процесс будет повторяться до тех пор, пока все расчетные значения разбросов выходных характеристик не будут удовлетворять требованиям ТЗ. Допуски на электрические параметры, при которых это удалось обеспечить, фиксируются как допуски, гарантирующие исправность схемы. Ориентируясь на эти допуски параметров,

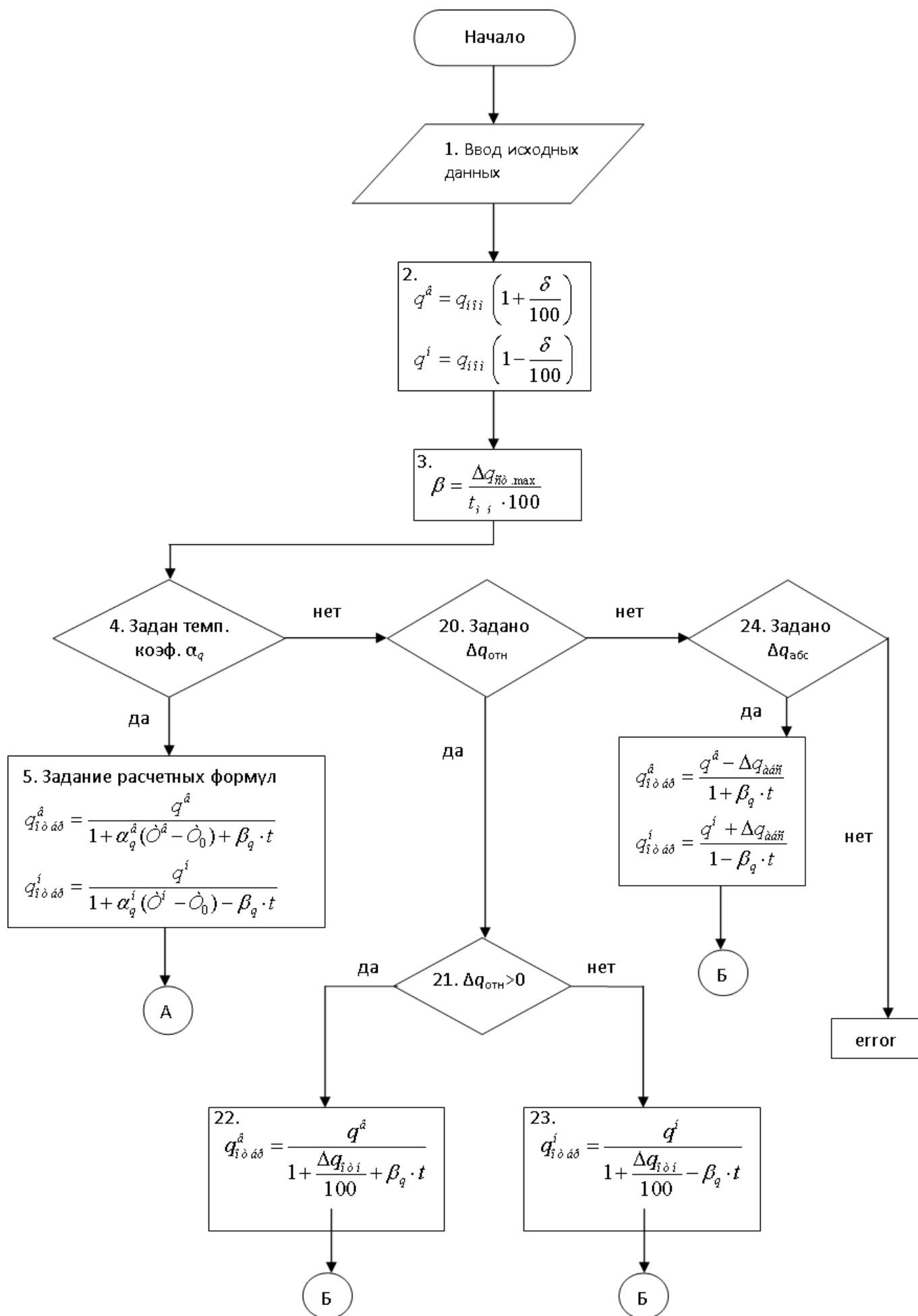
выбираются ближайшие технологические допуски [6].

Процесс синтеза допусков на электрические параметры q_i при заданных в техническом задании (ТЗ) допусках U_n на выходные характеристики РЭУ проиллюстрирован на рисунке 3. При этом допуски на параметры могут быть и несимметричными как для q_2 .

На основе всего вышеизложенного в рамках представленного исследования был предложен метод расчета отбраковочных допусков, блок-схема алгоритма которого представлена на рис. 4. Метод позволяет рассчитывать отбраковочные допуски на параметры ЭРЭ в виде коэффициентов, максимально допустимых отклонений и т.д. Кроме этого, он позволяет учитывать влияние температуры и временных деградационных факторов, неотъемлемых для любых ЭРЭ.

В методе заложена возможность расчета допусков, когда температурные коэффициенты изменения параметров ЭРЭ являются линейными или кусочно-линейными на двух диапазонах температур. При этом температурные коэффициенты могут быть как положительными, так и отрицательными.

Аналогичные аспекты учитывались в предложенном методе и при оценке про-



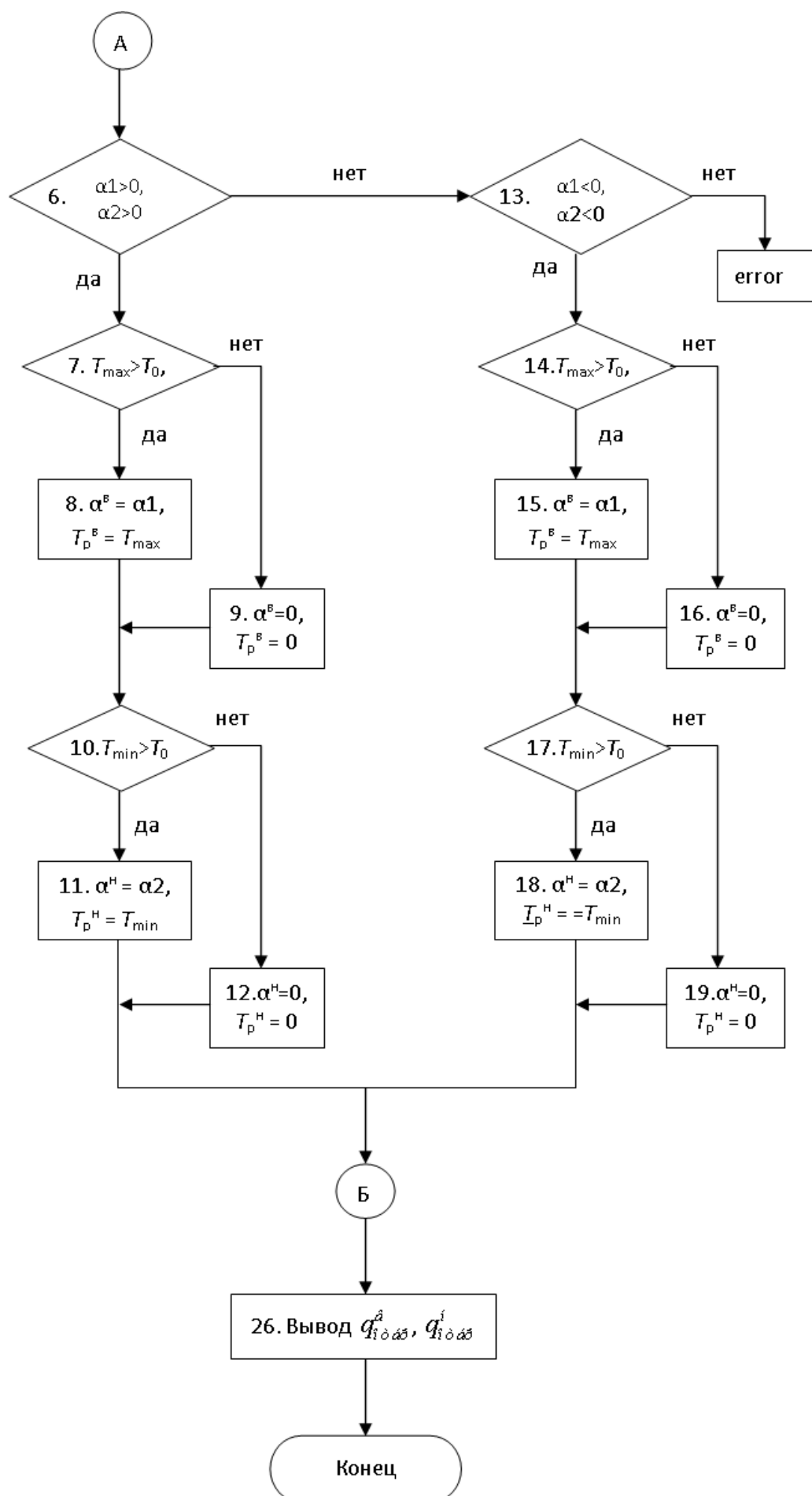


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма расчета значений отбраковочных допусков

цессов старения с использованием соответствующих коэффициентов.

Для удобства в методе расчета отбраковочных допусков была заложена возможность работать с исходными данными в виде относительного технологического допуска, выраженного в процентах, или в виде диапазона допустимых значений параметра. Вследствие того, что стабильность параметров ЭРЭ во времени, как правило, задается минимальной наработкой на отказ, то предложенный метод обеспечивает возможность ввода как минимальной наработки, так численных значений коэффициента старения.

Заключение

Сложность современных РЭУ требует от разработчиков постоянного поиска новых подходов и методов обеспечения высоких эксплуатационных характеристик и показателей надежности. При этом возможность контролировать параметры разрабатываемого устройства с целью обеспечения его работоспособного состояния, должна закладываться как можно раньше, на начальных этапах проектирования, поскольку обеспечить в полной мере этот процесс на этапе эксплуатации не представляется возможным. Современные программные средства автоматизированного проектирования и математические процессоры содержат разнообразный инструментарий, позволяющий разработчику создавать диагностические модели, наиболее полно отражающие свойства и характеристики проектируемых устройств. В свою очередь, возможность проведения многократных вычислительных экспериментов позволяет найти оптимальное проектное решение, в котором с заданной точностью будут обеспечены требования

к вариациям внутренних параметров РЭУ и значения его выходных характеристик. Это позволит обеспечить исправное состояние узлов и блоков электронного средства и продлить срок его службы в целом.

Библиография

[1] Евсиков Ю.А., Обрезков Г.В., В.Д. Разевиг и др. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике/ Под ред. Г.В.Обрезкова. – М.: Высшая школа, 1985. 343 с.

[2] Ройтмэн Л., Свами М. Метод диагностики цепей. ТИИЭР, 1981, т. 69, N 5. С.194-195.

[3] Данилин Н.С., Нуров Ю.Л. Диагностика и контроль качества изделий цифровой микроэлектроники. – М., 1991.

[4] Иванов И.А., Масленникова Я.Л., Фомина И.А., Хацкевич О.П. Проектирование контролепригодных РЭС // Инновации в условиях развития информационно-коммуникационных технологий: Материалы научно-практической конференции / Под ред. В.Г. Домрачева, С.У. Увайсова – М.: МИЭМ, 2008. С. 116 – 117.

[5] Ломакина Л.С. Теория контролепригодности структурно связанных технических и технологических объектов и оптимизация алгоритмов их синтеза. Дисс. д.т.н.– Тагантог: ТРИ им В.Д.Калмыкова, 1993.

[6] Еремина В.Е., Увайсова С.С., Масленникова Я.Л. Синтез отбраковочного допуска на емкость конденсаторов с учетом температурного фактора. Инновационные технологии, научные и технические достижения, их правовая защита: Сборник статей IV Международной Научно-практической конференции – Тольятти – Москва: Издательство «Типография Ника», 2011. 356 с.

Концепция перехода к машинопонимаемому формату документов по стандартизации и интеграции фонда нормативных документов с автоматизированными информационными системами

Ерофеева Т.К., Сбитнев С.Е., Ульянин О.В.
ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова» – Москва, Россия
mvsimkina@vniia.ru

Аннотация

В статье представлены перспективы развития системы стандартизации в части внедрения системы управления нормативной документацией, роли стандартизации в оптимизации процессов жизненного цикла продукции, а также результаты анализа возможности интеграции фонда нормативных документов с автоматизированными информационными системами и системами автоматизированного проектирования (САПР) в рамках создания единого центра нормативно-справочной информации предприятия. Я точка, проектирование, конструирование, технологический допуск, отбраковочный допуск.

The concept of transition to a machine-understandable format of documents for standardization and integration of a fund of normative documents with automated information systems

Erofeeva T.K., Sbitnev S.E., Ulyanin O.V.

Abstract

The article presents the prospects for the development of the standardization system in terms of the implementation of a regulatory documentation management system, the role of standardization in optimizing product life cycle processes, as well as the results of an analysis of the possibility of integrating a fund of regulatory documents with automated information systems and computer-aided design (CAD) systems within the framework of creating a single regulatory center – reference information of the enterprise.

В настоящее время информационные системы стали популярным инструментом для сокращения времени протекания процессов разработки и производства продукции. В основополагающие документы по стандартизации включены дополнительные требования по применению информационных технологий (ИТ), статистических методов анализа, в том числе методов управления рисками при установлении ор-

ганизацией современных методов мониторинга и измерения процессов системы менеджмента качества (СМК). При планировании и документировании функций проверки качества разработки продукции установлены новые дополнительные требования по анализу эффективности применения вычислительных средств и разработанного специального программного обеспечения [1].

Автоматизация процессов (а в дальнейшем – и цифровизация) невозможна без глубокого анализа их текущего состояния для оценки возможности перехода к целевому с соблюдением требований документов по стандартизации (ДС) (как при производстве оборонной продукции, так и продукции гражданского назначения).

При этом следует отметить, что автоматизация процессов с целью их оптимизации должна выполняться параллельно с приведением содержания ДС к современному научно-техническому уровню.

Требования ДС должны охватывать все технические средства и системы ИТ, используемые для целей разработки, производства, сопровождения в эксплуатации и утилизации продукции. Таким образом, можно выделить четыре направления в области стандартизации:

- стандартизация «инструментальных» средств информационной поддержки продукции на всех стадиях жизненного цикла, к которым относятся все автоматизированные и информационные системы;

- стандартизация методов применения технических средств ИТ (автоматизированных и информационных систем) для информационной поддержки продукции на всех этапах жизненного цикла, а также стандартизация процессов, входящих в жизненный цикл продукции, автоматизированных с применением автоматизированных и информационных систем;

- стандартизация электронных документов и иных информационных структур (компьютерные и информационные модели, электронные справочники, «цифровые двойники», базы данных и др.), создаваемых и используемых в процессах жизненного цикла продукции;

- стандартизация терминов и определений в области ИТ, применяемых в документах по стандартизации.

