

Технологии ЭМС

В номере

- ▷ Памяти Арменского Е.В.
- ▷ Памяти Стася К.Н.
- ▷ Требования зарубежных стандартов по стойкости и безопасности объектов к мощным электромагнитным воздействиям
- ▷ Применение теории многопроводных линий передачи для обоснования методов испытаний аппаратуры на устойчивость к радиочастотным кондуктивным помехам
- ▷ Применение вейвлет-преобразования для анализа внешних электромагнитных воздействий на цепи автоматики и связи
- ▷ Чувствительность цифровых устройств к электростатическому разряду при оценке значимости диагностируемых электрорадиоэлементов
- ▷ Методы снижения уровня побочных излучений микроволновых устройств термообработки листовых материалов
- ▷ Разработка метода редукции модели линейной эквивалентной электрической схемы, построенной в однородном координатном базисе
- ▷ Разработка концепции политики безопасности инфокоммуникаций МИС ИС в условиях электромагнитных атак
- ▷ Принципы и методы реализации политики безопасности системы обеспечения электромагнитной безопасности многофункциональных информационных сетей
- ▷ Автоматизация измерений эффективности экранирования контейнеров в широком диапазоне частот с использованием векторного анализатора цепей
- ▷ Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию
- ▷ Всероссийская НТК «ТехноЭМС 2015»
- ▷ IV Международная научно-практическая конференция «Инновационные информационные технологии»

Технологии электромагнитной совместимости

Technologies of electromagnetic compatibility

2014. № 4(51).

emc-journal.ru

ISSN 1729-2670

УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

Оформить подписку можно

по объединенному каталогу «Пресса России»:

10362 — полугодовой индекс;

в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

Главный редактор журнала,**председатель редакционного совета**

БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

Зам. главного редактора журнала

КЕЧИЕВ ЛЕОНИД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

ФАЙЗРАХМАНОВ НИКОЛАЙ ИСХАКОВИЧ,

Редакционный совет:

АКБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.

ВОРШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ,

д.т.н., проф.

КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.

МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.

НЕФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.

НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.мед.н., проф.

НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.

ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.

САРЫЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ

САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.н.с.

СУХОРУКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент

ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.

ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:

НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

Издается при содействии кафедры РЭТ**МИЭМ-НИУ ВШЭ.****Главный редактор** **СТАСЬ** Константин Николаевич**Исполнительный директор**

Леонтьева Анна Анатольевна

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15,

стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел./факс +7-985-134-4367,

e-mail: kln1940@gmail.com.

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

Подписано к печати 01.12.2014

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИННИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Содержание**Памяти Арменского Е.В.****Памяти Стася К.Н.**

- Кечиев Л.Н., Балюк Н.В.** Требования зарубежных стандартов по стойкости и безопасности объектов к мощным электромагнитным воздействиям 5
- Балюк Н.В., Дмитриева Н.Ю., Дубровин Е.А., Крохалев Д.И., Пыж А.В., Сидорюк П.А.** Применение теории многопроводных линий передачи для обоснования методов испытаний аппаратуры на устойчивость к радиочастотным кондуктивным помехам 17
- Митрохин В.В., Польшов В.В.** Применение вейвлет-преобразования для анализа внешних электромагнитных воздействий на цепи автоматики и связи 25
- Иванов И.А., Полесский С.Н., Тихонов А.Н., Увайсов С.У.** Чувствительность цифровых устройств к электростатическому разряду при оценке значимости диагностируемых электрорадиоэлементов 34
- Нефедов В.Н., Назаров И.В., Симонов В.П.** Методы снижения уровня побочных излучений микроволновых устройств термообработки листовых материалов 44
- Борисов Н.И., Малина А.С., Востриков А.В., Кравченко Н.П.** Разработка метода редукции модели линейной эквивалентной электрической схемы, построенной в однородном координатном базисе ... 49
- Михеев В.А., Семин В.Г.** Разработка концепции политики безопасности инфокоммуникаций МИС ИС в условиях электромагнитных атак 58
- Михеев В.А., Семин В.Г.** Принципы и методы реализации политики безопасности системы обеспечения электромагнитной безопасности многофункциональных информационных сетей 62
- Пилков А.В., Купцов Н.М., Радомский А.Н.** Автоматизация измерений эффективности экранирования контейнеров в широком диапазоне частот с использованием векторного анализатора цепей 67
- Николаев П.А.** Устойчивость автомобилей к электромагнитному воздействию 72

ВСЕРОССИЙСКАЯ НТК «ТЕХНОЭМС 2015»

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 621.396.6

И.А. Иванов, С.Н. Полесский, А.Н. Тихонов, С.У. Увайсов

Чувствительность цифровых устройств к электростатическому разряду при оценке значимости диагностируемых электрорадиоэлементов

Обеспечение высокой надежности цифровых устройств с учетом жестких требований к электрическим перегрузкам требует использования специальной электронной компонентной базы и методов проектирования, соответствующих конечным условиям эксплуатации устройства. Статья посвящена актуальному вопросу разработки методики обеспечения контролепригодности электронных средств с учетом воздействия электростатического разряда, подтверждает необходимость учета воздействия и содержит пример расчета. Показаны основные этапы расчета, вклад восприимчивости к электростатическому разряду в показатели надежности и контролепригодности.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414)

Ключевые слова: цифровое устройство, надежность, интенсивность отказов, электрорадиоэлементы, контролепригодность, коэффициент значимости

Эксплуатация современной электронной техники как бытового, так и ответственного применения, происходит в условиях непрерывного воздействия электромагнитных полей различной интенсивности. Количество источников излучения и их мощности постоянно увеличивается. При этом развитие электроники сопровождается возрастанием скоростей передачи данных, повышением плотности монтажа электрорадиоэлементов (ЭРЭ). Данные тенденции, характеризующие современные технологии, снижают защищенность электронных средств (ЭС) от пагубного влияния электромагнитных полей. Таким образом, можно сказать о возрастании актуальности вопроса обеспечения электромагнитной совместимости ЭС [6].

