

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора –
главный инженер
АО «ФНПЦ «ННИИРТ»
М.Е. Францев
2026 г.



ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Жизняковой Натальи Александровны
«Математические модели быстродействующих цифро-аналоговых
преобразователей в специальных режимах работы для формирования
высокочастотных сигналов с малым уровнем фазовых шумов», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 -
Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Актуальность темы исследования. Стремительное развитие систем связи пятого и шестого поколений (5G/6G), радиолокации с синтезированной апертурой, а также бортовых и космических комплексов требует создания высокостабильных формирователей сигналов. Ключевой проблемой является противоречие между необходимостью увеличения выходной частоты и сохранения низкого уровня фазовых шумов. Автор диссертации обоснованно выбирает в качестве объекта исследования быстродействующие ЦАП, работающие в специальных режимах с использованием образов основной частоты, что позволяет достичь компромисса между частотой, спектральной чистотой и скоростью перестройки. Это направление, безусловно, является одним из наиболее перспективных в современной радиотехнике, а его математическая проработка, представленная в диссертации, вносит существенный вклад в развитие теории и практики формирования высокочастотных сигналов.

Научная новизна результатов заключается в следующем:

1. **Разработаны математические модели** быстродействующих ЦАП в специальных режимах работы NRZ, 2xNRZ, RZ, RF, RFZ, RFZ2, RFZ3 и RFZ4. Автором получены аналитические выражения для коэффициентов передачи, обеспечивающие более полное и системное представление о возможностях ЦАП при формировании высокочастотных сигналов.

2. **Предложенные новые режимы RFZ3 и RFZ4** являются оригинальными техническими решениями. Их ключевое преимущество — перераспределение энергии спектра в пользу высокочастотных образов, что является важным вкладом в теорию прямого цифрового синтеза.

3. **Разработана модернизированная методика построения шумовых моделей** ЦАП, учитывающая как собственные шумы ЦАП, так и шумы генератора опорной частоты. Автором впервые получены соотношения для коэффициентов передачи фазовых шумов в специальных режимах работы, что позволяет прогнозировать уровень фазовых шумов на образах основной частоты.

4. **Алгоритм частотного планирования**, предложенный в четвёртой главе, представляет собой законченную процедуру выбора параметров ЦАП (режим, номер образа, коэффициент умножения, тактовая частота) из условия минимума фазовых шумов.

Теоретическая и практическая значимость диссертации не вызывает сомнений. Разработанные математические модели могут быть использованы не только для анализа, но и для синтеза формирователей сигналов с заданными спектральными и шумовыми параметрами. Они позволяют на этапе проектирования обоснованно выбирать режим работы ЦАП и его тактовую частоту. Результаты работы внедрены на предприятии

радиоэлектронной промышленности, что подтверждает их практическую востребованность.

Достоверность и обоснованность результатов обеспечиваются корректным применением методов спектрального анализа и математического моделирования; использованием при разработке моделей реальных данных из технической документации ведущих производителей; хорошим совпадением теоретических зависимостей с экспериментальными характеристиками; апробацией на международных и всероссийских конференциях и публикациями в рецензируемых изданиях, в том числе индексируемых Scopus.

Замечания по автореферату (носящие дискуссионный характер и не снижающие общей положительной оценки работы):

1. В автореферате не приведено сравнение эффективности предложенных режимов RFZ3 и RFZ4 с альтернативными методами повышения частоты, например, с использованием умножителей частоты на активных или пассивных нелинейных элементах. Такое сравнение позволило бы полнее оценить преимущества предложенного подхода.

2. Из полученных результатов не ясно, как сочетаются результаты частотного планирования и частоты, реально применяемые в современных системах связи, для получения непосредственного практического эффекта.

Заключение. Диссертационная работа Н.А. Жизняковой представляет собой завершённое научное исследование, в котором решена актуальная задача разработки математических моделей и новых режимов работы быстродействующих ЦАП, позволяющих формировать высокочастотные сигналы с низким уровнем фазовых шумов. По своей актуальности, научной новизне, объёму и практической значимости работа полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям согласно пп. 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор, Жизнякова Наталья Александровна, безусловно заслуживает присуждения искомой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 — «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв составил
Кандидат физико-математических наук
(специальность 1.3.4 - Радиоп физика),
старший научный сотрудник акционерного
общества «Федеральный научно-
производственный центр «Нижегородский
научно-исследовательский институт
радиотехники»

 Козлов Сергей Александрович
28.07.2026

Почтовый адрес АО «ФНПЦ «ННИИРТ»:
603950, г. нижний Новгород, ул. Шапошникова, д. 5.
Телефон: +7 (831) 469-58-19
E-mail: nniirt@nniirt.ru

Отзыв обсужден и одобрен на заседании НТС АО «ФНПЦ «ННИИРТ»
(Протокол № 12 от 28.07.2026 г.)

Подпись старшего научного сотрудника Козлова С.А. заверяю

Ученый секретарь НТС АО «ФНПЦ «ННИИРТ»

 И.В. Сычушкин