

**А.В. Ачкасов, В.А. Смерек**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СЛОЖНЫХ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ  
МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ**

**Монография**

**Под редакцией д-ра техн. наук, проф. С.Л.Подвального**

**Воронеж**

**Издательство «Научная книга»**

**2014**

**УДК 621.3; 539.11**  
**ББК 31.4**  
**А 97**

**Рецензенты:**

- Барабанов В.Ф.,** д-р техн. наук, профессор (Воронежский государственный технический университет);
- Громов Ю.Ю.,** д-р техн. наук, профессор (Тамбовский государственный технический университет)

**А 97 Ачкасов, А.В.** Проектирование математического и программного обеспечения отказоустойчивых сложных функциональных блоков микроэлектроники специального назначения: Монография/ А.В.Ачкасов, В.А.Смерек; под ред. С.Л.Подвального. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2014. – 160 с.

**ISBN 978-5-98222-846-8**

В монографии рассмотрены проблемы проектирования отказоустойчивых бортовых средств вычислительной техники, работающих в условиях космического пространства. Анализируются состояния средств автоматизированного проектирования, методики проектирования, математическое и программное обеспечение на примере наиболее распространенных КМОП элементов.

Издание предназначено для аспирантов и научных работников, а также практических специалистов в области элементов и изделий электронной техники.

**УДК 621.3; 539.11**  
**ББК 31.4**  
**А 97**

**ISBN 978-5-98222-846-8**

**О Ачкасов А.В., Смерек В.А., 2014**

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Современные средства автоматизированного проектирования электронной компонентной базы космического назначения. ....	7
1.1. Анализ состояния и развития современной электронной компонентной базы космического назначения.....	7
1.2. Основные факторы космического пространства и физические явления в электронной компонентной базе .....	13
1.3. Средства автоматизированного проектирования ЭКБ и их возможности обеспечению сбоеустойчивости к воздействию ТЗЧ. ....	22
Выводы.....	37
2. Разработка методики проектирования и математического обеспечения для моделирования воздействия на схемотехническом уровне проектирования.....	39
2.1. Методика проектирования современной электронной компонентой базы специального назначения с учетом одиночных событий радиационного характера.....	39
2.2. Моделирование воздействия ТЗЧ в активных областях элементов микросхем при проектировании.....	47
2.3. Моделирование процессов, характерных для одиночных событий в КМОП структурах.....	53
Выводы.....	78
3. Моделирование одиночных событий, методы защиты КМОП типовых элементов и алгоритмическая основа проектирования радиационно-стойких элементов .....	79
3.1. Оптимизация методов защиты сложных цифровых блоков от одиночных событий. ....	79
3.2. Определение вероятности безотказной работы при комплексной оптимизации элементов сложных функциональных блоков в САПР.....	90
3.3. Алгоритмическая основа моделирования и обеспечения защиты типовых КМОП элементов в процессе проектирования .....	99
Выводы.....	102
4. Результаты внедрения и оценка адекватности и эффективности разработанных программных средств.....	103
4.1. Особенности разработанного программного обеспечения и его внедрение в САПР сквозного проектирования.....	103
4.2. Практическая реализация методов защиты.....	106
4.3. Внедрение предложенных средств и оценка адекватности моделей. ....	121
Выводы.....	125
Использованные источники .....	126
Литературные источники из смежных областей исследования .....	136

## Введение

**Актуальность проблемы.** Известно, что изделия микроэлектроники имеют самое широкое применение во всех отраслях промышленности, в том числе в космических летательных аппаратах. Их применение в условиях космоса стало возможным только при защите от целого ряда дестабилизирующих факторов, одним из которых является радиационное воздействие. В последнее время среди компонент космического излучения наибольшую актуальность приобрело воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ).

Современный уровень развития микроэлектроники характеризуется резким уменьшением проектных норм, увеличением степени интеграции, внедрением новых передовых технологий, развитием новых методов проектирования с использованием макрофрагментов, которые получили название сложные функциональные блоки (СФ-блоки). В этих условиях радиационные эффекты от воздействия ТЗЧ стали носить доминирующий характер. Эти эффекты получили название одиночные события, вследствие случайного проявления, связанного со случайным прилетом частицы во времени. Они проявляются в отказах ячеек памяти, временного функционального отказа, тиристорного эффекта и необратимого отказа. В этих условиях разработчики ЭКБ космического применения уже не могли повысить производительность работы и функциональную полноту микросхем простым увеличением числа элементов за счет уменьшения проектных норм. Необходимы были специальные методы защиты.

Развитию таких методов уделялось значительное внимание, но в основном оно сводилось к структурной избыточности элементов и применению специальных методов защиты (коды Хемминга и т.п). Дальнейшее развитие данной темы должно проходить в более детальном рассмотрении физических процессов и автоматизации оптимального сочетания различных методов защиты. Ранее реализация методов защиты

практически повсеместно сводилось к искусству конструктора проектировщика и поэтому обладало всеми недостатками «человеческого фактора». Решение этих задач достигалось, как правило, развитием одного метода в ущерб другому. В современных условиях перехода на глубоко субмикронные технологии возросла роль оптимального сочетания различных методов защиты, поэтому назрела необходимость обеспечить автоматизацию проектирования специальных микросхем, устойчивых к воздействию ТЗЧ. Для этого должны быть созданы специальные средства проектирования, которые позволили бы обеспечить защиту от возникновения одиночных событий с «максимальной независимостью от человеческого фактора». При этом важным условием реализации таких методов является комплексное сочетание методов защиты: структурной избыточности, применение кодов Хемминга, изменения частоты работы и т.п.

Таким образом, для создания радиационно-стойких микросхем космического назначения в области теории и разработки САПР были выдвинуты актуальные задачи, которые потребовали своего решения.

Необходимо решить следующие задачи:

- a) Разработать математические модели локальных радиационных эффектов, возникающих в СФ блоках КМОП СБИС при воздействии ТЗЧ космического пространства.
- b) Сформулировать научную задачу обеспечения стойкости СФ блоков при комплексном сочетании основных методов их защиты от одиночных событий и определить алгоритм ее решения в условиях ограничения ресурсов.
- c) Получить вероятностные оценки увеличения стойкости СФ блоков при сочетании основных методов их защиты от воздействия ТЗЧ.

d) Разработать алгоритмическое и программное обеспечение для проектирования сбоеустойчивых КМОП СБИС космического назначения, провести реализацию разработанных средств и их интеграцию в единую программную среду проектирования КМОП СБИС космического назначения.

Наряду с основной библиографией авторы рекомендуют читателю обратить внимание на обширную библиографию, связанную с тематикой проведенного исследования.

---

Научное издание

**Александр Владимирович Ачкасов  
Владимир Андреевич Смерек**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНОГО  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ СЛОЖНЫХ  
ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ БЛОКОВ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ  
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Монография

Издание публикуется в авторской редакции

Дизайн обложки С.А.Кравец

---

Подписано в печать 15.02.2014. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ.л. 10,0. Заказ 000. Тираж 500 экз.

---

ООО Издательство «Научная книга»  
394077, Россия, г.Воронеж, ул. 60-й Армии, 25-120  
<http://www.sbook.ru/>

Отпечатано с готового оригинал-макета  
в ООО «Цифровая полиграфия»  
394036, г. Воронеж, ул. Ф. Энгельса, 52.  
Тел.: (473)261-03-61