Наиболее простым и эффективным способом защитить электронное средство от воздействия электромагнитного поля является экранирование. Но такого рода мер недостаточно для защиты ЭРЭ от, например, электростатического разряда (ЭСР) [16, 17, 18]. Причиной электростатического разряда могут быть условия высокой сухости и температуры, отсутствие или неисправное заземление, незэкранированные кабели, «дребезг» контактов, электромагнитное излучение и пр. В таких условиях сам экран может служить носителем электростатического разряда.

При проектировании электронных средств разработчиками уделяется большое внимание обеспечению показателей качества, в том числе показателям надежности и контролепригодности. При этом, как показывают результаты обработки статистики The DSIAC [7], весовая доля отказов, преимущественно интегральных микросхем (ИМС), происходит в результате электрических перегрузок (включающих электростатический разряд) (рис. 1.). Причем отказы могут происходить не только в процессе эксплуатации, когда цифровые устройства функционируют по назначению, но и на этапах производства или транспортировки.

На рис. 1 под «рабочим режимом» подразумеваются такие факторы, влияющие на техническое состояние ЭС, как процессы старения и износа, наличие производственно-технологических дефектов. Воздействие «окружающей среды» включает в себя влажность, давление, коррозию, солнечную радиацию и радиационное излучение. «Электрические перегрузки» учитываются в виде влияния электростатических разрядов, электромагнитного излучения и изменения электрических режимов работы схемы.

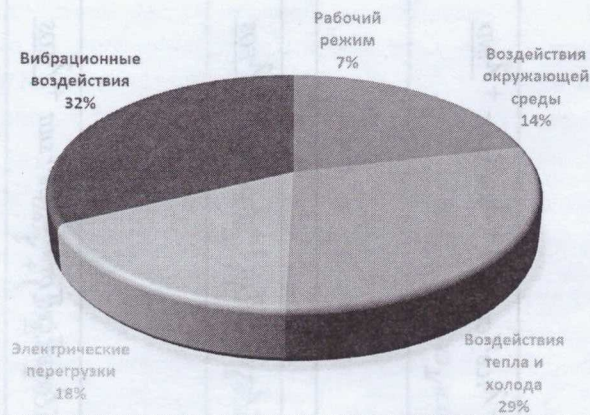


Рис. 1. Диаграмма распределения причин отказов в цифровых устройствах

Наглядные результаты воздействия ЭСР на цифровые ИМС приведены на рис. 2, данные иллюстрации являются результатами исследований компании «Cypress Semiconductor Corporation» [8].

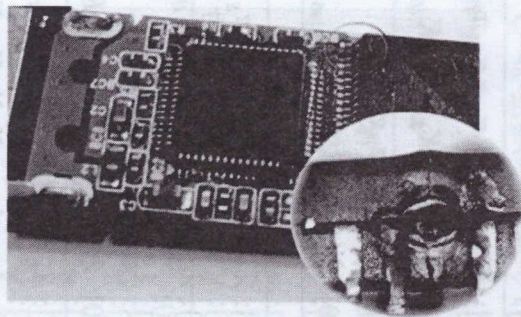


Рис. 2. Результат воздействия электростатического разряда

Аналогичные исследования проводили и другие производители современной электронной компонентной базы (ЭКБ), как отечественные, так и иностранные производители [3], у которых остро стоит вопрос борьбы с восприимчивостью к ЭСР [19–24] и, таким образом, можно утверждать, что в процессе обеспечения и повышения качества необходимо учитывать вероятные отказы, связанные с электрической перегрузкой.

Отсюда возникает проблема, когда при обеспечении надёжности и проектировании устройств происходит учет механической и тепловой нагрузок, но отсутствует в практике учет ЭСР, что приводит к вероятным ошибочным результатам, которые могут проявиться уже при эксплуатации.

С целью создания высокой эффективности операций контроля и диагностирования ЭС необходимо обеспечить требуемый уровень контролепригодности [13, 15], для чего в соответствии с [14] проводится отбор наиболее значимых электрорадиоэлементов (ЭРЭ).

Одним из критериев отбора значимых ЭРЭ является вероятность отказа $Q(t) = 1 - P(t)$, где $P(t)$ – вероятность безотказной работы (ВБР).

Модель расчета ВБР за время t «простейшего» элемента по экспоненциальному закону распределения имеет следующий вид [9]:

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

где: λ – интенсивность отказов в режиме эксплуатации, определяется для группы ЭРЭ и отдельно для каждого элемента по модели из [1, 4, 5, 10], 1/ч.; t – заданное время, ч.

Ниже приведены математические модели прогнозирования эксплуатационной интенсивности отказов наиболее распространенных классов ЭРЭ цифровых устройств по различным справочникам [1, 4, 5, 10] (табл. 1). Подробное описание параметров моделей ИО дано в справочниках [1, 4, 5, 10].