Стандартизация электронных документов и иных информационных структур (информационные модели, «цифровые двойники» и др.), создаваемых и используемых в процессах жизненного цикла продукции, предусматривает разработку требований к:

- электронным техническим докумен-

там (конструкторским, технологическим, программным и др.), электронным дубликатам и копиям технических документов;

- электронным организационно-распорядительным документам;

- электронным нормативно-техническим документам;

- прочим (не относящимся к конструкторским, технологическим, программным и др. видам технических документов) электронным документам;

- информационным моделям объектов, компьютерным моделям продукции и компьютерным моделям физических процессов, связанных с продукцией, создаваемых для проведения расчетов, виртуальных экспериментов и виртуальных испытаний;

- электронным процессным моделям;

- прочим информационным структурам (структуры баз данных, информационные объекты и др.), не являющимся электронными документами, создаваемым и используемым для обработки, хранения и передачи информации, внутри и между информационными системами поддержки продукции на всех этапах жизненного цикла [2].

ДС создают единое информационное поле, которое создает основу новой динамично развивающейся цифровой реальности.

Система управления нормативной документацией (СУ НД), создаваемая на ФГУП «ВНИИА», должна обеспечивать минимизацию временных потерь на согласование и утверждение документов, а также повышение контролируемости процессов стандартизации. При этом СУ НД должна обеспечивать интеграцию с используемыми САПР и средствами разработки, автоматизацию проверки ссылочных нормативных документов, автоматизацию учета применяемости НД в конструкторской и технологической документации (КД, ТД).

При этом следует отметить, что на ФГУП «ВНИИА» ведутся работы по анализу фонда нормативных документов с целью оценки возможности автоматизации описанных в них процессов. Это требует приведения НД к современному научно-техническому уровню, в частности, для обеспечения легитимности применения электронной тех-

нической документации и установления:

- требований к видам и комплектности электронной технической документации;

- правил и технологий создания и оформления электронной технической документации различных видов;

- правил и технологий согласования и утверждения электронной технической документации, её корректировки;

- правил и технологий электронного документооборота, в том числе с использованием электронной подписи и криптографической защиты данных;

- правил и технологий хранения (архивирования) и тиражирования электронной технической документации.

Требования НД должны охватывать все технические средства и системы ИТ, используемые на всех этапах жизненного цикла продукции.

Все преимущества, которые ожидается получить от перевода фонда НД в машиночитаемый формат, в основном связаны с задачами совершенствования НД, управления фондом НД и доведения НД до пользователей.

Анализ ДС показал, что можно выделить следующие категории информационных объектов, которыми могут быть дополнены (в дальнейшем – заменены) ДС:

- 1 – параметрические твердотельные 3D-модели в формате САПР;

- 2 – электронные КД в формате САПР (2D-чертежи);

- 3 – электронные справочники и базы данных (БД);

- 4 – электронные ТД в формате САПР ТПП (технологической подготовки производства);

- 5 – расчетные программы и библиотеки.

Параметрические 3D-модели в формате САПР могут быть созданы в дополнение к ДС, содержащим конструкции и размеры различных стандартных изделий, инструмента и технологической оснастки. В перспективе такие

3D-модели должны быть выпущены в статусе утвержденного электронного КД, который обеспечит возможность применения 3D-модели при конструировании и воз-

можность изготовления изделий по 3D-модели одновременно.

Электронные КД в формате САПР могут быть выпущены в дополнение к ДС, содержащим самостоятельные приложения в виде комплекта чертежей. Электронные КД могут быть разработаны средствами САПР на основе

3D-модели изделия, описанного в ДС, и размещены для дальнейшего применения в архивах PDM-систем организации. В перспективе планируется создание фонда комплектов электронных КД на основе 3D-моделей, имеющих статус электронных приложений к ДС, и используемых для изготовления изделий.

Электронные справочники и БД могут быть созданы в дополнение к ДС, содержащим ограничительные перечни применяемых материалов, стандартных и покупных изделий. Электронные справочники и БД должны быть интегрированы с САПР, PDM-системой, MES-системой, системой закупок материалов (в составе ERP-системы), электронными справочниками стандартных изделий. Электронный справочник материалов и сортаментов играет ключевую роль в системе управления основными данными (MDM), так как является источником данных о материалах в стандартных изделиях, в деталях конструкций изделий, в инструментах и технологической оснастке, в расчете потребности в материалах для производства изделий, в процессе организации закупки материалов для производства изделий. Также электронный справочник материалов и сортаментов должен быть дополнен физическими свойствами материалов и служить источником данных для расчетов стойкости изделий к различным воздействиям на основе 3D-модели изделия.

Электронные ТД в формате САПР ТПП могут быть созданы в дополнение к ДС, содержащим типовые технологические процессы. На базе типовых технологических процессов планируется создание электронной библиотеки, которая будет востребована технологами на этапе ТПП.

Расчетные программы и математические библиотеки функций для использования в вычислительных системах могут

быть разработаны в дополнение к ДС, содержащим алгоритмы и формулы для расчетов, например, расчеты надежности и др. Расчетные программы могут быть разработаны в виде автономного программного обеспечения, а также в виде программ и библиотек для использования в системах высокопроизводительных вычислений или в виде программных модулей, встроенных в другие ИС [3].

Создаваемая на ФГУП «ВНИИА» СУ НД как ядро единого центра нормативно-справочной информации предприятия:

– предоставит полное нормативное обеспечение на этапах разработки и производства продукции за счет интеграции с системами, базами данных и ПО, такими как:

- 1) система планирования;
- 2) система электронного документооборота;
- 3) система управления данными об изделиях (PDM-система);
- 4) система управления жизненным циклом изделий (PLM-система);
- 5) справочники 3D-моделей стандартных и прочих изделий;
- 6) ограничительные перечни, каталоги продукции;
- 7) электронная почта и другие каналы связи;

– обеспечит всем участникам системы стандартизации доступ

(с учетом прав) к актуализированному фонду ДС, а также к актуальной информации о всех процессах предприятия [4];

– обеспечит контроль прохождения документов, являющихся результатом различных процессов предприятия.

Библиография

[1] Киселев В.Д., Овчинников А.А., Агулов В.А. Новые требования государственного заказчика к системам менеджмента качества организаций оборонно-промышленного комплекса // *Материалы научно-*

практической конференции «Современные требования к организации работ по государственному оборонному заказу при внедрении цифровых технологий и последних изменений в области менеджмента качества, каталогизации и метрологического обеспечения оборонной продукции» – Ялта, 2021. С. 4-20.

[2] Ерофеева Т.К., Сбитнев С.Е. Роль стандартизации в оптимизации процессов жизненного цикла продукции // *Материалы научно-практической конференции «Стандартизация оборонной продукции»* – Ялта, 2021. С. 119-123.

[3] Ерофеева Т.К., Ульянин О.В., Шурукина Ю.И. Перспективы интеграции фонда документов по стандартизации в машиночитаемом формате с системами автоматизированного проектирования и другими информационными системами // *Материалы научно-практической конференции «Стандартизация оборонной продукции»* – Ялта, 2019. С. 33-34.

[4] Цвирко А.А., Ерофеева Т.К., Пенкин Н.А. Опыт создания информационной системы «Стандартизация ядерной оружейной продукции» // *Материалы научно-практической конференции «Метрология и каталогизация – как основные элементы нормативного, информационного и технического обеспечения системы управления полным жизненным циклом оборонной продукции. Итоги Международного военно-технического форума «Армия-2019» по вопросам метрологического оборонного заказа и каталогизации оборонной продукции»* – Ялта, 2019. С. 77-78.

[5] Ерофеева Т.К., Сбитнев С.Е., Ульянин О.В. Концепция перехода к машинопонимаемому формату документов по стандартизации и интеграции фонда нормативных документов с автоматизированными // *Сборник тезисов научно-практической конференции «Физико-технические интеллектуальные системы ФТИС-2022»* – Москва, 2022. С.23.

Реализация системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования

Годовицын М.М., Живчикова Ю.А., Старостин Н.В., Штанюк А.А.
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского,
пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603022, Россия
zhivchik96@mail.ru

Аннотация

Нарушение правил топологического проектирования (конструктивно-технологических ограничений) в топологии интегральных схем ведет к изготовлению бракованной продукции и увеличению стоимости производства. Поэтому крайне важна задача итерационной многоэтапной проверки – верификация разработанной топологии. Таким образом получают корректную топологию, которая позволит изготовить интегральную схему, отвечающую предъявляемым к ней требованиям.

Для нахождения и устранения ошибок разработчик выполняет верификацию топологии с помощью специализированных инструментов, которые являются неотъемлемой частью современных САПР в области микроэлектроники. В настоящий момент отсутствуют доступные западные продукты, а также нет отечественных аналогов программного обеспечения для решения подобной задачи.

В связи с возросшей актуальностью данного направления активно ведутся работы по созданию отечественного инструмента верификации КТО. В данной работе представлены основные результаты одного года работы над отечественной импортонезависимой системой для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования.

Ключевые слова: САПР, топология микросхем, верификация, проверка конструктивно-технологических ограничений.

Implementation of a system for checking topology for compliance with topological design rules

Godovitsyn M.M., Zhivchikova Yu.A., Starostin N.V., Shtanyuk A.A.

Abstract

Violation of the rules of topological design (structural and technological restrictions) in the topology of integrated circuits leads to the manufacture of defective products and an increase in production costs. Therefore, the task of iterative multi-stage verification is extremely important – verification of the developed topology. In this way, the correct topology is obtained, which will allow the production of an integrated circuit that meets the requirements for it.

To find and eliminate errors, the developer verifies the topology using specialized tools that are an integral part of modern CAD systems in the field of microelectronics. At the moment, there are no available Western products, and there are no domestic analogues of software to solve such a problem.

Due to the increased relevance of this area, work is actively underway to create a domestic CTO verification tool. This paper presents the main results of one year of work on a domestic import-independent system for checking topologies for compliance with topological design rules.

Keywords: CAD, chip topology, verification, verification of design and technological limitations.

Введение

Типовой процесс проектирования интегральных схем включает в себя пять основных этапов: системное, функциональное, логическое, топологическое проектирование и физическая верификация.

Этап физической верификации предшествует непосредственно передаче топологии на изготавливающую фабрику. От его точности во многом зависит качество изделия, итоговая стоимость и процент брака при производстве.

Физическая верификация решает задачи проверки разработанной топологии на соответствие правилам топологического проектирования (верификация КТО) и проверки соответствия электрической схемы и топологии. В настоящей работе рассматриваются основные результаты одного года работы над системой проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования.

Правила топологического проектирования представляют собой систему ограничений на размеры и взаимное расположение топологических элементов, продиктованных выбранным техпроцессом и особенностями оборудования изготовителя.

Примеры ограничений приведены на рисунках 1-3.

Любое нарушение правил топологического проектирования считается «ошибкой» и требует исправления. В противном случае невозможно гарантировать корректное изготовление элементов топологии и их надлежащее поведение.

«Ошибка» описывается посредством координат геометрической области или элементов топологии, в которых возникает нарушение правила топологического проектирования. Это позволяет визуализировать «ошибку» в топологическом редакторе вместе с исходной топологией. «Ошибка» может описываться как многоугольник, ребро или набор рёбер.

Цикл устранения «ошибок» включает коррекцию топологии и повторную верификацию КТО до тех пор, пока «ошибок» не будет обнаружено. Только удовлетворяющая правилам топологического проектирования топология может быть передана в производство.

Для нахождения и устранения ошибок разработчик выполняет верификацию топологии с помощью специализированных САПР. В настоящий момент на отечественном рынке программного обеспечения отсутствуют коммерческие продукты для решения подобной задачи.

Номер ограничения	Ограничение	Содержание ограничения	Величина параметра, мкм
1.2.3.4	WNW	Минимальная ширина элемента слоя Nwell	4,0

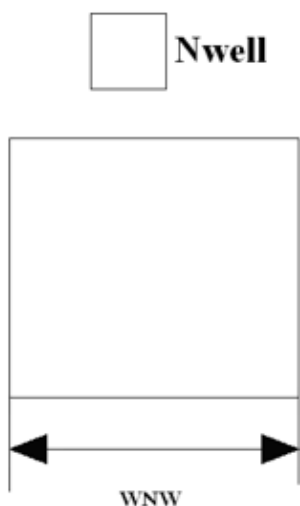


Рисунок 1 – Ограничение на размер топологических элементов

Номер ограничения	Ограничение	Содержание ограничения	Величина параметра, мкм
1.2.3.4	SPNWAA	Минимальное расстояние между элементами слоя Nwell и элементами слоя Active	0,3

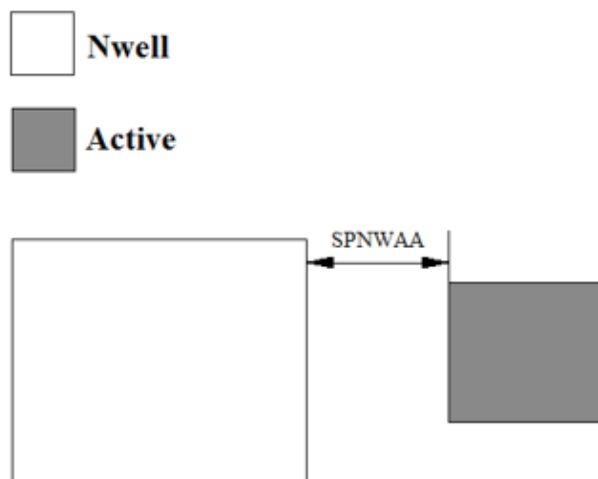


Рисунок 2 – Ограничение на расстояние между топологическими элементами

Номер ограничения	Ограничение	Содержание ограничения	Величина параметра мкм
1.2.3.4	noOVLNPLPP	Не допускается пересечение элементов слоя NPlus и элементов слоя LPPlus	-

Рисунок 3 – Ограничение на взаимное расположение топологических элементов

1 Команда разработки

Разработка отечественных импортонезависимых решений в области автоматизированного проектирования изделий микроэлектроники является одной из важнейших задач на сегодняшний день. Имея собственный дизайн-центр и будучи непосредственно заинтересованным в создании подобного решения, в 2021 г. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» были инициированы работы по реализации системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования.

