

В диссертационный совет 24.2.385.09 при  
федеральном государственном бюджетном  
образовательном учреждении высшего  
образования «Санкт-Петербургский  
государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента, к.т.н., доцента Доброскока Никиты Александровича на диссертацию **Елаева Евгения Валерьевича** «Автоматизация тестового контроля цифровых радиоэлектронных устройств», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

#### **Актуальность диссертационного исследования**

Актуальность темы диссертационной работы обоснована, прежде всего, решением критически важной задачи, заключающейся в повышении качества выпускаемой цифровой радиоэлектронной продукции. Актуальность решения поставленной задачи значительно усиливается в связи с действиями продолжающихся международных санкций, и необходимостью развития отечественной электроники. Одним из барьеров на пути масштабирования производства цифровых радиоэлектронных устройств (ЦРЭУ) является интегрирование систем технического контроля в контуры автоматизированных систем управления производством (АСУП) при изготовлении цифровой аппаратуры. Не менее важным фактором для развития цифровой отрасли является улучшение эксплуатационных характеристик на этапе ремонта, диагностики и обслуживания ЦРЭУ при отсутствии полной информации об исходных алгоритмах их работы и целевом назначении в составе более сложных систем.

Для решения обозначенной проблемы необходимы новые методологические подходы к созданию программных и поведенческих моделей цифровых устройств, а также алгоритмы и программные технологии автоматизированной оценки работоспособности — в т.ч. для систем с неизвестными алгоритмами функционирования и назначением.

Реализация этих решений позволит повысить достоверность контроля качества на всех этапах жизненного цикла ЦРЭУ; сократить затраты на постпроизводственное

обслуживание; обеспечить технологическую устойчивость отрасли в условиях ограниченных внешних ресурсов. Таким образом, диссертационное исследование Елаева Евгения Валерьевича имеет высокую актуальность и значимость.

### **Структура работы**

Диссертационная работа представляет собой завершённое научное исследование, отличающееся внутренней целостностью и логической структурой, состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, содержащего 124 наименований, списка сокращений, списка иллюстративного материала, 6 приложений. Общий объём диссертации составляет 128 страниц, включая 36 рисунков и 8 таблиц.

**Во введении** представлено обоснование актуальности выбранной темы исследования, чётко сформулированы цель работы и положения, выносимые на защиту. Кроме того, в разделе приведены основные результаты исследования, дана оценка их научной новизны и раскрыта практическая значимость полученных решений.

**В первой главе** проведён всесторонний анализ существующих способов и технологий тестирования ЦРЭУ. Кроме того, представлены разработанные методы формирования моделей цифровых микросхем, а также метод интеграции нецифровых аналоговых компонентов микросхемы в модель объекта контроля — с учётом специфики задач тестирования.

**Вторая глава** посвящена технологии создания тестов, подходам к формированию в контексте задач тестирования моделей ЦРЭУ с элементами программируемой логики, при отсутствии доступа к конфигурирующей программе. В этой же главе разрабатывается метод автоматизированной генерации проверяющей тестовой последовательности для задач тестового контроля цифровых устройств. Приводится описание разработанного программного комплекса CRIT, реализующего данные подходы, метод и алгоритм.

**В третьей главе** иллюстрируется практическая ценность разработанных решений. На примере тестирования реального ЦРЭУ, показана высокая эффективность методов, алгоритма и программного комплекса CRIT. Результаты демонстрируют возможность их внедрения в производственные процессы для повышения качества контроля.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание.

## **Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов**

Обоснованность положений, выносимых диссертантом на защиту, подтверждается применением научного подхода при разработке методов, подходов и алгоритма, их корректным использованием при решении поставленных задач.

Достоверность положений, выносимых диссертантом на защиту, подтверждена в ходе практической апробации: проведено тестирование реального цифрового объекта контроля с применением разработанных подходов, алгоритма и методов в рамках программного комплекса CRIT, а также внедрением полученных результатов в АО «Производственная компания «Специальные Инновационные Технологии».