Таблица 1

Классификация моделей прогнозирование эксплуатационной ИО по различным справочникам

№ п/п	Классы ЭКБ	Формула расчета эксплуатационной ИО
1	Конденсаторы	Из [1]: $\lambda_p = \pi_G \pi_C (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$ Из [4]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_C K_S K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$ Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_C \pi_V \pi_{SR} \pi_Q \pi_E$ Из [10]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_B K_P K_C K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$
2	Резисторы	Из [1]: $\lambda_p = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_P + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{IND}$ Из [4]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_P K_S K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$ Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_P \pi_S \pi_Q \pi_E$ Из [10]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_B K_P K_R K_M K_{\text{стаб}} K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$
3	Полупроводниковые приборы	
3.1	Диоды	Из [1]: $\lambda_p = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$ Из [4]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_S K_K K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$ Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E$ Из [10]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_S K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$
3.2	Транзисторы	Из [1]: $\lambda_p = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} \pi_S + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{TE} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$ Из [4]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_{\Phi} K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$ Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_Q \pi_E$ Из [10]: $\lambda_{\text{Э}} = \lambda_B K_P K_{\Phi} K_{\text{ПП}} K_{\text{Э}}$
4	Цифровые интегральные микросхемы (ИМС)	
4.1	Негерметичные (пластиковый корпус)	Из [1]: $\lambda_p = \pi_G (\lambda_{OB} \pi_{DCO} \pi_{TO} + \lambda_{EB} \pi_{DCN} \pi_{RHT} + \lambda_{TCB} \pi_{CR} \pi_{DT}) + \lambda_{SJB} \pi_{SJD} + \lambda_{EOS}$ Из [4]: $\lambda_{\text{Э}} = (\lambda_{KP} K_T + \lambda_{КОРП} K_{\text{Э}}) K_{\text{ПП}}$

		<p>Из [5]: $\lambda_p = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_{C.T} K_{КОРП} K_V K_{ПР} K_\varepsilon$</p>
4.2	Герметичные	<p>Из [1]: $\lambda_p = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO} + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{SJB}\pi_{SJDТ} + \lambda_{EOS}$</p> <p>Из [4]: $\lambda_\varepsilon = (\lambda_{KP}K_T + \lambda_{КОРП}K_\varepsilon)K_{ПР}$</p> <p>Из [5]: $\lambda_p = (C_1\pi_T + C_2\pi_E)\pi_Q\pi_L$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_{C.T} K_{КОРП} K_V K_{ПР} K_\varepsilon$</p>
5	Индуктивности	<p>Из [1]: $\lambda_p = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO} + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{IND}$</p> <p>Из [4]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_{ПР} K_\varepsilon$</p> <p>Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_C \pi_Q \pi_E$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_P K_{ПР} K_\varepsilon$</p>
6	Оптоэлектронные приборы	<p>Из [1]: $\lambda_p = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO} + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{IND}$</p> <p>Из [4]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_{ПР} K_\varepsilon$</p> <p>Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_Q \pi_E$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_P K_{ПР} K_\varepsilon$</p>
7	Переключатели	<p>Из [1]: $\lambda_p = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO} + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{IND}$</p> <p>Из [4]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_{Б.С.Г.} K_S K_{К.К} K_{ПР} K_\varepsilon$</p> <p>Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_{CYC} \pi_L \pi_E$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_P K_{К.К} K_F K_{ПР} K_\varepsilon$</p>
8	Соединители	<p>Из [1]: $\lambda_p = \pi_G(\lambda_{OB}\pi_{DCO}\pi_{TO} + \lambda_{EB}\pi_{DCN}\pi_{TE} + \lambda_{TCB}\pi_{CR}\pi_{DT}) + \lambda_{IND}$</p> <p>Из [4]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_{Б.С.Г.} K_T K_{К.К} K_{К.С} K_{ПР} K_\varepsilon$</p> <p>Из [5]: $\lambda_p = \lambda_b \pi_K \pi_P \pi_E$</p> <p>Из [10]: $\lambda_\varepsilon = \lambda_B K_P K_{К.К} K_{К.С} K_{ПР} K_\varepsilon$</p>

Как видно из табл. 1, в математических моделях из справочников [4, 5, 10] не учитывается воздействие электрической перегрузки, хотя, как показано выше (рис. 1), оно существенное.

Для прогнозирования надежности цифровых устройств с учетом воздействия ЭСР наиболее приемлемы модели ИО из справочника [1]. В табл. 1 в моделях ИО присутствуют λ_{EOS} или λ_{IND} , что отвечает за учет электрических перегрузок. Их значения для каждой группы ЭРЭ приведены в таблицах справочника [1], но также существуют модели оценки λ_{EOS} или λ_{IND} в зависимости от чувствительности элемента к ЭСР [12]:

$$\lambda_{EOS}(\lambda_{IND}) = \frac{(-\ln(1 - A \cdot e^{(-B \cdot V)})) \cdot 10^{-6}}{0,00876}, \quad (2)$$

где V – восприимчивость к воздействию ЭСР, В; A, B – эмпирические коэффициенты (определяются для конкретной группы ЭРЭ).

По данным из [12] для ИМС значения $A = 0.00057$, $B = 0.0002$. Для примера на рис. 3 приведены зависимости значения USB Флэш-накопителя (ФН) ИО в режиме эксплуатации (1) и хранения от восприимчивости к воздействию ЭСР.