Разработка подобных средств – наукоёмкая задача. С целью консолидации в работе над системой передовых научно-технических ресурсов и фундаментальных знаний к ней привлекаются научные коллективы ВУЗов. Разработка системы для проверки топологии на соответствие правилам

топологического проектирования ведется совместно с Нижегородским государственным университетом им. Н.И. Лобачевского (ННГУ). ННГУ имеет необходимые компетенции и опыт работ в области создания средств автоматизированного проектирования интегральных схем, в т.ч. совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». В рамках кооперации перед коллективом исполнителей ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ» и ННГУ сформулирована задача разработки системы для проверки топологии интегральных схем с проектными нормами 0,09-0,35 микрометров на соответствие нормам конструктивно-технологических ограничений (КТО). Разрабатываемая система должна обеспечивать возможность встраивания в существующий маршрут проектирования интегральных схем, что позволит произвести замену импортных модулей для верифика-

ции собственным программным решением.

2 Архитектура системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования

Архитектура системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования приведена на рисунке 4.

В соответствии с архитектурой система включает следующие компоненты:

- блок работы с файлами топологии;
- блок работы с файлами правил проверки;
- библиотека функций для работы со слоями содержит функции выполнения логических и топологических операций;
- блок работы с БД;
- блок работы с отчётами.

Входными данными являются файл топологии интегральной схемы в формате GDSII и файл правил проверки на языке Lua.

Выходными данными являются база данных результирующих слоев SQLite и отчёты работы алгоритмов верификации.

Система реализуется на языке C++ с использованием стандарта C++17.

Необходимо отметить, что изначально разработанная архитектура системы [1] была модифицирована в процессе реализации с целью расширения функциональных возможностей в части работы с БД и иерархическим представлением топологии.

3 Блок работы с файлами топологии

Функциональные требования к блоку работы с файлами топологии:

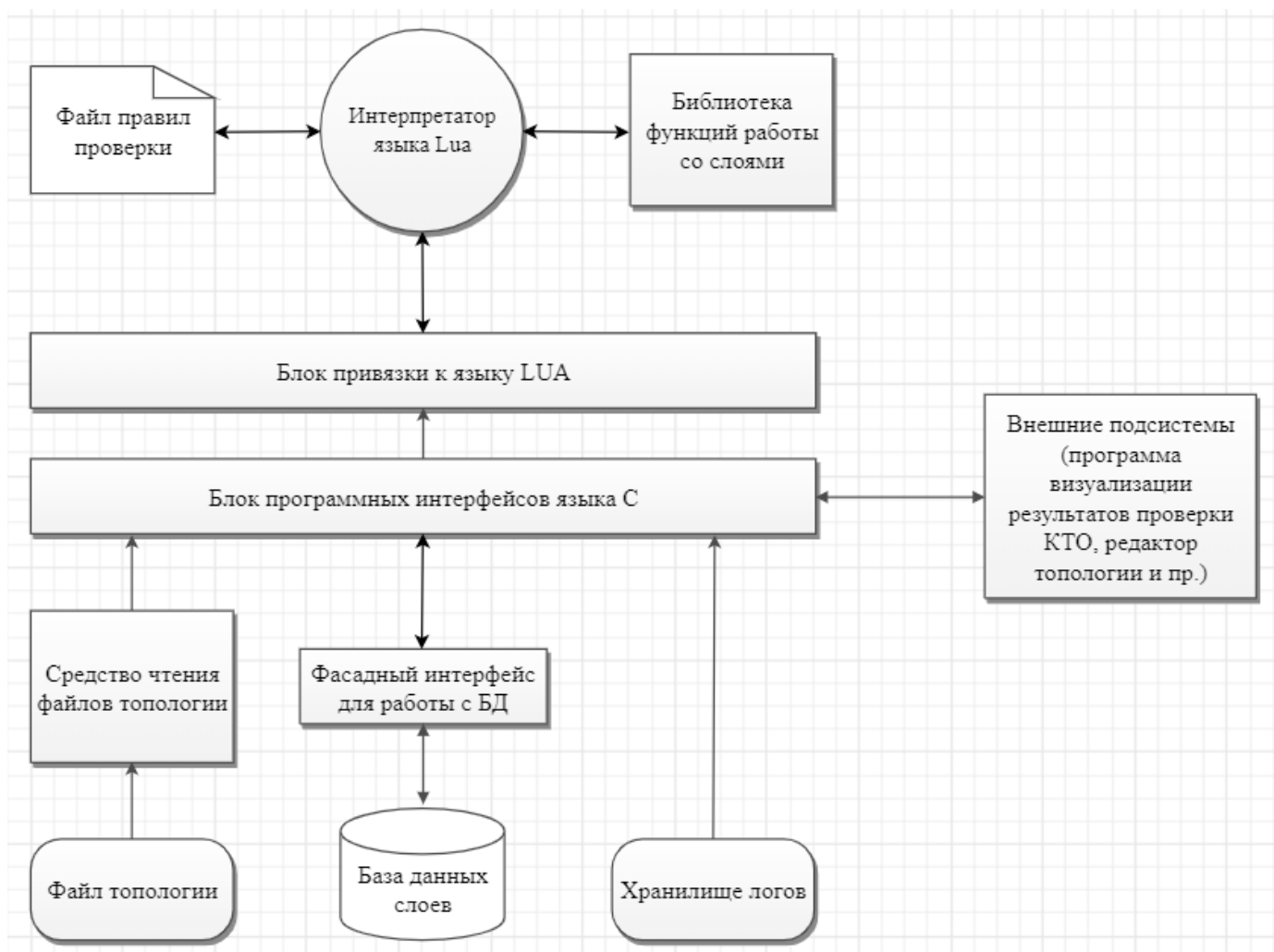


Рисунок 4 – Архитектура системы верификации конструктивно-технологических ограничений топологии микросхем

- блок работы с файлами топологии должен обеспечивать чтение данных из файла топологии во внутреннее представление с учётом иерархического представления топологии микросхемы и наличия ортогональных и/или неортогональных элементов топологии;

- блок работы с файлами топологии должен обеспечивать возможность преобразования иерархического представления топологии микросхемы в плоское.

В качестве формата данных входного файла топологии интегральной схемы был выбран широко используемый промышленный формат GDSII.

Текущая реализация блока работы с файлами топологии позволяет осуществлять чтение следующих элементов файла GDSII (включая их ключевые атрибуты):

- Bounding – многоугольник;
- Box – прямоугольник;
- Path – шина.

Элементы типа Path в GDSII описываются с помощью координат средней линии шины и её ширины. Блок работы с файлами топологии при чтении элементов типа Path производит их преобразование в эквивалентные многоугольники. Это обеспечивает возможность унифицированной работы с элементами топологии для функций библиотеки работы со слоями.

Блок работы с файлами топологии позволяет подавать на вход системе файл топологии как в плоском, так и в иерархическом представлении. В последнем случае производится, помимо прочего, обработка следующих элементов файла GDSII:

- SRef – ссылка на ячейку;
- ARef – ссылка на массив ячеек.

По умолчанию программа преобразует иерархическую структуру входной топологии интегральной схемы в плоское представление. В этом случае вычисление координат элементов топологии производится с учетом точки привязки, сдвига, поворота и отражения ячеек (массивов ячеек), в которых они расположены.

Для работы программы непосредственно с иерархической структурой топологии интегральной схемы необходимо наличие в файле правил проверки соответствующей

инструкции.

4 Блок работы с файлами правил проверки

Функциональные требования к блоку работы с файлами правил проверки:

- блок работы с файлами правил проверки должен обеспечивать чтение данных из файла правил проверки;
- блок работы с файлами правил проверки должен обеспечивать возможность вызова функций основных и вспомогательных операций из файла правил проверки.

В существующем маршруте проектирования изделий микроэлектроники основным форматом файлов правил проверки является формат SVRF. SVRF – проприетарный формат компании Mentor Graphics. Невозможность его использования породила задачу разработки собственного формата для использования в системе для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования.

К формату выдвигались следующие требования:

- сходство с SVRF;
- доступность пользователю;
- возможность переноса существующих наработок в новый формат в минимальные сроки.

В качестве формата данных входного файла правил проверки был выбран скриптовый язык программирования Lua. Преимущества Lua:

- простота интеграции;
- простота языка программирования;
- расширяемость.

Текущая реализация блока работы с файлами правил проверки позволяет использовать для разработки файлов правил проверки стандартный функционал языка Lua, расширенный функциями для проверки норм КТО из библиотеки функций работы со слоями. При этом, разработанный синтаксис приближен к синтаксису SVRF.

Кроме того, блок работы с файлами правил включает в себя интерпретатор языка Lua, позволяющий выполнять программу проверки правил топологического проектирования. Он производит строчный анализ и обработку файла правил проверки.

Необходимо отметить, что в настоящий момент полностью реализовать функционал SVRF не удалось. Этот формат поддерживает большое число параметров, влияющих на поведение функций проверки норм КТО, не все из которых к настоящему моменту удалось реализовать.

5 Библиотека функций работы со слоями

Функциональные требования к библиотеке функций работы со слоями включают реализацию алгоритмов операций проверки правил топологического проектирования.

Операции проверки правил можно разделить на три крупные группы:

- логические (AND, OR, NOT, XOR);
- топологические (изменение размеров элементов топологии, выборка элементов топологии по определенным критериям: прямоугольник/не прямоугольник, наличие «вырезов» и др.);
- пространственно-геометрические (контроль расстояний между элементами топологии, контроль размеров элементов топологии).

На этапе разработки концепции [1] система для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования предполагала работу с топологией, содержащей только ортогональные элементы. Однако на практике, как правило, в ней также присутствуют элементы со сторонами кратными 45° . Таким образом одной из важнейших задач стало обеспечение работы алгоритмов операций проверки правил топологического проектирования на топологии, содержащей неортогональные элементы. Главными операциями, выполняемыми данной библиотекой, являются логические операции над многоугольниками и ребрами, а также расширение/сужение многоугольников.

Текущая реализация библиотеки функций работы со слоями содержит 33 операции для проверки правил топологического проектирования.

Библиотека функций работы со слоями является главным компонентом системы для проверки топологии на соответствие

правилам топологического проектирования. Однако её использование возможно не только в данной системе. Для библиотеки разработан API, который позволяет применять её в качестве встраиваемого компонента в других средствах автоматизированного проектирования изделий микроэлектроники.

6 Блок работы с БД

Функциональные требования к блоку работы с БД:

- блок работы с БД должен реализовывать общий (фасадный) интерфейс для обеспечения возможности использования различных БД;
- блок работы с БД должен обеспечивать хранение выходных данных (многоугольников, ребер, наборов ребер) в единицах измерения эквивалентных единицам измерения из входного файла топологии;
- блок работы с БД должен обеспечивать хранение выходных данных (многоугольников, ребер, наборов ребер) в установленном формате.

Для хранения выходных данных (многоугольников, ребер, наборов ребер) был разработан собственный формат БД. В соответствии с разработанным форматом:

- многоугольник в БД представляется одной последовательностью точек, идентифицирующей контур многоугольника;
- направление «обхода» внешних контуров многоугольника – против часовой стрелки;
- направление «обхода» внутренних контуров многоугольника («вырезов») – по часовой стрелке;
- координаты последней точки многоугольника в БД совпадают с координатами первой точки;
- ребро в БД представляется двумя точками;
- каждый результат в БД (многоугольник, ребро, набор ребер) имеет идентификатор;
- каждая точка результата в БД (многоугольника, ребра, набора ребер) помечается идентификатором результата;
- для каждой точки результата в БД (многоугольника, ребра, набора ребер) ука-

зывается ячейка, в которой результат был обнаружен.

Текущая реализация блока работы с БД обеспечивает возможность использования различных БД с помощью общего (фасадного) интерфейса. По умолчанию используется БД SQLite.

UML-диаграмма классов интерфейса работы с БД приведена на рисунке 5.

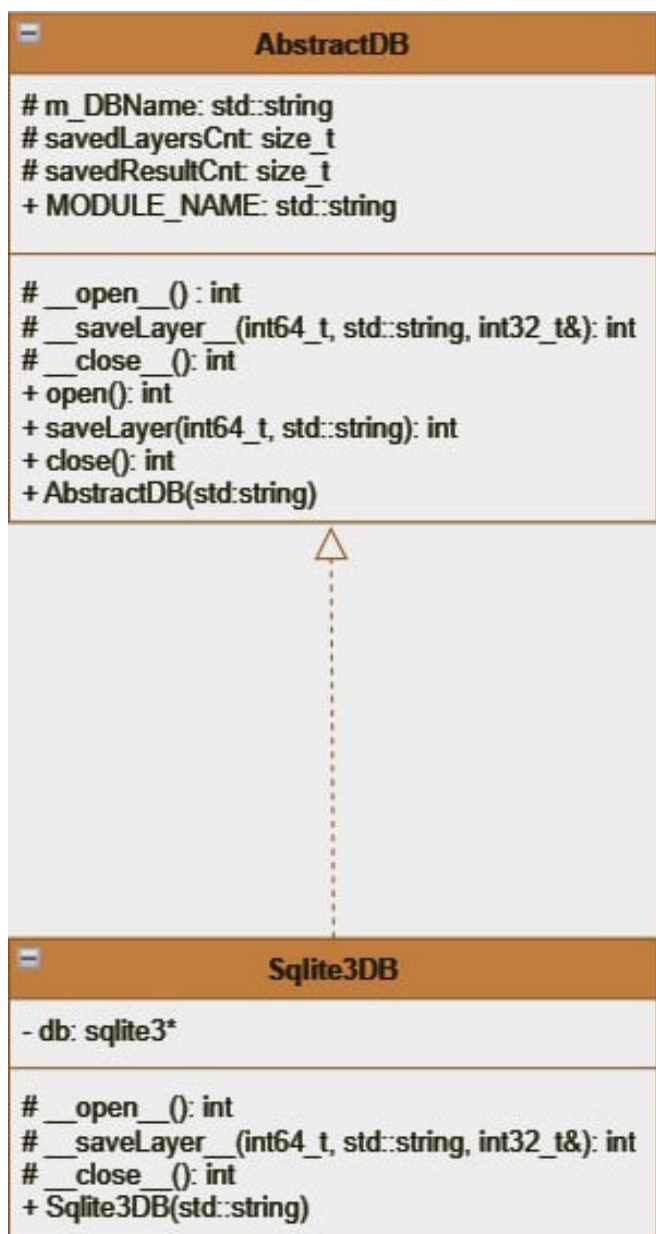


Рисунок 5 – UML-диаграмма классов интерфейса работы с БД

7 Реализация

Реализуемая система проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования принимает в качестве входных данных файл топологии

интегральной схемы в формате GDSII (рисунок 6) и файл правил проверки на языке Lua (рисунок 7).

Lua-файл содержит описание процесса проверки с помощью функций библиотеки работы со слоями. Функции генерируют результаты проверки в виде многоугольников, рёбер или наборов рёбер.

В качестве выходных данных система для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования формирует БД результатов SQLite, её текстовое представление – дамп (рисунок 8) и отчеты работы алгоритмов верификации (рисунок 9).