### **Научная новизна**

Научная новизна полученных автором результатов состоит в следующем:

1. Разработаны оригинальные методы создания программных моделей компонентов ЦРЭУ. В основе методов лежит комплексный подход, включающий формализованную интерпретацию технических описаний компонентов, применение математического аппарата для описания их функциональных характеристик, а также использование принципов восходящего проектирования. Это позволяет достичь высокую степень соответствия между поведением модели и непосредственно самого ЦРЭУ на этапе тестирования.
2. Разработан метод интеграции аналоговых узлов в имитационную модель цифрового объекта контроля. Метод основан на применении математических моделей аналоговых компонентов, что обеспечивает соответствие моделируемого и реального поведения сигнала. Это позволяет осуществить комплексный тестовый контроль ЦРЭУ в состав, которого входят аналоговые компоненты (за исключением ЦАП или АЦП).
3. Разработана и программно реализована технология формирования моделей входных воздействий для тестового контроля цифровых систем. Она реализует реакцию на эти воздействия всех компонентов объекта контроля и активизацию связей между ним, тем самым создаёт надёжную основу для оценки работоспособности цифровых систем.
4. Разработан и реализован оригинальный алгоритм автоматизированного тестирования ЦРЭУ в виде программного модуля. Его новизна заключается в структурной декомпозиции объекта контроля на функциональные блоки и применении для составления тестовой последовательности методов, аналогичных обратному распространению ошибки

в нейронных сетях. Алгоритм анализирует полноту тестового покрытия и реакцию имитационной модели, что позволяет найти оптимальное тестовое сочетание.

5. Предложены подходы к моделированию цифровых систем с элементами программируемой логики в условиях отсутствия доступа к конфигурирующей программе («прошивке»). Разработанные принципы обеспечивают возможность осуществления тестирования всего объекта контроля, включающего в себя подобные компоненты с отсутствием доступа к их «прошивке».

### **Научная и практическая ценность диссертации**

Исследование создаёт теоретическую основу автоматизации тестирования цифровых устройств через разработку математического аппарата, алгоритма, методологических подходов, обеспечивающих автоматизацию процессов тестирования цифровых устройств в рамках систем тестового контроля.

Практическая ценность представленной диссертационной работы подтверждается разработкой и внедрением программного комплекса CRIT предназначенного для автоматизации процесса генерации тестовых последовательностей для ЦРЭУ. Ключевой особенностью созданного комплекса является его полная совместимость с существующими отечественными промышленными системами автоматизированного тестирования, в частности с установками УТК-512 (Установка Тестового Контроля) и СкатЦ (Система Комплексного Автоматизированного Тестирования).

Эффективность и востребованность предложенных решений подтверждены документально: имеются официальные акты внедрения, фиксирующие использование разработанного программного обеспечения в реальных производственных условиях на базе АО «Производственная компания „Специальные Инновационные Технологии“». Кроме того, результаты диссертационного исследования интегрированы в образовательный процесс и применяются при подготовке специалистов на факультете прикладной математики — процессов управления Санкт-Петербургского государственного университета.

### **Апробация результатов работы**

Основные результаты диссертационного исследования были представлены на 5 различных российских и международных конференциях и семинарах.

По теме диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 4 статьи в научных изданиях из перечня ВАК РФ, 3 статьи в рецензируемых изданиях, индексируемых по базе Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **Соответствие паспорту научной специальности**

Диссертационное исследование проведено в соответствии с п.2 «Автоматизация контроля и испытаний» и п.15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы диагностирования (определения работоспособности, поиск неисправностей и прогнозирования) АСУТП, АСУП, АСТПП и др.», паспорта научной специальности 2.3.3.- «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами».