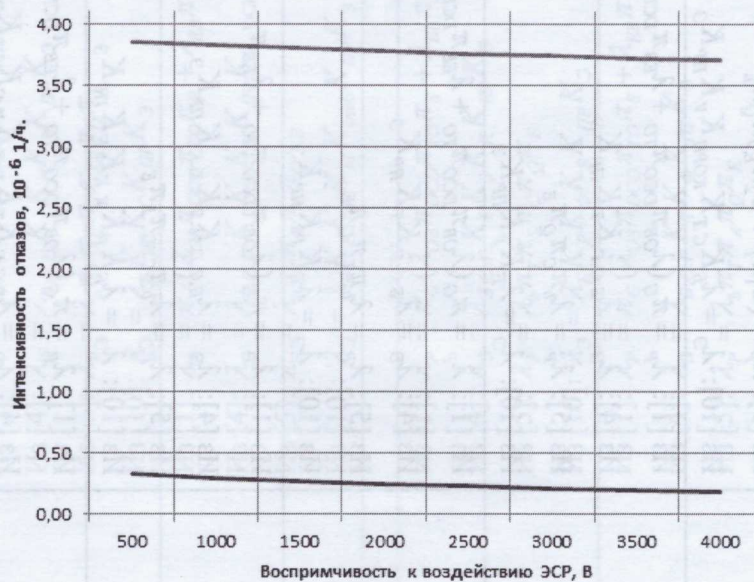


Рис. 3. Зависимость USB Флэш-накопителя от восприимчивости к воздействиям электростатического разряда (в режиме работы – верхняя кривая, в режиме хранения – нижняя)

Исходя из сказанного выше методика контролепригодного проектирования [13, 15] доработана с учетом высокой степени влияния ЭСР на надежность ЭРЭ (рис. 4).

Ниже приведен расчет значимости ЭРЭ цифрового устройства с учетом влияния ЭСР на примере USB Флэш-накопителя (ФН), 3D-модель представлена на рис. 5.

В соответствии со спецификацией в состав ФН входят 25 ЭРЭ.

Для определения значимости ЭРЭ сделаем расчет функции чувствительности с использованием пакета OrCAD. Результаты расчета, проведенные в соответствии с методикой формирования набора значимых элементов [14], приведены в табл. 2.

Следующим этапом оценки значимости ЭРЭ является расчет вероятности отказа для каждого элемента по модели (1). Для этого необходимо получить значения интенсивности отказа по справочнику [1], математические модели приведены в табл. 1.

Чтобы продемонстрировать степень влияния ЭСР на ЭРЭ проведем расчет показателей надежности с учетом электрических перегрузок и без.

Результаты расчета интенсивности отказов получены с помощью программного комплекса АСОНИКА-К без учета электрических перегрузок (рис. 6). А влияние электрических перегрузок отмечены цветом и приведены на гистограмме (рис. 7).