БД результатов может быть использована для отображения в топологическом редакторе и последующей коррекции топологии интегральной схемы.

8 Перспективы

Развитие системы верификации конструктивно-технологических ограничений топологии интегральных схем возможно в следующих направлениях:

- разработка и реализация механизма иерархической проверки КТО;
- разработка параллельных алгоритмов для оптимизации времени исполнения программы;
- расширение набора поддерживаемых функций;
- расширение функционала за счёт введения параметров функций.

Конечной целью разработки является внедрение системы в эксплуатацию на предприятиях ОПК и в дизайн-центрах изделий микроэлектроники РФ.

Заключение

В рамках разработки отечественных САПР микроэлектроники ведется разработка отечественной системы для проверки топологии на соответствие правилам топологического проектирования.

Текущая реализация системы обеспечивает следующие функциональные возможности:

- чтение исходной информации (слов) из файла GDSII (для топологии в плоском и иерархическом представлении);

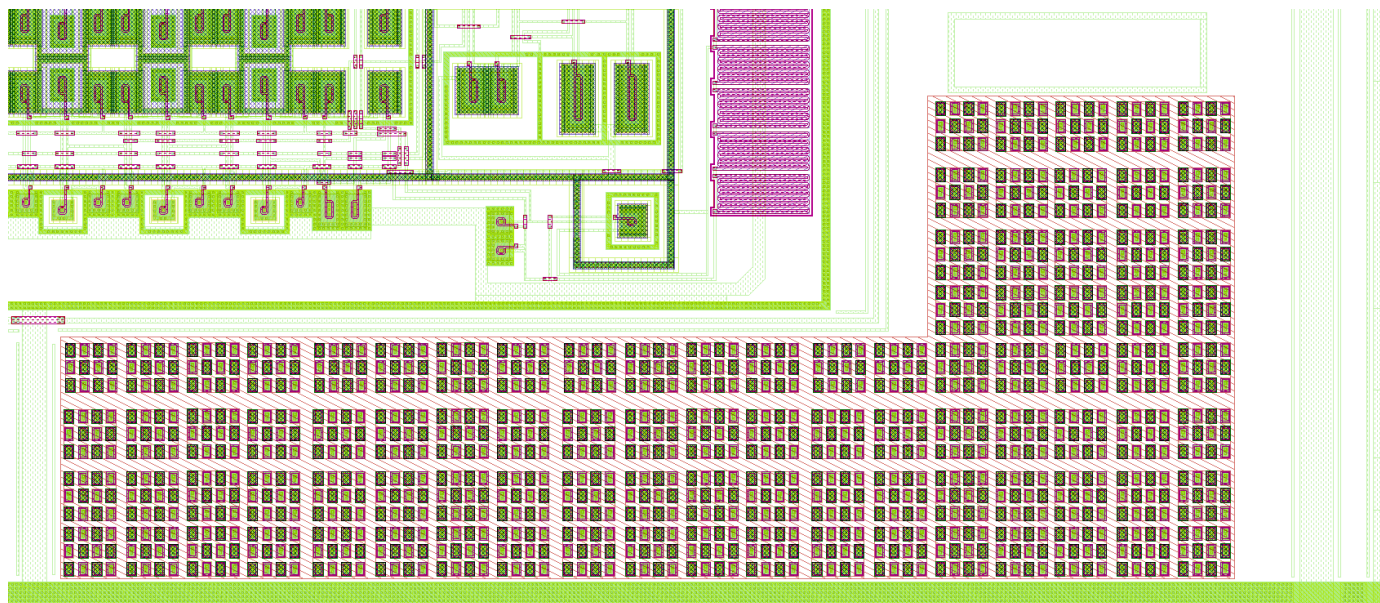


Рисунок 6 – Пример GDSII-файла топологии интегральной схемы

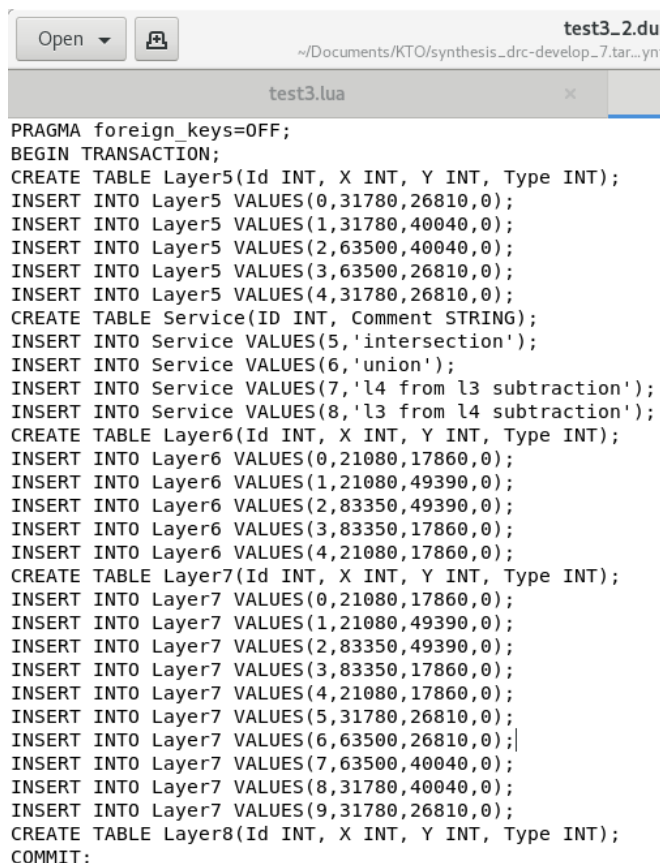
Новый формат	Файл правил SVRF
<pre> setOutputFile("results.dblite") openGDS("/path/to/input/data/input.gds") n_well = 1 Locos = 4 maskd = 36 active = subtraction({Locos}, {maskd}) nwell = subtraction({n_well}, {maskd}) active_offgrid_err = offGrid({active}, 100) saveLayer(active_offgrid_err, "active OFFGRID errors") active_angle_err_1 = angle({active}, ">0 <45") saveLayer(active_angle_err_1, "active not allowed angles >0 <45") active_angle_err_2 = angle({active}, ">45 <90") saveLayer(active_angle_err_2, "active not allowed angles >45 <90") rule_1.1_err = internal({nwell}, {nwell}, "<6") saveLayer(nwell_internal_err, "Rule 1.1 Minimum N WELL width = 6") rule_9.1_err = notRectangle({cont}, "==3.2 BY ==3.2") saveLayer(cont_width_err, "Rule 9.1 Fixed CONT width = 3.2 x 3.2") </pre>	<pre> layer n_well 1 layer Locos 4 layer maskd 36 activ = Locos not maskd nwell = n_well not maskd OFFGRID_Act { @ Offgrid check OFFGRID activ 100 } // Activ allowed angles 90/135 degree INFO_CORN_activ_REC002 { @ REC002: activ allowed angles 90/135 ANGLE activ > 0 < 45 ANGLE activ > 45 < 90 } // Minimum N WELL width = 6.0 1.1_WIDTH_NWELL { @ NW_W_1 Minimum N WELL width = 6.0 6.0 INT nwell < 6.0 ABUT<90 SINGULAR REGION } // Fixed CONT width = 3.2 3.2 9.1_WIDTH_CONT { @ CO_W_1 Fixed CONT width = 3.2 3.2 NOT RECTANGLE cont == 3.2 BY == 3.2 } </pre>

Рисунок 7 – Пример Lua-файла правил проверки

- преобразование иерархического представления топологии в плоское;
- чтение файла правил проверки топологии в формате Lua;
- контроль файла правил проверки с точки зрения синтаксической и логической корректности;
- проверка топологии с использованием функций работы над слоями (33 функции), таких как:
 - о выбор примитивов (прямоугольники, рёбра, многоугольники), удовлетворяющих определенным условиям;

- о генерация новых слоев путем совершения операций над существующими (объединение, пересечение и т.д.);
- о контроль размеров элементов топологии и расстояний между ними;
- сохранение результатов проверки в БД;
- сохранение отчета о работе системы верификации для его дальнейшей обработки/представления пользователю.

По завершению реализации система будет являться востребованным продуктом в центрах проектирования изделий микро-

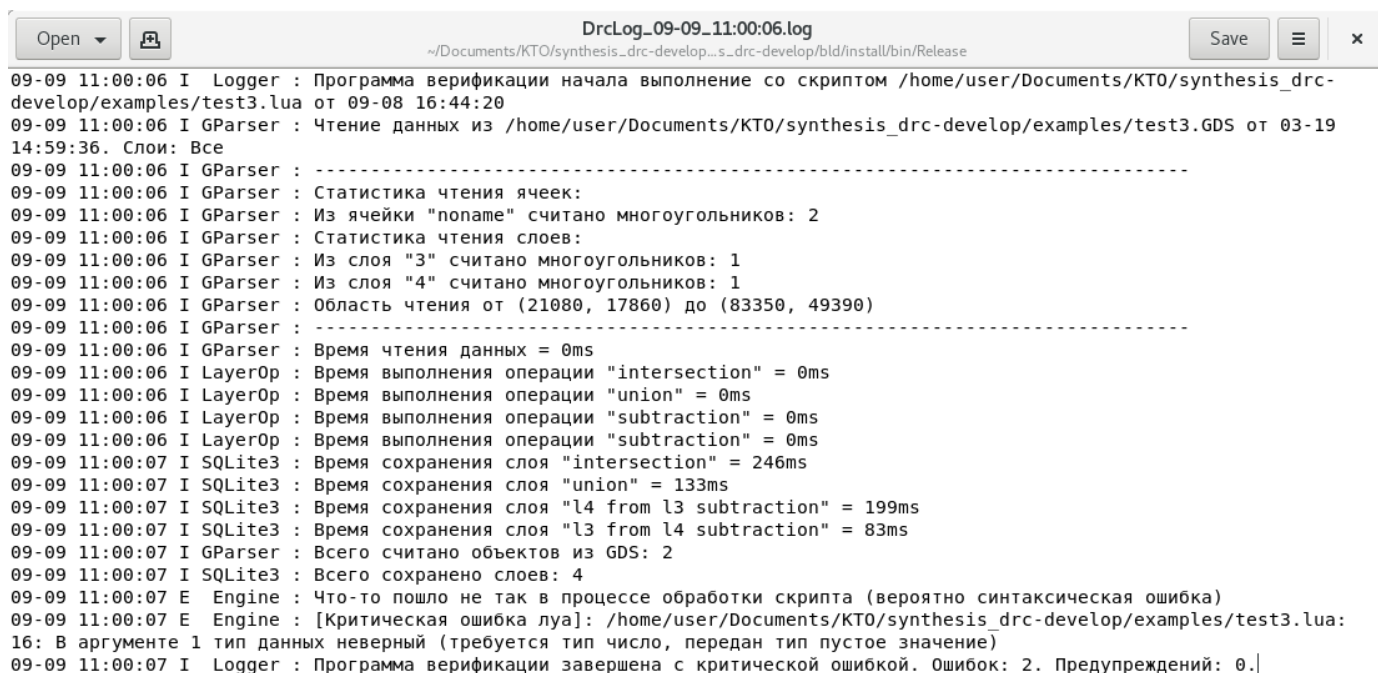


```

PRAGMA foreign_keys=OFF;
BEGIN TRANSACTION;
CREATE TABLE Layer5(Id INT, X INT, Y INT, Type INT);
INSERT INTO Layer5 VALUES(0,31780,26810,0);
INSERT INTO Layer5 VALUES(1,31780,40040,0);
INSERT INTO Layer5 VALUES(2,63500,40040,0);
INSERT INTO Layer5 VALUES(3,63500,26810,0);
INSERT INTO Layer5 VALUES(4,31780,26810,0);
CREATE TABLE Service(ID INT, Comment STRING);
INSERT INTO Service VALUES(5,'intersection');
INSERT INTO Service VALUES(6,'union');
INSERT INTO Service VALUES(7,'l4 from l3 subtraction');
INSERT INTO Service VALUES(8,'l3 from l4 subtraction');
CREATE TABLE Layer6(Id INT, X INT, Y INT, Type INT);
INSERT INTO Layer6 VALUES(0,21080,17860,0);
INSERT INTO Layer6 VALUES(1,21080,49390,0);
INSERT INTO Layer6 VALUES(2,83350,49390,0);
INSERT INTO Layer6 VALUES(3,83350,17860,0);
INSERT INTO Layer6 VALUES(4,21080,17860,0);
CREATE TABLE Layer7(Id INT, X INT, Y INT, Type INT);
INSERT INTO Layer7 VALUES(0,21080,17860,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(1,21080,49390,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(2,83350,49390,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(3,83350,17860,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(4,21080,17860,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(5,31780,26810,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(6,63500,26810,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(7,63500,40040,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(8,31780,40040,0);
INSERT INTO Layer7 VALUES(9,31780,26810,0);
CREATE TABLE Layer8(Id INT, X INT, Y INT, Type INT);
COMMIT;

```

Рисунок 8 – Пример дампа БД результатов



```

09-09 11:00:06 I Logger : Программа верификации начала выполнение со скриптом /home/user/Documents/KT0/synthesis_drc-develop/examples/test3.lua от 09-08 16:44:20
09-09 11:00:06 I GParser : Чтение данных из /home/user/Documents/KT0/synthesis_drc-develop/examples/test3.GDS от 03-19 14:59:36. Слои: Все
09-09 11:00:06 I GParser : -----
09-09 11:00:06 I GParser : Статистика чтения ячеек:
09-09 11:00:06 I GParser : Из ячейки "попаме" считано многоугольников: 2
09-09 11:00:06 I GParser : Статистика чтения слоев:
09-09 11:00:06 I GParser : Из слоя "3" считано многоугольников: 1
09-09 11:00:06 I GParser : Из слоя "4" считано многоугольников: 1
09-09 11:00:06 I GParser : Область чтения от (21080, 17860) до (83350, 49390)
09-09 11:00:06 I GParser : -----
09-09 11:00:06 I GParser : Время чтения данных = 0ms
09-09 11:00:06 I LayerOp : Время выполнения операции "intersection" = 0ms
09-09 11:00:06 I LayerOp : Время выполнения операции "union" = 0ms
09-09 11:00:06 I LayerOp : Время выполнения операции "subtraction" = 0ms
09-09 11:00:06 I LayerOp : Время выполнения операции "subtraction" = 0ms
09-09 11:00:07 I SQLite3 : Время сохранения слоя "intersection" = 246ms
09-09 11:00:07 I SQLite3 : Время сохранения слоя "union" = 133ms
09-09 11:00:07 I SQLite3 : Время сохранения слоя "l4 from l3 subtraction" = 199ms
09-09 11:00:07 I SQLite3 : Время сохранения слоя "l3 from l4 subtraction" = 83ms
09-09 11:00:07 I GParser : Всего считано объектов из GDS: 2
09-09 11:00:07 I SQLite3 : Всего сохранено слоев: 4
09-09 11:00:07 E Engine : Что-то пошло не так в процессе обработки скрипта (вероятно синтаксическая ошибка)
09-09 11:00:07 E Engine : [Критическая ошибка lua]: /home/user/Documents/KT0/synthesis_drc-develop/examples/test3.lua:
16: В аргументе 1 тип данных неверный (требуется тип число, передан тип пустое значение)
09-09 11:00:07 I Logger : Программа верификации завершена с критической ошибкой. Ошибок: 2. Предупреждений: 0.