### **Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы**

При рецензировании диссертации и автореферата выявлены следующие недочеты и замечания:

1. В работе отмечается, что разработан «математический аппарат...позволяющий автоматизировать тестирование цифровых устройств». В чем заключаются особенности этого «математического аппарата»? По тексту диссертации используются известные элементы алгебры логики. Имеется ввиду, что применяются ограничение на использование отдельных операций, особые формы представления и др. в рамках алгебры логики?
2. В тексте диссертации нет в явном виде обоснования выбранного программного обеспечения для реализации методологии создания поведенческих моделей ЦРЭУ в контексте задач тестового контроля. В 1.1 есть некоторое сравнение программных продуктов, но не показана мотивация выбора пакета Quartus II. Кроме того, не ясно с какой целью по тексту диссертации приводятся отсылки (см., например, 1.4) к САПР P-CAD, который фактически не поддерживается с 2006 г.
3. В 1.5 приводится «метод интегрирования аналоговых узлов в модель цифрового объекта контроля». При этом демонстрационные примеры интеграции относительно просты. Часть элементов исключается из схемы, часть заменяется на фиктивные. Более интересная реализация модели аналогово-цифрового преобразователя поясняется только на концептуальном уровне. Здесь было бы хорошо показать конкретную реализацию. Кроме того, учитываются ли реальные согласующие схемы, например, с применением

операционных усилителей (масштабирование входа, смещение нуля при измерении/подаче знакопеременного сигнала и т.д.) или, как и в случае, входного фильтра по цепи питания ими можно пренебречь?

4. На страницах 50 и 51 диссертации описан поиск «оптимальной последовательности входных сигналов». Что является критерием «оптимальности»? В каком смысле слово «оптимальность» подменяется словом «успешность»? Выражение (2.1) позволяет осуществить оценку тестового покрытия. Есть ли диапазоны величин тестового покрытия, при котором задача поиска «удачной тестовой комбинации» считается не решенной? Кажется, эти диапазоны могут изменяться в зависимости от схемотехники объекта контроля. Как это оценивается?

5. На страницах 57 и 92 упоминается узкоспециализированная программная среда ЯСТЕК, но не освещены ее особенности, специфика и не обосновывается ее выбор для работы, в самой диссертации представлены только ссылки на статьи об этой программной среде.

6. В разделе 2.4 представляют интерес детализация алгоритмической составляющей программного комплекса CRIT. Если бы не наличие акта внедрения программного комплекса, могло бы показаться, что это скорее проработка облика программного продукта, а не его конкретная реализация. С одной стороны, есть некоторая конкретика по базовому классу `iLogicalIntreface`. С другой стороны, многие вопросы не освещены. Например, не до конца ясно как функционирует «генератор тестовых последовательностей». Как осуществляется формирование первого приближения тестовой последовательности, коррекция тестовой последовательности (или используется перебор последовательностей?), что учитывается при коррекции (только полнота покрытия?) и т.д.? Подобные вопросы возникают и по другим программным модулям.

Отмеченные недостатки не снижают значимости представленных автором результатов и общей положительной оценки работы Елаева Е. В.

### **Заключение**

Диссертация Елаева Евгения Валерьевича на тему: «Автоматизация тестового контроля цифровых радиоэлектронных устройств» по актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости соответствует требованиям, предъявляемым ВАК Минобрнауки России к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук (пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. (с

изменениями и дополнениями)), а также специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)».

Диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, в которой предложены научно обоснованные технические решения, направленные на совершенствование методов автоматизации комплексного тестового контроля цифровых радиоэлектронных устройств, включающего в себя программную и аппаратную часть на основе математического и программного моделирования объекта контроля, интерфейсного метода автоматизации тестирования, что имеет существенное значение для развития отрасли цифровой радиоэлектроники Российской Федерации.

С учётом изложенного, а также принимая во внимание достаточную апробацию результатов и высокий уровень публикационной активности соискателя, считаю, что Елаев Евгений Валерьевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.3. «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)».

Официальный оппонент:

кандидат технических наук (05.09.03 - электротехнические комплексы и системы),  
доцент,

заведующий кафедрой систем автоматического управления федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д.5.

<https://etu.ru/>

Тел.: +7 906 247 0426

E-mail: nadobroskok@etu.ru

 Доброскок Н.А.

*27 апреля 2026 года*

Я, Доброскок Никита Александрович, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.