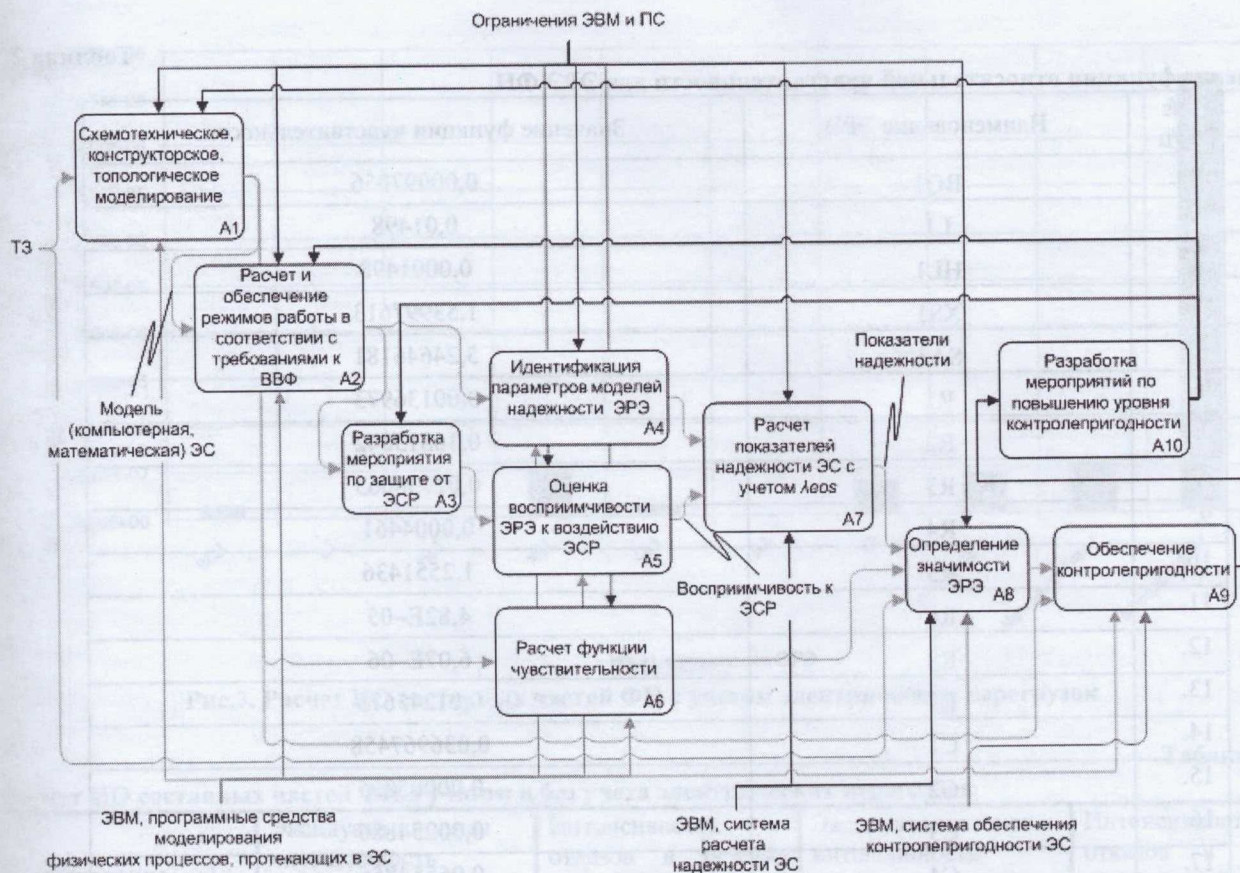


Рис. 4. Методика обеспечения контролепригодности ЭС с учетом воздействия ЭСР

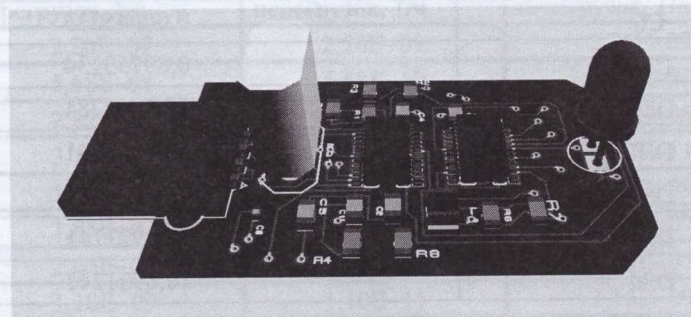


Рис. 5. 3D-модель ФН

Количественное сравнение результатов расчетов ИО в режиме эксплуатации и хранения представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, интенсивность отказов, учитывающая электрические перегрузки, значительно различается. Вклад интенсивности отказов, связанной с электрической перегрузкой, в общую интенсивность отказов составляет 19,47%. Данные результаты подтверждают необходимость учета ЭСР при обеспечении надежности цифровых устройств.

Используя полученные результаты, проведем расчет коэффициента значимости по методике из [14] для случаев с учетом электрических перегрузок и без их учета.

Сравнение численных результатов расчетов коэффициента значимости представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, наблюдается изменение набора диагностируемых ЭРЭ, что говорит о непосредственном влиянии учета электрических перегрузок при обеспечении контролепригодности.

Таким образом, можно говорить об актуальности предложенной методики обеспечения контролепригодности ЭС с учетом воздействия ЭСР (рис. 4).

Таблица 2

Значение функции относительной чувствительности для ЭРЭ ФН

№ п/п	Наименование ЭРЭ	Значение функции чувствительности
1.	BQ1	0,00097056
2.	L1	0,01498
3.	HL1	0,0001498
4.	XS1	1,53997613
5.	SA1	5,24646181
6.	R1	0,00136973
7.	R2	0,36813842
8.	R3	0,02738663
9.	R4	0,0004461
10.	R5	1,2551436
11.	R6	4,82E-05
12.	R8	6,07E-06
13.	R7	0,01245675
14.	C1	0,036967458
15.	C2	0,00005855
16.	C3	0,00254886
17.	C4	0,06554856
18.	C5	0,09854566
19.	C6	0,00045236
20.	CP1	0,89753134
21.	DD1	22,4502784
22.	DS1	10,6921241
23.	DS2	10,6921241
24.	DS3	10,6921241
25.	DS4	10,6921241