```

Рисунок 9 – Пример отчёта работы алгоритмов верификации

электроники РФ и позволит произвести замену импортных модулей для верификации собственным программным решением.

Библиография

[1] Балашов В.В., Годовицын М.М., Живчикова Ю.А., Старостин Н.В., Филимонов А.В. Концепция реализации системы верификации конструктивно-технологических ограничений топологии микросхем / Балашов В.В., Годовицын М.М., Живчикова Ю.А., Старостин Н.В., Филимонов А.В. // Материалы XXVII Международной научно-технической конференции «Информационные системы и технологии» ИСТ-2021. – Н.Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2021. С. 717-722.

УДК 621.396.6

Исследование аэродинамического режима камеры тепла и холода

Манохин Александр Иванович

Старший преподаватель НИУ ВШЭ и РТУ МИРЭА, Москва
asonika@list.ru

Полесский Сергей Николаевич

Доцент НИУ ВШЭ, кандидат технических наук, Москва

Аннотация

Проводится экспериментальное исследование аэродинамических параметров камеры тепла и холода на примере Climcontrol M-70/100-120 KTX. Создается 3D-модель для расчета камеры тепла и холода в SOLIDWORKS, проводится аэродинамическое моделирование SW Flow Simulation, проводится сравнение экспериментальных и расчетных данных, делаются выводы о применимости расчетной аэродинамической модели.

Ключевые слова: камера тепла и холода, CAE, SOLIDWORKS Flow Simulation, аэродинамика, анемометр, тепловой режим.

Investigation of the aerodynamic mode of the Clima control heat and cold chamber

Manohin Alexandr, Polesskiy Sergey

Abstract

An experimental study of the aerodynamic parameters of the heat and cold chamber is being carried out using the example of Climcontrol M-70/100-120 KTX. A 3D model is created to calculate the heat and cold chamber in SOLIDWORKS, aerodynamic modeling SW Flow Simulation is carried out, experimental and calculated data are compared, conclusions are drawn about the applicability of the calculated aerodynamic model.

Keywords: heat and cold chamber, CAE, SOLIDWORKS Flow Simulation, aerodynamics, anemometer, thermal mode.

1 Объект исследования

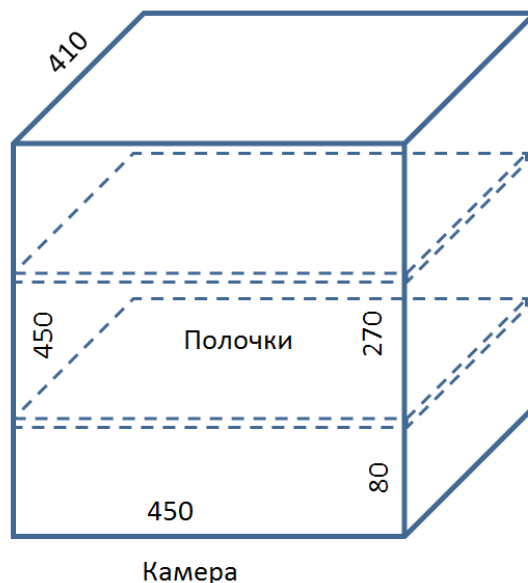
В последнее время большое значение имеют испытания на надёжность. Причем они возможны как в экспериментальном виде, так и в виде вычислительного эксперимента или виртуальных испытаний [1, 2]. В качестве оборудования для климатических испытаний используют специальные камеры. Здесь объект исследования – камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-

120 KTX [3] (см. рисунок 1).

Климатическая камера предназначена для проведения исследований как при отрицательных, так и при положительных температурах. Камеры «Тепло-Холод» в основном применяются для контроля качества изделий и узлов в радиоэлектронной, упаковочной, фармацевтической промышленности, для проведения исследований при пониженных температурах до $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$



а)



б)

Рисунок 1 – Камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 КТХ:
а – внешний вид; б – внутренняя конструкция камеры (вид спереди) с размерами

(двухкаскадный холодильный агрегат), в диапазоне положительных температур до +100 °С.

Испытательная камера смонтирована на каркасе, обеспечивающем заданную жесткость конструкции. Каркас выполнен из профильной трубы. Для снижения теплообмена с окружающей средой на всех стенках камеры укреплен слой теплоизоляции. Внутренние стенки испытательной камеры выполнены из зеркальной нержавеющей стали. Доступ в испытательную камеру обеспечивается через дверь. Герметичность закрытой двери достигается за счет использования дверного уплотнителя и ручки с зажимом. В двери имеется окно со стеклопакетом для визуального наблюдения за испытательным процессом. Окно камеры изготовлено из закаленного стеклопакета.

В рабочем объеме присутствует высокопроизводительный тангенциальный вентилятор фирмы «ЕВМ» (производство Германия) или электродвигатель Weiguang YWF-K102-4E-34 с внешним ротором, что обеспечивает минимальный градиент при условии плотной загрузки образцами.

Схема продува воздуха представлен на рисунке 2. Воздух засасывается из камеры вентилятором через круглое верхнее от-

верстие и проходит вертикально вниз через теплообменник и выбрасывается в камеру снизу через квадратное отверстие, поднимается вверх и опять засасывается, создавая круговой поток и обеспечивая равномерность нагрева по объему.

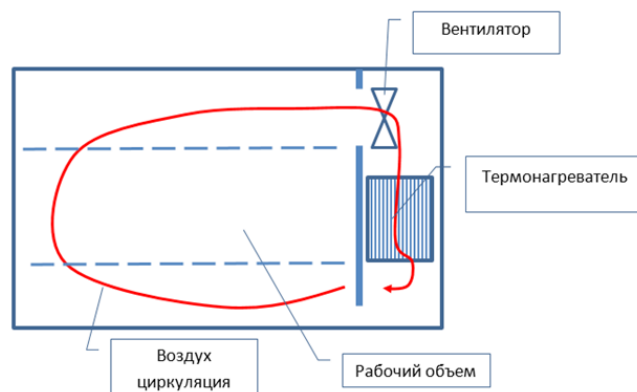


Рисунок 2 – Схема продува внутренней камеры Climcontrol M-70/100-120 КТХ (слева дверь, справа теплообменник)

На рисунке 3 представлены схемы присутствующих отверстий в камере при закрытой дверце. Верхнее отверстие всасывает нижнее прямоугольное для подачи циркулирующего воздуха. Боковое отверстие сбоку для герметического ввода проводов измерительных схем закрыто резиновой пробкой, и с точки зрения аэродинамики им можно пренебречь.



Рисунок 3 – Камера – вид спереди с открытой дверцей – две решетки для образцов; воздухозаборники – круглый сверху и прямоугольный снизу

2 Экспериментальное исследование

Основным измеряемым параметром здесь является скорость воздушного потока. Для её измерения используем прибор

для измерения скорости и оценки качества воздуха в помещении Testo 440, состоящий из собственно прибора и измерительного зонда [4].

В данной комплектации Testo 440 в качестве измерителя используется зонд – крыльчатка (Ø 100 мм) с Bluetooth, который по беспроводному соединению передает информацию на индикаторы Testo 440 (см. рисунок 4 и таблицу 1).

Таблица 1 – Параметры зонда-крыльчатки измерителя скорости воздуха Testo 440

Скорость потока воздуха	
Диапазон измерений	0,1 ... 15 м/с
Погрешность	±(0,1 м/с + 1,5 % от изм. знач.)
Разрешение	0,01 м/с

При измерении скорости (см. рисунок 5) надо учитывать, что измеритель имеет конечные размеры, сравнимые с внутренними размерами камеры, и поэтому есть некоторые трудности с его расположением в некоторых точках объема. И надо учиты-



а)



б)

Рисунок 4 – Измерительное оборудование: а) Testo 440 (154 x 65 x 32 мм); б) Зонд-крыльчатка (Ø 100 мм), размеры 375 x 105 x 46 мм

вать, что его там надо как-то закреплять, т.к. все измерения проводятся при закрытой дверце камеры. А результаты передаются по Bluetooth на Testo 440, расположенный снаружи, причем металлический корпус камеры не являлся для сигнала препятствием.

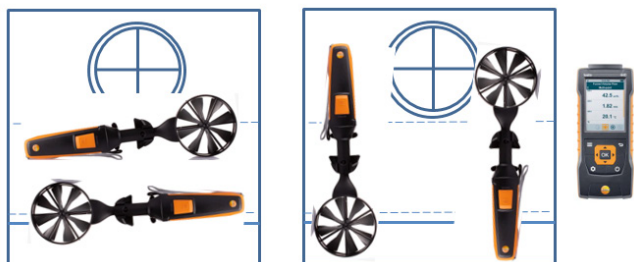


Рисунок 5 – Некоторые возможные положения измерителя скорости с рукояткой в камере

Уточним расположение измерителя скорости в камере с учетом его геометрии (см. рисунок 6). Измерительным элементом является крыльчатка (\varnothing 100 мм), поэтому основной точкой измерения (реперной точкой) будем считать центр крыльчатки, т.е. минимальный размер, например, от стенки, будет равен половине диаметра, т.е. 50 мм. Расстояние от начала ручки штыря до

реперной точки – центра крыльчатки будет 300 мм.

Синие прямоугольники – боковая проекция измерительной крыльчатки (100 мм x 40 мм), которые показывают основные вертикальные и горизонтальные уровни измерения скорости по центру крыльчатки.

На рисунках 7 – 8 представлены результаты измерения скорости воздуха в камере (вид сверху) на разных уровнях по высоте, где стрелки указывают направления движения потока воздуха \uparrow – к вентилятору, \downarrow – к дверце. Получилось по вертикали 5 уровней измерения скорости – два верхних уровня, верхняя и нижняя решетка и дно камеры. Точка измерения – реперная точка – положение оси вращения крыльчатки – середина круга диаметром 100 мм.

При измерении на верхнем уровне крыльчатка ставилась вертикально на свою ручку – штырь на дно камеры (репер – 300 мм от дна) или приподнималась установкой на предмет толщиной 70 мм, репер $300+70=370$ мм от дна.

Измеритель скорости укладывался набок на дне камеры, и реперные точки находилась на 50 мм выше дна камеры.

Измеритель скорости укладывался набок на верхней и нижней решетке, и репер-

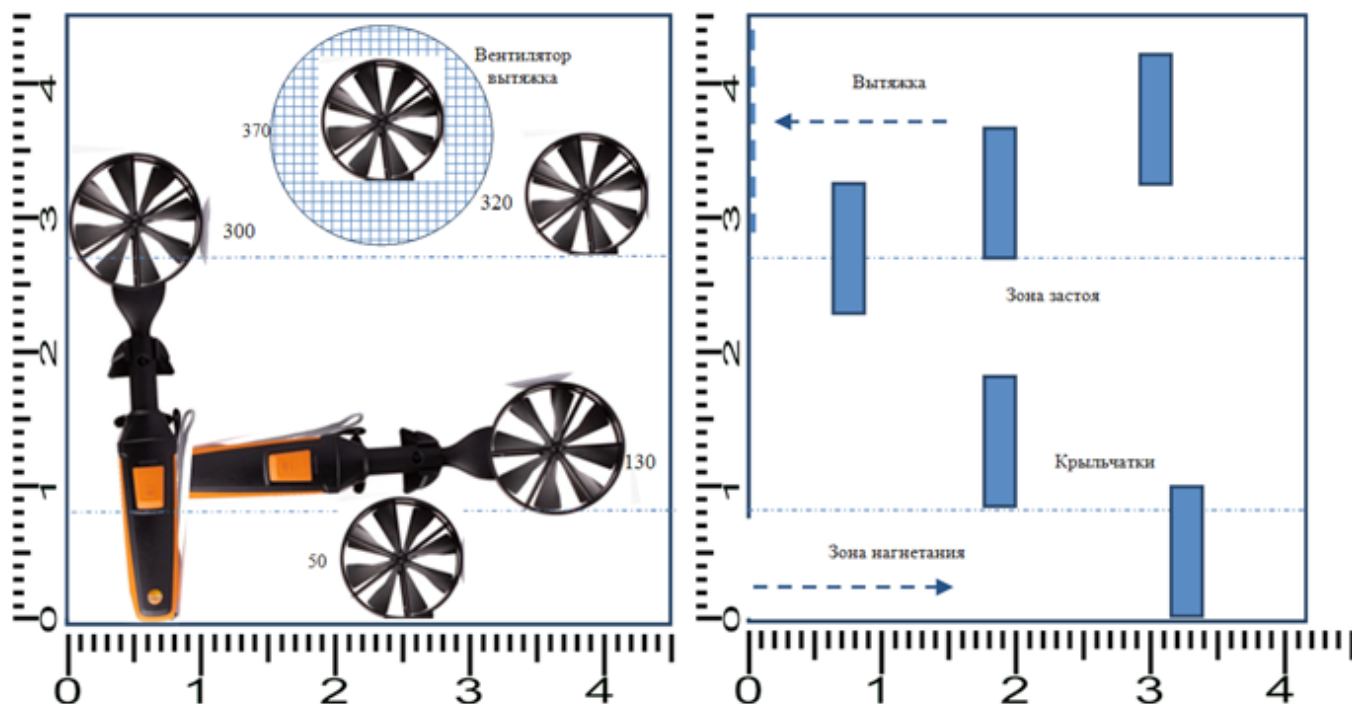


Рисунок 6 – Возможные положения измерителя скорости: справа – вид в камере спереди (минимальное приближение центра крыльчатки -50 мм), слева – вид в камере сбоку

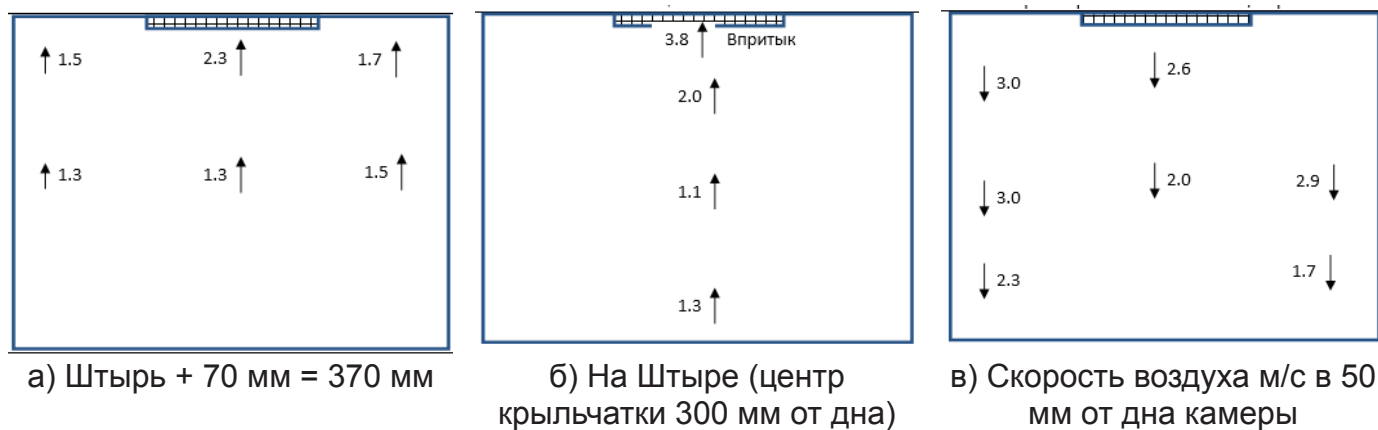


Рисунок 7 – Скорость воздуха м/с на двух верхних уровнях и дне камеры

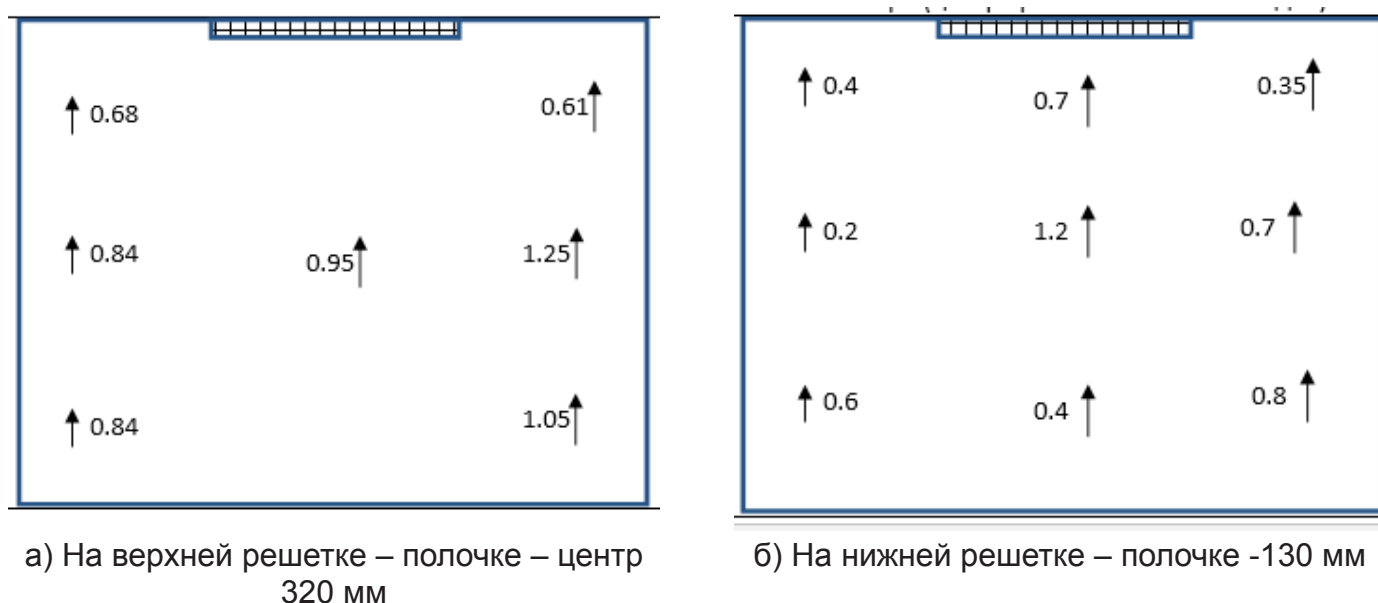


Рисунок 8 – Скорость воздуха м/с на верхней и нижней решетках

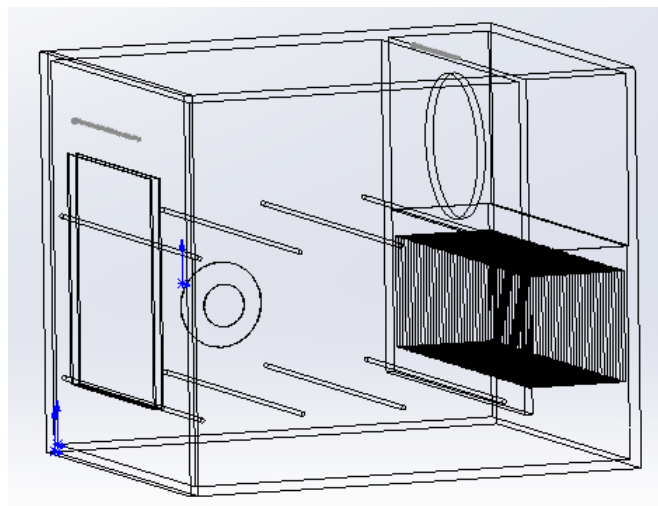
ные точки находилась на 50 мм выше соответствующих решеток.

Выводы по эксперименту: из анализа экспериментальных данных можно отметить, что диапазон скоростей воздуха примерно от минус 3 (прямоугольный воздухозаборник снизу) до плюс 3 м/сек (круглое отверстие под вентилятор сверху). Причем направления воздушного потока на 4 верхних уровнях положительное (к вентилятору) и на нижнем уровне на дне отрицательное к дверце камеры (или от прямоугольного нижнего воздухозабора), иными словами плоскость нулевой скорости (перемены направления) расположена в нижней части камеры.

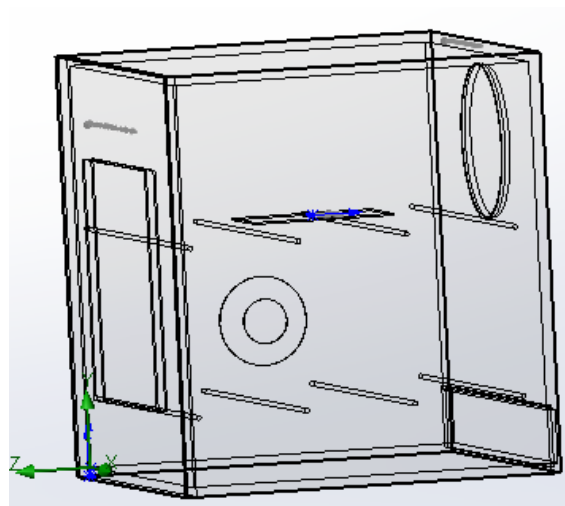
3 Построение аэродинамической модели и расчет скоростей

воздуха в SOLIDWORKS Flow Simulation

Для проведение аэродинамических расчетов в CAE (ANSYS, Autodesk Simulation CFD, COMSOL Multiphysics, SW Flow Simulation, KompasFlow и др.) как в большинстве инженерных расчетов необходимо построить 3D-модель объекта расчета в соответствующей CAD-системе (SolidWorks, T-Flex, Autocad, Компас 3D и др.). Причем эта 3D-модель является обычно упрощенной относительно полной 3D-модели, т.к. много деталей, особенно мелких, которые не являются принципиальными для расчета, но, например, так усложняют построение расчетной сетки по методу конечных элементов (МКЭ), что она или не построится, или размерность выйдет за разумные пределы, и расчет не будет возможен, на-



а) полная с теплообменником



б) упрощённая без теплообменника

Рисунок 9 – 3D-модели климатической камеры

пример, по временным затратам или используемым вычислительным мощностям.

А кроме того, часто полная 3D-модель или не существует, или не доступна. Поэтому для расчета приходится создавать специальную расчетную 3D-модель в упрощенном виде, которую можно назвать стилизованной 3D-моделью [2].

В данном случае полной 3D-модели не существовало, и ее надо построить с учетом всего вышеперечисленного, т.е. с одной стороны не лезть в ненужные детали, а с другой стороны не упустить важные особенности.

Несмотря на то, что камера тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 KTX имеет

достаточно сложную конструкцию, где собственно камера, и холодильный агрегат, и компрессор, и вентилятор, и блоки управления, с точки зрения аэродинамики нас интересует сама камера, и то, что сзади её – система теплообменника с вентилятором.

В качестве САД-системы возьмем SOLIDWORKS, а в качестве САЕ-системы Flow Simulation того же производителя – решение достаточно распространенное. Это упростит взаимодействие в рамках единой программной среды [5, 6].

На рис. 9а представлена полная 3D-модель камеры с дополнительным объёмом, где установлены вентилятор (не показан), теплообменник и упрощенная модель (см.

Кривая подбора рабочей точки Weiguang

Тип вентилятора [AC/DC]	АС переменного тока
Конструкция	Двигатель
Типоразмер [мм]	102
Уровень шума [dB/A]	50
Бренд	Weiguang
Вес [кг]	2.5
Сила тока [А]	0.65
Производительность [м3/ч]	240
Питание [В]	220
Исполнение	с внешним ротором
Частота вращения [об/мин]	1380
Мощность [кВт]	0.14

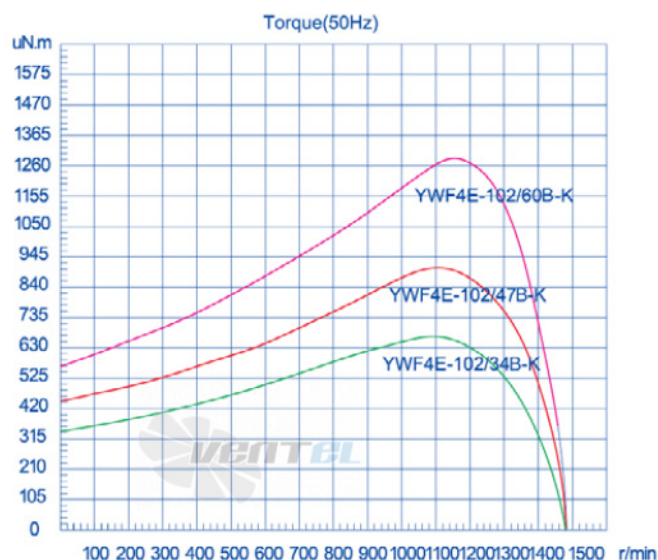


Рисунок 10 – Параметры электродвигателя Weiguang YWF-K102-4E-34

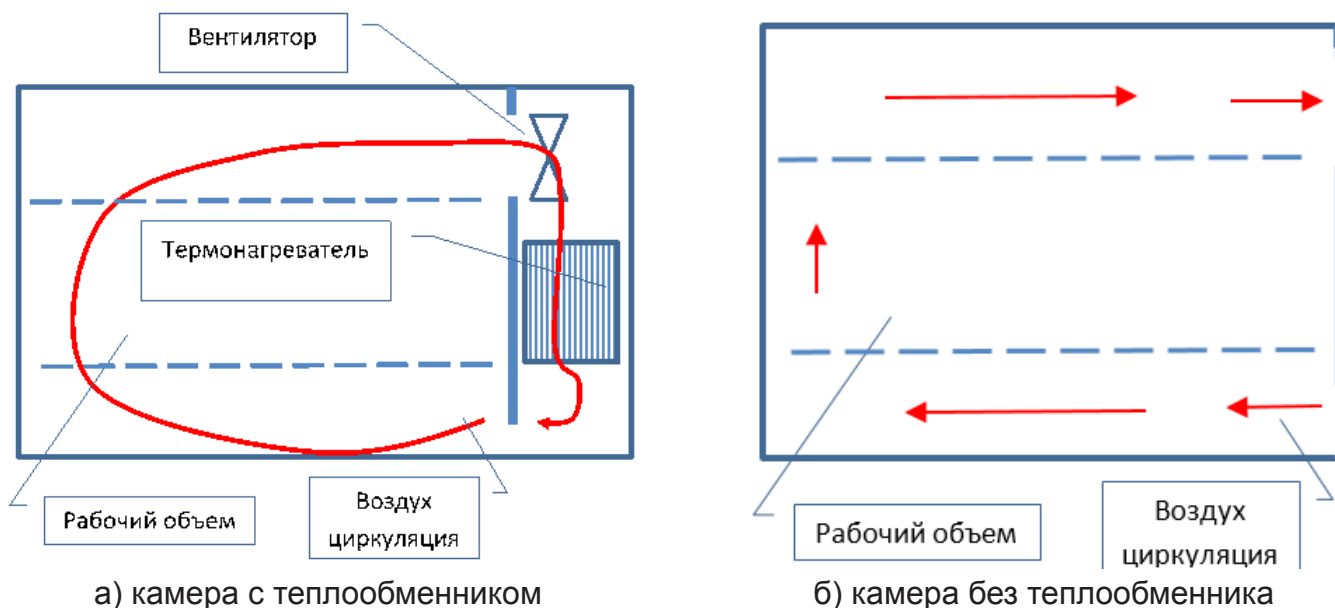


Рисунок 11 – Этапы упрощения конструкции камеры для получения расчетной модели

рис. 9б) без дополнительного объема и теплообменника, но с круглым отверстием для вентилятора (справа сверху) и прямоугольным для воздухозабора (справа снизу).

При построении расчётной аэродинамической модели камеры с теплообменником для SW Flow Simulation образуется замкнутая система. Но в SW Flow Simulation широко распространены только два вида моделей: внутренняя и внешняя. Внешняя модель – это обтекание газом/жидкостью объекта расчёта снаружи, а внутренняя модель, когда процесс происходит внутри объекта расчёта.

Вариант с теплообменником является смешанным типом, что вызывает значительные трудности. Поэтому модель надо попытаться свести к расчёту канонической внутренней или внешней модели.

Еще одной проблемой является нахождение параметров системы внутреннего продува, основой которого является электродвигатель Weiguang YWF-K102-4E-34 с внешним ротором.

И хотя параметры двигателя известны и приведены на рисунке 10, и даже известны параметры вентилятора, установленного на нем, – пяти-лопастный диаметром 150 мм. Но он является управляемым, и даже в данном варианте камеры у него минимум два режима – рабочий и проветривания, где он работает в турбо режиме. Иными словами, неизвестны конкретные параметры ре-

жима работы двигателя даже в интересующем нас рабочем режиме, т.е. невозможно определить его реальную производительность.