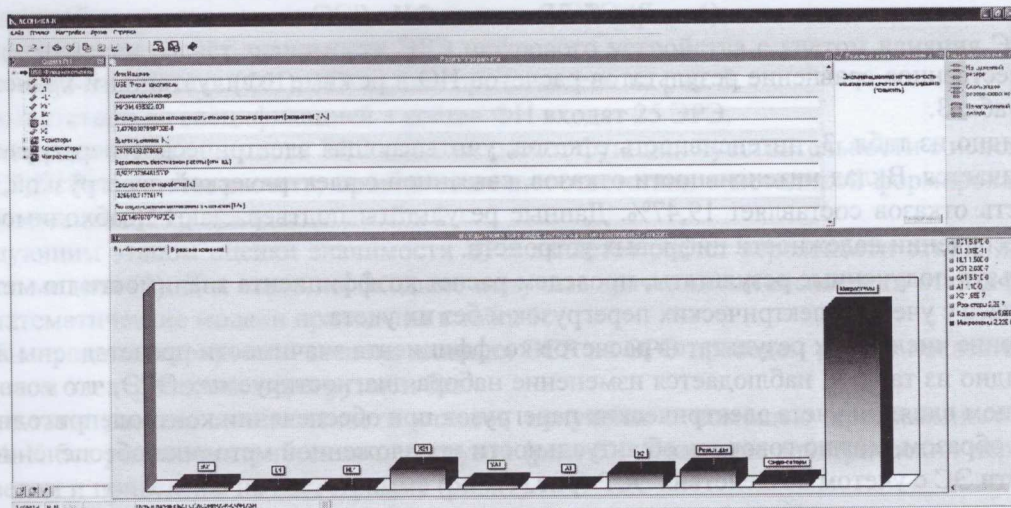


Рис. 6. Расчет ИО составных частей ФН без учета электрических перегрузок

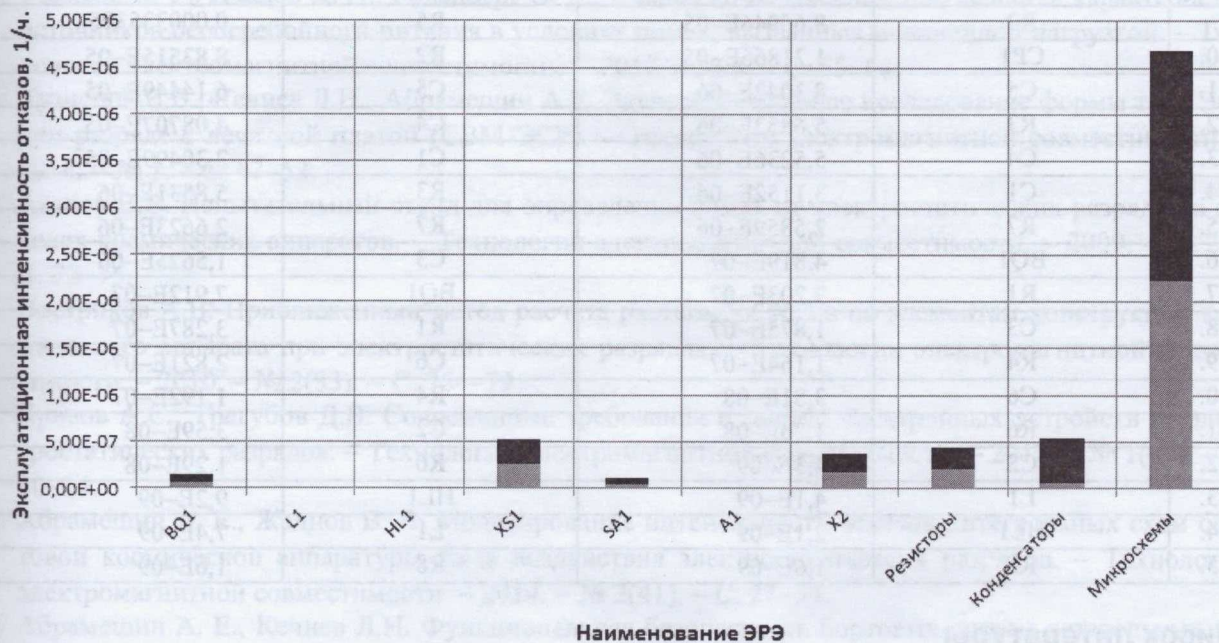


Рис. 7. Расчет ИО составных частей ФН с учетом электрических перегрузок

Таблица 3

Расчет ИО составных частей ФН с учетом и без учета электрических перегрузок

Наименование группы ЭРЭ	Эксплуатационная интенсивность отказов с учетом электрических перегрузок, 1/ч.	Интенсивность отказов в режиме ожидания с учетом электрических перегрузок, 1/ч.	Эксплуатационная интенсивность отказов без учета электрических перегрузок, 1/ч.	Интенсивность отказов в режиме ожидания без учета электрических перегрузок, 1/ч.
Резисторы	2,20E-07	2,20E-09	2,26E-07	1,65E-08
Конденсаторы	5,68E-08	5,68E-10	4,88E-07	9,21E-09
Микросхемы	2,22E-06	2,81E-08	2,47E-06	7,86E-08
Индуктивности	3,15E-11	3,15E-13	5,63E-11	2,80E-12
Светодиоды	1,58E-09	3,96E-11	6,98E-09	5,80E-10
Соединения	1,85E-07	1,85E-09	1,90E-07	6,88E-09
Соединители	2,63E-07	8,75E-10	2,68E-07	1,40E-09
Печатная плата	1,10E-09	1,10E-11	1,15E-09	5,70E-11
Кварцевые резонаторы	5,67E-08	5,67E-10	9,31E-08	4,20E-09
Переключатели	5,51E-08	5,51E-10	6,45E-08	9,98E-09

Таблица 4

Сравнение наборов ЭРЭ, ранжированных по коэффициенту значимости

№ п/п	Набор ЭРЭ, ранжированных по коэффициенту значимости R (без учета электрических перегрузок)		Набор ЭРЭ, ранжированных по коэффициенту значимости R (с учетом электрических перегрузок)	
	Наименование ЭРЭ	Значение коэффициента значимости R	Наименование ЭРЭ	Значение коэффициента значимости R
1.	DD1	0,329914781	DD1	0,339601379
2.	DS1	0,012356372	DS1	0,017033086
3.	DS2	0,012356372	DS2	0,017033086
4.	DS3	0,012356372	DS3	0,017033086
5.	DS4	0,012356372	DS4	0,017033086
6.	XS1	0,003543836	XS1	0,003611131
7.	SA1	0,00253173	SA1	0,002963519

8.	R5	0,00032761	CP1	0,000496765
9.	R2	8,60946E-05	R5	0,000335305
10.	CP1	1,21866E-05	R2	8,83515E-05
11.	C5	8,3042E-06	C5	6,14449E-05
12.	R3	5,6852E-06	C4	4,08707E-05
13.	C4	5,5236E-06	C1	2,30499E-05
14.	C1	3,1152E-06	R3	5,8531E-06
15.	R7	2,5859E-06	R7	2,6623E-06
16.	BQ1	4,819E-07	C3	1,5625E-06
17.	R1	3,203E-07	BQ1	7,912E-07
18.	C3	1,875E-07	R1	3,287E-07
19.	R4	1,164E-07	C6	2,821E-07
20.	C6	3,81E-08	R4	1,192E-07
21.	R6	1,26E-08	C2	3,59E-08
22.	C2	4,3E-09	R6	1,29E-08
23.	L1	4,1E-09	HL1	9,2E-09
24.	HL1	2,1E-09	L1	7,4E-09
25.	R8	1,6E-09	R8	1,6E-09

Список литературы

1. RIAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217PlusTM reliability prediction models. – USA: RIAC, 2006. – 170 p.
2. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
3. Горлов М.И., Строганов А.В. Воздействие электростатического разряда на интегральные микросхемы. – Компоненты и технологии. – 2008. – № 3. – С. 188–192.
4. Справочник «Надежности ЭРИ ИП». – М.: МО РФ, 2006. – 52 с.
5. MIL-HDBK-217F. Military handbook reliability prediction of electronic equipment. USA: Department, 1995. – 205 p.
6. Кечиев Л.Н., Пожидаев Е.Д. Защита электронных средств от воздействия статического электричества. – М.: ИД «Технологии», 2005. – 352 с.
7. Документация по анализу показателей надежности DSIAC [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.theriac.org/informationresources/demosanddownloads.html>.
8. Документация по анализу влияния EOS компании «Cypress Semiconductor Corporation» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cypress.com/?docID=20619>.
9. Абрамешин А.Е., Жаднов В.В., Полесский С.Н. Информационная технология обеспечения надежности электронных средств наземно-космических систем / отв. ред. В.В. Жаднов // Книга научное издание. – Екатеринбург: ООО «Форт Диалог-Исеть». – 2012. – 565 с.
10. Надежность электрорадиоизделий: Справочник. – М.: МО РФ, 2006. – 641 с.
11. RIAC-HDBK-217Plus. Handbook of 217PlusTM reliability prediction models. USA: RIAC, 2006. – 170 p.
12. Denson W.K., Brusius P. VHSIC/VHSIC-LIKE RELIABILITY PREDICTION MODELING. RADCTR-89-177. USA: ITT, 1989. – 311 p.
13. Увайсов С.У., Увайсов Р.И., Иванов И.А. Обеспечение контролепригодности радиоэлектронных средств в рамках CALS-технологий. – Качество. Инновации. Образование. – 2011. – № 1(68). – С. 43–46.
14. Увайсов С.У., Иванов И.А., Кошелев Н.А. Методика обеспечения диагностируемости электронных средств космических аппаратов по ранговому критерию на ранних этапах проектирования. – Качество. Инновации. Образование. 2012. – № 1 (80). – С. 60–63.
15. Иванов И.А., Увайсов С.У. Информационная модель процесса проектирования контролепригодных радиоэлектронных средств. – Информационные технологии. – 2011. – № 12. – С. 41–45.
16. Абрамешин А. Е., Полесский С. Н. Комплексное прогнозирование надежности цифровых электронных модулей на стадии проектирования с учетом физической составляющей отказа. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. – № 4 (43). – С. 51–57.

17. Увайсов С. У., Иванов И. А., Гольдберг О. Д., Иванов О. А. Обеспечение качества характеристик источников бесперебойного питания в условиях помех, вызванных нелинейной нагрузкой. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2013. – № 3. – С. 55–64.
18. Кузнецов В.В., Кечиев Л.Н., Абрамешин А.Е. Экспериментальное исследование формы тока ЭСР при разряде с печатной платой (СВМ ЭСР). – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – № 1. – С. 47–53.
19. Агапов В.В. Испытательный стенд для определения помех от электростатических разрядов в кабелях космических аппаратов. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2009. – № 2. – С. 72–75.
20. Востриков А.В. Приближенный метод расчета растекания токов по элементам конструкций космического аппарата при электростатических разрядах. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2010. – № 2(33). – С. 75–79
21. Кривов А.С., Трегубов Д.В. Современные требования к защите электронных устройств от электростатических разрядов. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2012. – № 1(40). – С. 10–14.
22. Абрамешин А. Е., Жаднов В. В. Моделирование интенсивности отказов интегральных схем бортовой космической аппаратуры из-за воздействия электростатических разрядов. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – № 2(41). – С. 27–34.
23. Абрамешин А. Е., Кечиев Л.Н. Функциональная безопасность бортовых систем летательных аппаратов при ЭСР. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – № 3 (42). – С. 33–43.
24. Абрамешин А. Е., Галухин И.А., Кечиев Л.Н. Кузнецов В.В., Назаров Р.В. Воздействие ЭСР на полупроводниковые компоненты: моделирование схем защиты, методов и средств испытаний. – Технологии электромагнитной совместимости. – 2014. – № 3(42). – С. 44–58.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 14-07-00414)

This work was supported by RFBR (grant № 14-07-00414)

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»

Статья поступила 20.05.2014.

Ivanov I.A., Polessky S.N., Tikhonov A.N., Uvaysov S.U.