Полная конструкция камеры состоит из двух частей – слева собственно камера, а справа отсек с теплообменником и вентилятором. Если отсечь справа отсек с теплообменником (рисунок 11, а), то камера будет хорошо описываться аэродинамической моделью внутреннего типа, у которой есть два отверстия – круглое сверху от вентилятора и прямоугольное снизу от воздухозабора (рисунок 11, б). Необходимо определить граничные условия для этих двух отверстий.

Для круглого отверстия, за которым стоит вентилятор, зададим граничные условия SW Flow Simulation в виде «Давление окружающей среды» 1 атмосфера, 20° градусов Цельсия, направление из камеры через отверстие наружу (см. рисунок 12).

Для прямоугольного отверстия воздухозабора, через которое осуществляется подача воздуха от вентилятора, зададим граничные условия SW Flow Simulation в виде «Скорость на входе» 3 м/сек. В данном случае, оно было получено в ходе эксперимента (см. рисунок 13).

Выводы по построению 3D геометрической и аэродинамической модели: по документации на камеру тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 KTX и реальным

измерениям построена геометрическая 3D-модель (SOLIDWORKS), которая дополнительно упрощена для облегчения аэродинамических расчетов с учетом имеющейся информации по ней и необходимой для расчётов детализации.

Для полученной стилизованной 3D модели построена аэродинамическая модель, подготовлены исходные данные для расчета в SW Flow Simulation.

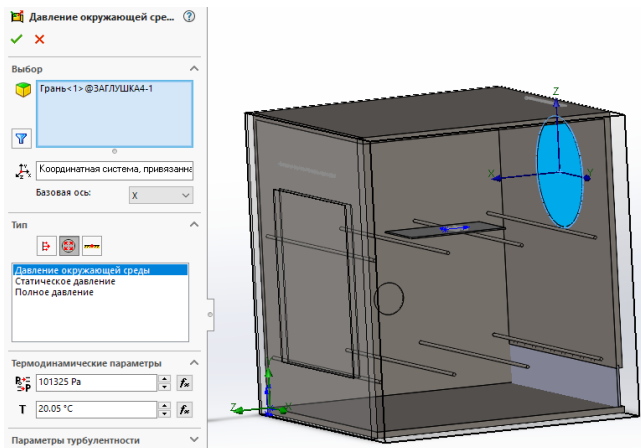


Рисунок 12 – Граничные условия SW Flow Simulation для круглого отверстия

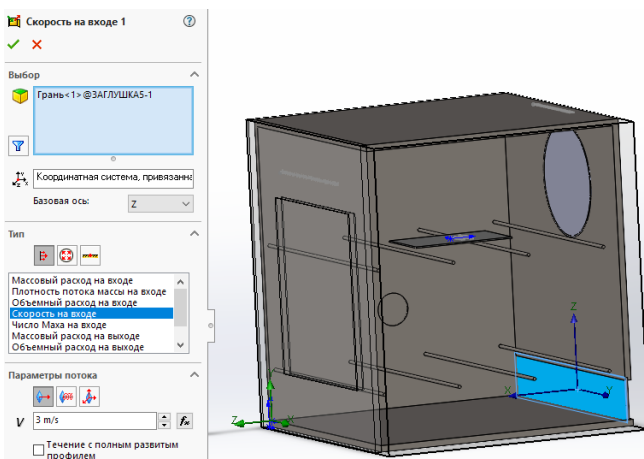


Рисунок 13 – Граничные условия SW Flow Simulation для прямоугольного воздухозабора

4 Анализ и сравнение экспериментальных и расчетных результатов

Проанализируем результаты аэродинамического расчёта в SW Flow Simulation и сравним их с результатами эксперимента. Результаты моделирования можно представить в различном удобном для анализа

виде. Оси координат – влево ось Z, вверх ось Y, ортогональный ось X (см. рисунок 14).

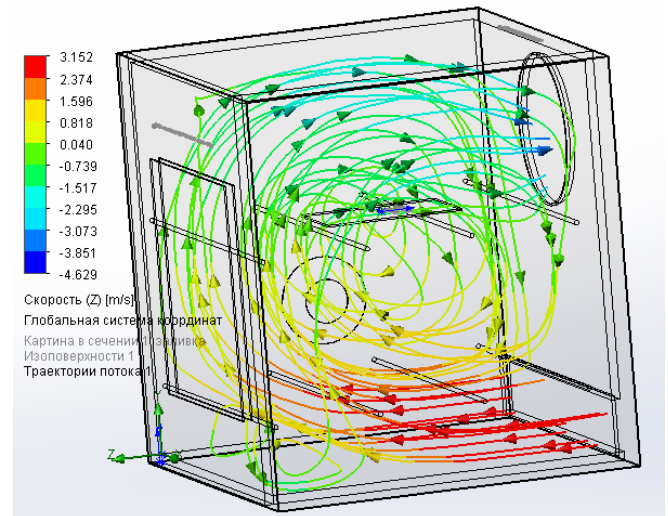


Рисунок 14 – Результаты моделирования в виде «Траектория потока»

Наиболее общие результаты можно представить в виде «Траектория потока» (см. рисунок 14), где линии – это траектория потока, стрелочки -направление движения потока, а по цветной легенде можно оценить скорость потока.

Для наглядности представим результат как «Картинки в сечении» (см. рисунок 15) в плоскости ZOY посередине корпуса.

Для наглядности далее для каждого горизонтального слоя на одном рисунке будут сведены экспериментальные и расчётные данные с указанием, для какой высоты горизонтального слоя они были получены (см. рисунок 16).

Это самый высокий горизонтальный слой (см. рисунок 16), с центром на высоте 370 мм. В эксперименте и в моделировании видно справа в середине область высокой скорости (в модели синее пятно) – это засасывающее круглое отверстие вентилятора. Тут необходимо отметить, что измерить скорость собственно в этом отверстии невозможно в силу конечного размера измерителя скорости $\varnothing 100$ мм на 40 мм. А расчётным путем это сделать возможно. Этим и объясняются некоторые расхождения результатов (2.3 м/с эксперимент и 3.2 м/с моделирование).

Это рабочее положение камеры, когда испытуемый объект лежит на верхней ре-

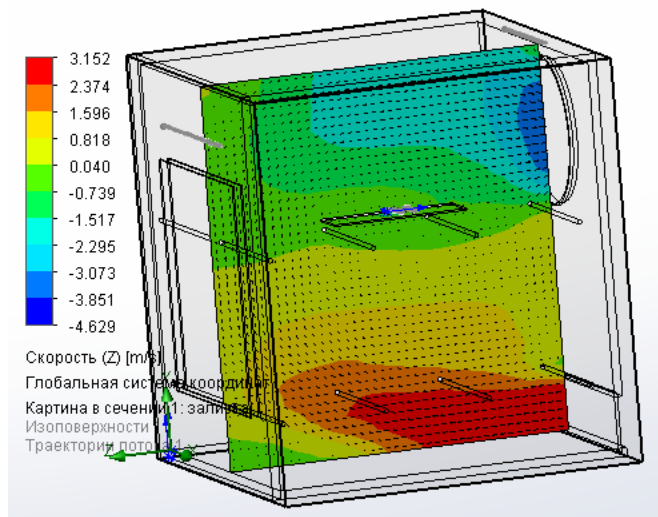


Рисунок 15 – Результаты моделирования в виде «Картинки в сечении» в среднем сечении плоскости Z0Y

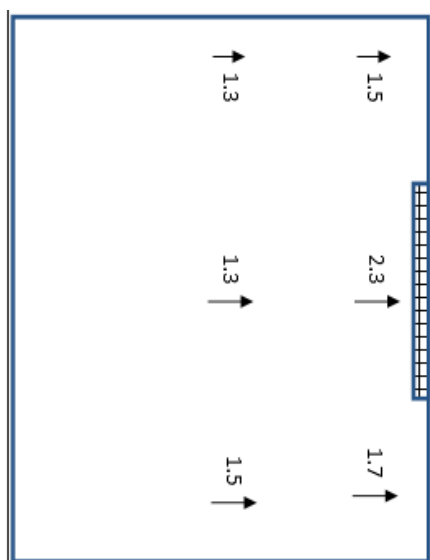


Рисунок 16 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на высоте 370 мм от дна камеры

шетке камеры. Достаточно спокойная область, почти «застойная» область (см. рисунок 17).

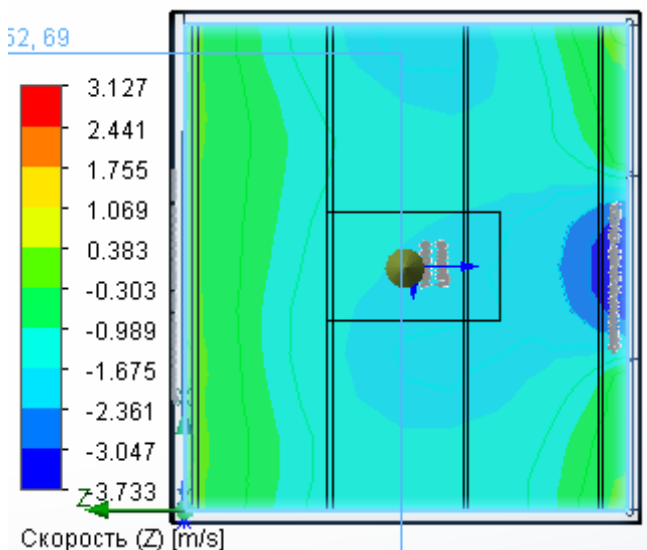
В этом варианте измеритель ставился на ручку, и его центр находился на высоте 300 мм от дна и примерно совпадал с центром вентиляторной решетки. Здесь экспериментально рядом с круглой решеткой была получена самая высокая скорость – 3.8 м/с (см. рисунок 18).

Следующее рабочее положение камеры, когда объект лежит на нижней решетке камеры (130 мм от дна). Вторая достаточно спокойная область смены направления потока воздуха. Тут экспериментально была измерена самая низкая скорость 0.2 м/с

(см. рисунок 19).

Это единственная область, где экспериментально была получена высокая скорость в противоположном другим слоям направлениям. Экспериментально это достаточно тонкая область, но при моделировании она получилась толще (см. рисунок 20).

Выводы по анализу и сравнению: в камере есть два ярко выраженных разнонаправленных высокоскоростных слоя сверху и снизу и некая срединная область, где достаточно высокие расхождения между экспериментом и моделированием, как по величине скорости, так и по направлению. Это надо учитывать при проведении климатических испытаний – насколько критична



эта неравномерность скоростей воздушного потока.

Если это критично, то можно рекомендовать добавить снизу в воздухозаборнике рассекающую решетку, которая будет дополнительно перемешивать воздушный поток. Очевидно, что между скоростью и равномерностью потока надо делать выбор в сторону равномерности. Иначе будет сильно различаться тепловой режим испытуемого изделия в зависимости от места его установки в камере.

Заключение

Проведено экспериментальное исследование

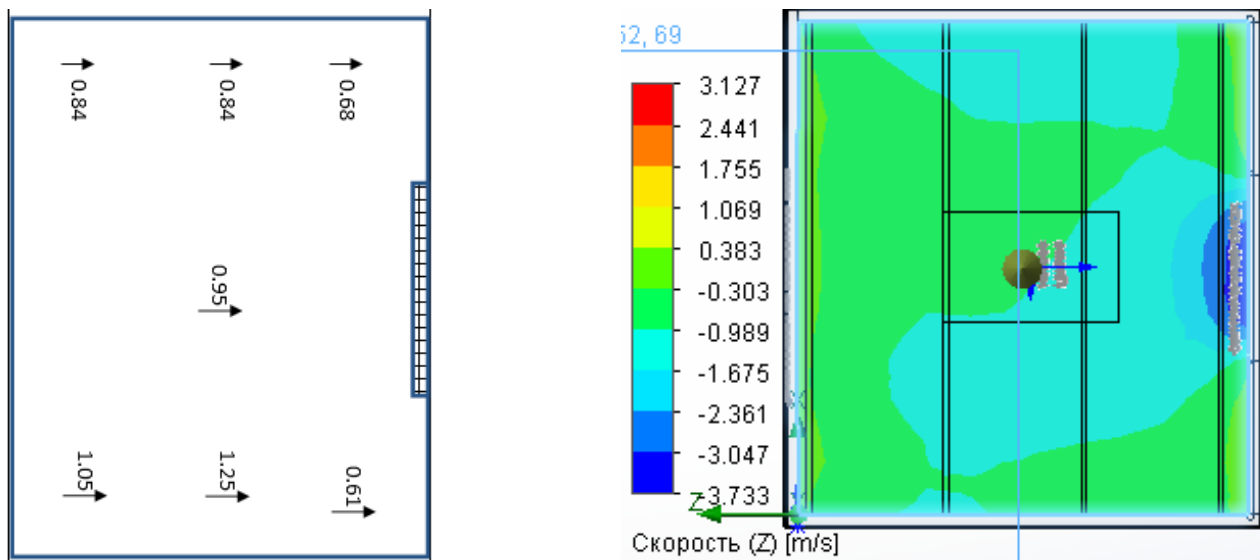


Рисунок 17 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на верхней решетке (на высоте 320 мм от дна камеры)

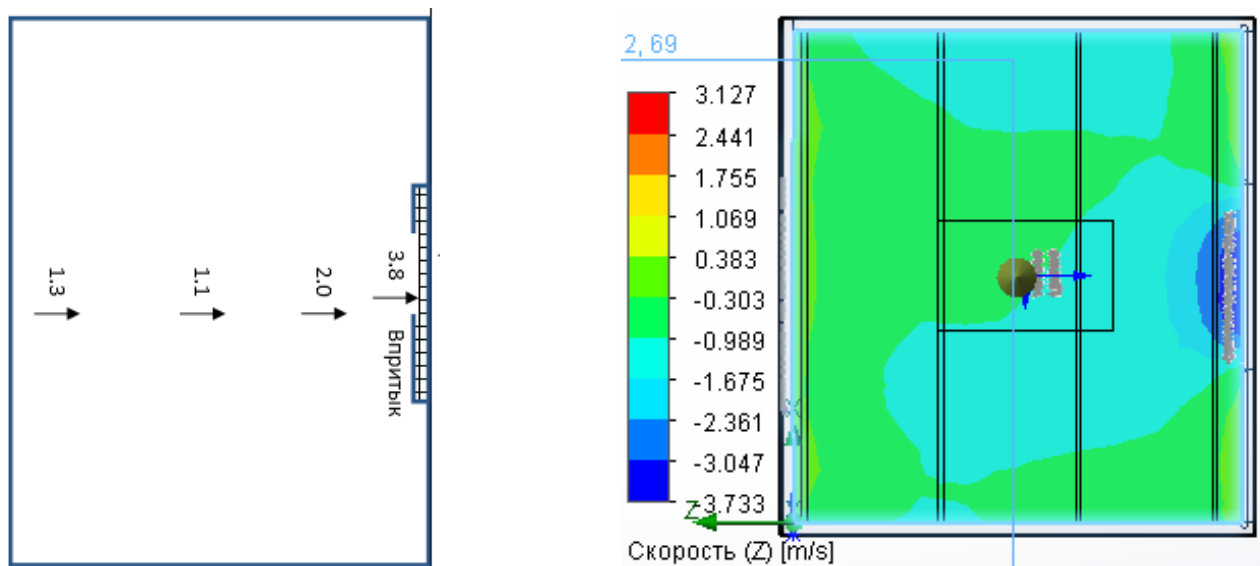


Рисунок 18 – Сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха на высоте 300 мм от дна камеры

дование аэродинамического режима климатической камеры тепла и холода Climcontrol M-70/100-120 КТХ. Построена геометрическая 3D-модель, которая доработана для расчёта аэродинамического режима. Построена модель аэродинамического режима и проведено моделирование SW Flow Simulation. Проведен анализ и сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха, и даны некоторые рекомендации по использованию камеры. В каждом разделе сделаны выводы по эксперименту, по построению 3D геометрической и аэродинамической модели, по анализу и сравнению.

Библиография

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

[2] Манохин А. И. Исследование тепловых режимов радиоаппаратуры с помощью вычислительного эксперимента // В кн.: Современные проблемы радиоэлектроники. Сборник научных трудов / Под общ. ред.

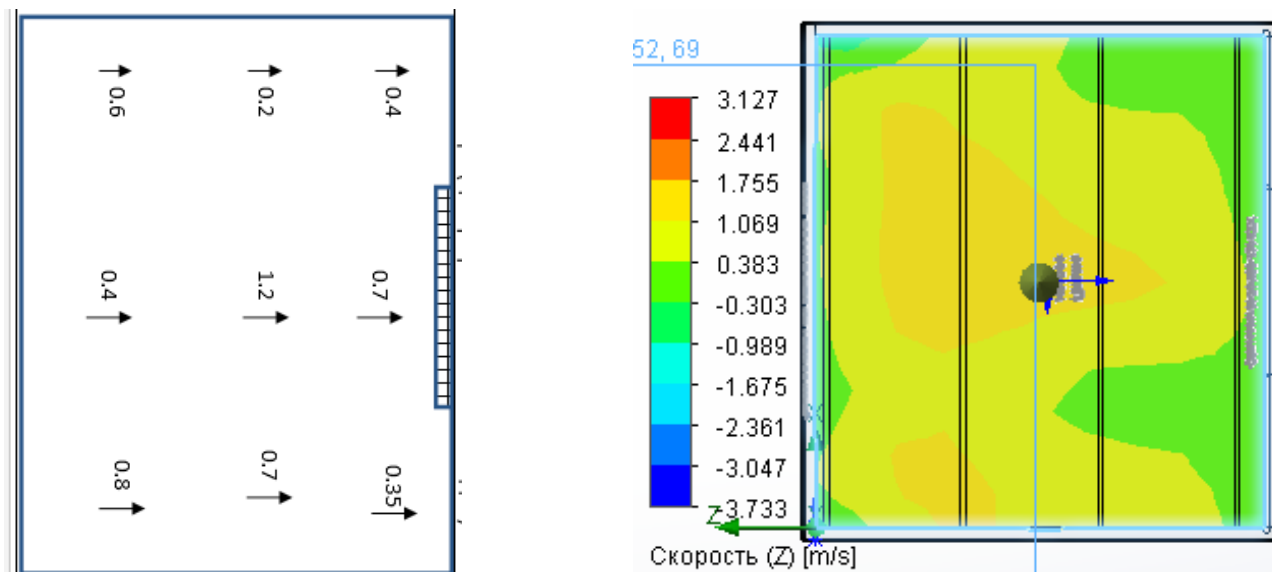


Рисунок 19 – Сравнение экспериментальных и расчетных значений скорости воздуха на нижней решетке (высота 130 мм от дна камеры)

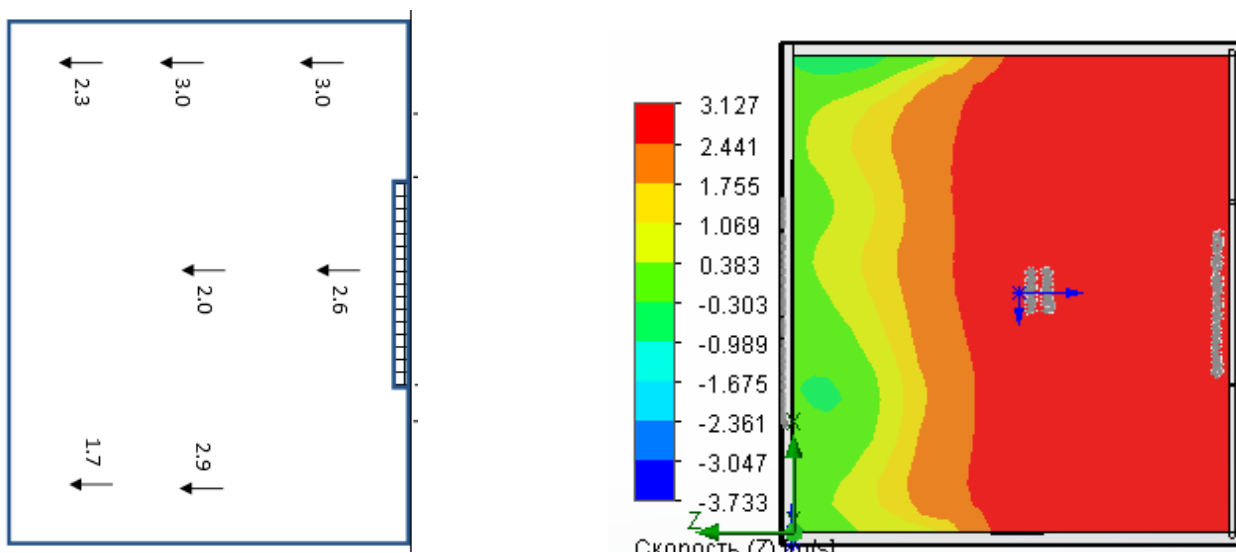


Рисунок 20 – Сравнение экспериментальных и расчётных значений скорости воздуха на дне камеры (50 мм от дна камеры)

А. В. Сарафанова. Красноярск: КГТУ им. Некрасова, 2003. С. 505-511

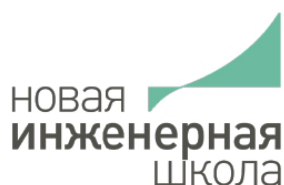
[3] Испытательная Климатическая камера Climcontrol M-70/100-120 КТХ. Режим доступа: <https://miroborudovaniya.ru/product/ispitatelnaya-klimaticheskaya-kamera-climcontrol-m-70-100-120-kth/> (дата обращения 04.09.2023)

[4] Testo 440 – Прибор для измерения скорости и оценки качества воздуха в поме-

щении. Режим доступа: <https://www.testo.ru/ru-RU/testo-440/p/0560-4401> (дата обращения 04.09.2023)

[5] Алямовский Андрей. SolidWorks Simulation. Как решать практические задачи, СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 445 с.

[6] Technical reference. Solidworks Flow Simulation 2020; Tutorials. Solidworks Flow Simulation 2020; Validation examples. Solidworks Flow Simulation 2020



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»

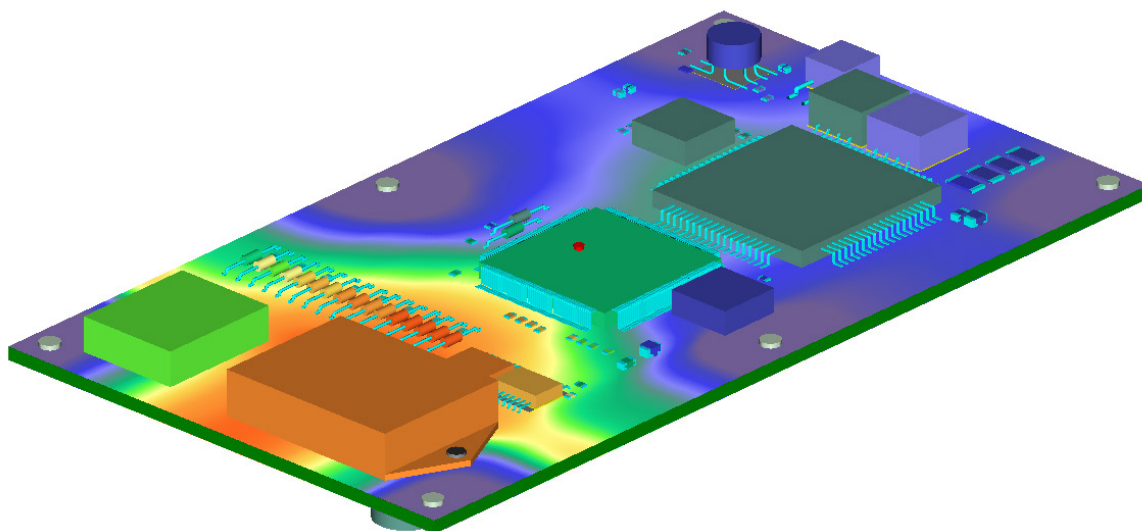
1. Обеспечение надежности электронных средств при проектировании
2. Обеспечение радиационной стойкости изделий электронной техники
3. Проектирование комплектов ЗИП
4. Методы автоматизированного моделирования РЭС на механические воздействия
5. Методы автоматизированного моделирования РЭС на тепловые воздействия
6. Методы создания карт рабочих режимов электрорадиоизделий по результатам комплексного моделирования физических процессов в РЭС

Курсы по направлению «Стратегическое развитие»

1. Разработка стратегии компании, находящейся в стадии трансформации

АСОНИКА – наиважнейший инструмент в политике Президента РФ В.В. Путина по достижению технологического суверенитета России в области электроники

als@asonika-online.ru



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

Научный коллектив ООО «НИИ «АСОНИКА», который непрерывно реализует эту задачу уже 44 года, начиная с 1979 года, предлагает российской промышленности готовый и апробированный инструмент для использования цифровых двойников электроники вместо натуральных испытаний согласно [ГОСТ Р 70201-2022 \[1\]](#), а также обучение этому инструменту и услуги по проведению с помощью этого инструмента виртуальных испытаний электроники на внешние воздействия и надёжность:

1. Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА.

2. Ускоренное обучение проведению виртуальных испытаний электроники с помощью системы АСОНИКА.

3. Платные расчёты (виртуальные испытания) с помощью системы АСОНИКА по заказам предприятий.

Рассмотрим более подробно.

1. Автоматизированная система обеспечения надёжности и качества аппаратуры АСОНИКА (www.asonika-online.ru) – это единственная уцелевшая со времён СССР система автоматизированного проектирования и виртуальных испытаний электроники, которая сейчас активно развивается и не имеет аналогов как в России, так и за рубежом. АСОНИКА позволяет прогнозировать и предотвращать потенциальные дефекты и отказы электроники,

обеспечивать её высокие показатели надёжности в условиях воздействия внешних дестабилизирующих факторов на этапе автоматизированного проектирования при одновременном значительном снижении временных и стоимостных показателей за счёт существенного сокращения количества натурных испытаний.

Рекомендации при выборе подсистем системы АСОНИКА.

В настоящее время требованиям [национальных стандартов \[1 – 14\]](#) 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 тепло-механическим 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 \[9\]](#), [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 \[8\]](#) и [ГОСТ Р 70293-2022 \[5\]](#).

Таким образом, согласно [ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 \[8\]](#) 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 \[11\]](#).

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 60.0.7.2-2020 \[8\]](#), [ПНСТ 537-2021 \[12\]](#), [ПНСТ 536-2021 \[13\]](#), [ПНСТ 535-2021 \[14\]](#).

АСОНИКА-ТМ – печатные узлы – импорт из САПР печатных плат в стандартном формате IDF;

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [8].

АСОНИКА-БД – база данных параметров ЭКБ и материалов, необходимых для моделирования.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.5-2020 [11].

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 60.0.7.2-2020 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 535-2021 [14].

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 [8].

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 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 536-2021 [13].

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 60.0.7.2-2020 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 536-2021 [13].

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 60.0.7.2-2020 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 536-2021 [13].

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 [8], ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 [10].

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 [8].

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 [8], ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 [9].

5. Создание цифрового двойника электроники:

АСОНИКА-ЦДЭ: исходные данные импортируются из всех подсистем системы АСОНИКА.

Соответствует ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [8].

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 60.0.7.2-2020 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 536-2021 [13]:

- 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 натуральных испытаниях);
- на воздействие случайной широкополосной вибрации с повышенной спектральной плотностью ускорения (в критических режимах, в том числе невозпроизводимых при натуральных испытаниях);

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [8], ПНСТ 537-2021 [12], ПНСТ 535-2021 [14]:

- 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 [8], ГОСТ Р 60.0.7.4-2020 [10]:

- Испытание на электромагнитную совместимость (ЭМС);

Согласно ГОСТ Р 70201-2022 [1], ГОСТ Р 70293-2022 [3], ГОСТ Р 60.0.7.2-2020 [8], ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 [9]:

- 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 \[8\]](#).

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)*

Разработаны ООО «НИИ «АСОНИКА» в рамках ТК 141 «Робототехника»:

8. 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 жизненного цикла (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1401-ст Введен в действие с 01.03.21)*

9. ГОСТ Р 60.0.7.3-2020 Роботы и робототехнические устройства. Метод математического моделирования показателей надёжности и виртуализации испытаний на надёжность базовых элементов робототехнических комплексов при проектировании (*Утвержден 28 декабря 2020 г. Приказ № 1402-ст Введен в действие с 01.03.21)*

10. 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)*

11. 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»:

12. 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)*

13. 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)*

14. 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 4-го номера журнала «САПР электроники» планируется 10 декабря 2023 года.
- Крайний срок подачи статей в 4-й номер: 1 декабря 2023 года.
- Материалы статей в свободной форме направляются по электронной почте SAPRelektroniki@mail.ru

ПОДПИСКА

Желающие регулярно получать на свою электронную почту уведомления о выходе очередного номера журнала направляют простое письмо по электронной почте SAPRelektroniki@mail.ru

Тема письма: Подписка

В тексте письма: Хочу подписаться на журнал «САПР электроники».

Ф.И.О., место работы и должность, электронная почта.

Все номера журнала находятся в свободном доступе на официальном сайте журнала:
<https://asonika-online.ru/journal/>

Там же размещена более подробная информация о журнале.