Sensitivity of digital devices to the electrostatic discharge by evaluation of importance of diagnosed radio-frequency components

Ensuring of a high reliability of digital devices with the strict requirements to the electrical overloads requires using of special electronic component base and design techniques, which corresponds to the final service conditions of the devices. The paper is dedicated to the actual issue of designing of methodology of ensuring of testability of electronic means taking into account the impact of electrostatic discharge, corroboration of the need to consider impact and example of calculation. The paper shows the basic phases of calculation, meaning of sensitivity to the electrostatic discharge for reliability indexes and testability.

Key words: digital device, reliability, failure rate, radio-frequency components, testability, coefficient of importance

National Research University Higher School of Economics

АВТОРЫ НОМЕРА

ВНИМАНИЕ! ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ

«ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ»

Объединенный каталог «Пресса России» агентства «Книга-Сервис»

10362 – полугодовой индекс. Через редакцию – (на любой срок) по тел.: 8-985-134-4367.

Балюк Николай Васильевич, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России, balyknwva@mail.ru.

Борисов Николай Иванович, д.т.н., профессор каф. ИТАС НИУ ВШЭ, тел.: 8-905-580-44-96; borisov@itas.miem.edu.ru.

Востриков Александр Владимирович, к.т.н., старший преподаватель каф. ИТАС НИУ ВШЭ, тел.: 8-926-566-3550; avostrikov@hse.ru.

Дмитриева Наталия Юрьевна, младший научный сотрудник ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России.

Дубровин Евгений Александрович, к.т.н., начальник НИЦ, заместитель начальника института по научно-испытательной работе ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России.

Иванов Илья Александрович, к.т.н., старший преподаватель, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», тел. +7(926)383-07-40, i.ivanov@hse.ru.

Кечиев Леонид Николаевич, д.т.н., профессор каф. РЭТ НИУ ВШЭ, kln1940@gmail.com.

Кравченко Наталья Павловна, к.т.н., доцент каф. РЭТ НИУ ВШЭ, nkravchenko@hse.ru.

Крохалев Дмитрий Иванович, к.т.н., ведущий научный сотрудник ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России, kroha-68@mail.ru.

Купцов Николай Михайлович, ведущий инженер отдела реализации испытаний по ЭМС и обеспечения стойкости к спецвоздействиям, ОАО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца», nkupcov@rti-mints.ru, тел. 8-495-612-99-99, доб.2363.

Малина Анна Сергеевна, аспирант каф. ИТАС НИУ ВШЭ, тел.: 8-916-511-54-62; malinaannn@yandex.ru.

Митрохин Валерий Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность» Омского государственного университета путей сообщения, e-mail: mitrokhin@list.ru.

Михеев Вячеслав Алексеевич, к.т.н., ОАО «Инженерно-маркетинговый центр Концерн «Вега», тел. (499) 155-43-03, mikheev@imc-vega.ru.

Назаров Игорь Васильевич, к.т.н. НИУ ВШЭ, доцент, E-mail: inazarov@hse.ru.

Нефедов Владимир Николаевич, д.т.н., профессор НИУ ВШЭ, профессор, тел. 926-603-43-48, 6034348@mail.ru.

Николаев Павел Александрович, д.т.н., ОАО «АВТОВАЗ», Отдел исследований электромагнитной совместимости, главный специалист, тел. 8-917-1224690, pra690@yandex.ru.

Пилков Александр Валерьевич, начальник комплексного отдела ЭМС РЭС и обеспечения стойкости к спецвоздействиям, ОАО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца», apilkov@rti-mints.ru, тел. 8-495-612-99-99, доб. 1116.

Полесский Сергей Николаевич, к.т.н., доцент, НИУ «Высшая школа экономики», тел. +7(926)563-70-04, spolessky@hse.ru.

Польянов Валерий Валерьевич, аспирант кафедры «Инфокоммуникационные системы и информационная безопасность» Омского государственного университета путей сообщения, инженер отдела эксплуатации электросвязи Новосибирской дирекции связи Центральной станции связи – филиала ОАО «РЖД», тел. +7-965-990-4000, polyanovvv@wsr.ru.

Пыж Александр Викторович, старший инженер-испытатель ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России.

Радомский Андрей Николаевич, ведущий инженер отдела ЭМС РЭС и обеспечения стойкости к спецвоздействиям, ОАО «Радиотехнический институт имени академика А. Л. Минца», тел. 8-495-612-99-99, доб.2363, aradomskiy@rti-mints.ru.

Семин Валерий Григорьевич, д.т.н., профессор НИУ ВШЭ, 8-915-215-1333, semin_valeriy@mail.ru.

Сидорюк Павел Александрович, к.т.н., с.н.с., ведущий научный сотрудник ФГКУ «12 ЦНИИ» Минобороны России.

Симонов Валентин Павлович, д.т.н., с.н.с., Координатор Научного фонда НИУ ВШЭ по направлению «Физика, новые материалы и электроника» НИУ ВШЭ, профессор, vsimonov@hse.ru.

Тихонов Александр Николаевич, академик РАО, д.т.н., профессор, директор, научный руководитель МИЭМ, Национальный исследовательский университет «ВШЭ», тел. +7(495) 917-9089, atikhonov@hse.ru.

Увайсов Сайгид Увайсович, д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», тел. +7-903-203-0503, s.uvaysov@hse.ru.