



## ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию **Сороковика Данила Вячеславовича**

«АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВИБРАТОРНЫХ  
АНТЕНН С ПРИМЕНЕНИЕМ КАЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

05.12.07 «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

В диссертационной работе Д.В. Сороковика рассматриваются вопросы анализа стационарных и нестационарных полей вибраторных антенн: диполя Герца и линейного вибратора конечной длины. Хотя теоретические и экспериментальные исследования излучения вибраторных антенн проводятся свыше ста лет, исследования в этом направлении продолжаются и стимулируются необходимостью более глубокого анализа процессов нестационарного излучения в связи с практическим использованием сверхширокополосных и сверхкоротких импульсов в системах радиосвязи и радиолокации.

Диссертация Сороковика Д.В. затрагивает ряд не до конца изученных вопросов в этом направлении, безусловно представляет научный интерес и является **актуальной**. Такая оценка основана на том, что в работе для анализа полей привлекаются качественные методы, нетрадиционные для антенной теории. Обычно, качественная теория обыкновенных дифференциальных уравнений (КТ ОДУ) используется в теории колебаний и волновых процессов различной физической природы. Однако в антенной технике методы КТ ОДУ были впервые применены сравнительно недавно в работах руководителя диссертанта профессора В.А. Пермякова и его соавторами и продолжены в оппонируемой работе. Такой инструмент анализа нестационарных полей антенн ценен тем, что

позволяет изучать процессы эволюции векторных электромагнитных полей и их структуру в окрестностях особенностей полей (нулей векторного поля), а также условия их структурной перестройки в пространстве – времени.

Методическую ценность качественного анализа в учебном процессе и научных исследованиях очевидна. Широкое применение описания нестационарных процессов в форме анимаций с использованием дискретных рядов кадров с равномерным шагом по времени делает возможным пропуски моментов структурной перестройки изображений полей, не совпадающих с принятыми временными отсчетами. Привлечение качественных методов к анализу нестационарных полей позволяет исключить пропуски структурных перестроек и повысить достоверность анализа.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений.

**Во введении** представлен краткий обзор проблемы анализа нестационарных полей антенн, приведена общая характеристика диссертационной работы и решаемые в ней задачи, изложены научная новизна и практическая значимость исследований, основные положения, выносимые на защиту, информация об апробации результатов диссертации.

**В первой главе** рассмотрены методы анализа нестационарных электромагнитных полей, определяемых уравнениями Максвелла. Дан обзор публикаций по указанной тематике. Сформулирован тезис, что развитие метода КТ ОДУ в применении к анализу нестационарных полей антенн является актуальным и перспективным направлением исследований.

**Вторая глава** диссертации посвящена решению задачи излучения элементарного электрического вибратора – диполя методом КТ ОДУ. Выполнен качественный анализ структуры полей диполя в гармоническом и негармоническом режимах излучения. Проведен анализ движения силовых линий электрического и магнитного полей и вектора Пойнтинга с использованием понятий мгновенных скоростей нулей и экстремумов электромагнитного поля и вектора Пойнтинга.

В третьей главе проведен анализ пространственно–временной структуры поля тонкого симметричного вибратора конечной длины в гармоническом режиме излучения. Изучена возможность формирования системой электрических вибраторов областей с заданным числом нулей электрического поля. Рассмотрены условия, при которых качественный анализ обобщается на случай однородной изотропной среды с малыми потерями.

В заключении изложены полученные автором результаты и намечены пути дальнейших исследований.

В приложениях приведены информация о разработанной автором программе анимации силовых линий электрического поля диполя при различных видах возбуждающего дипольного момента, алгоритм расчета мгновенных скоростей нулей и экстремумов компонент полей и вектора Пойнтинга, а также численные результаты расчета силовых линий электрического и магнитного полей и вектора Пойнтинга для двух длин вибраторов при гармоническом их возбуждении.

Наиболее важные результаты, определяющие научную новизну диссертационной работы, заключаются в следующем:

1. Разработана методика качественного анализа силовых линий электрического поля и вектора Пойнтинга электрического диполя при гармоническом и негармоническом режимах его возбуждения. Локальный анализ позволил дать классификацию простых особых точек/линий электрического поля и вектора Пойнтинга в цилиндрической системе координат для произвольной зависимости полей от времени. Важными результатами являются установленная связь дифференциальных уравнений силовых линий электрического поля и вектора Пойнтинга и вытекающая из неё связь структур особых точек этих векторных полей и условий их бифуркации. Найдены первые интегралы дифференциальных уравнений электрического поля и вектора Пойнтинга при произвольной зависимости от времени. Выполнен качественный анализ структуры силовых линий полей диполя и вектора Пойнтинга для конкретных временных зависимостей дипольного момента.

2. Установлено, что нули и экстремумы нестационарных полей могут двигаться со сверхсветовыми мгновенными скоростями в зоне индукции. С удалением от диполя эти скорости стремятся к скорости света в вакууме и не могут обогнать фронт импульса. Проведенное исследование эволюции электрического поля при импульсном возбуждении диполя представляет интерес в связи с экспериментальными исследованиями аномально малого запаздывания нестационарных полей в запредельных областях волноведущих систем и в ближней зоне антенн.

3. Выполнен качественный анализ тонкого симметричного электрического вибратора конечной длины с применением численного интегрирования уравнений силовых линий. Показано, что обнаруженная еще в работе Г.Герца нетривиальная вихревая структура силовых линий электрического поля диполя имеет место и вблизи вибраторов с длиной плеча менее четверти длины волны. На примерах вибраторов с длинами плеч  $1/3$  и  $7/12$  длины волны найдены силовые линии электрического поля, нули магнитного поля, структура вектора Пойнтинга, изучены условия возникновения и эволюции особых точек полей в зоне индукции. Найдена связь траекторий движения особых точек электрического поля типа центра (седла) и максимумами (нулями) амплитудной диаграммы направленности вибратора.

4. Обобщена предложенная ранее методика формирования областей с минимальными значениями электрического поля системой параллельных диполей путем задания положений нулей электрического поля на случай параллельных вибраторов конечной длины. Выяснено, что вблизи вибраторов с длиной плеча, равной четверти длины волны, в отличие от коротких вибраторов, появляются максимумы амплитуды поля.

**Практическая значимость** диссертационной работы состоит в следующем:

1. Разработанный в диссертации метод качественного исследования электрического поля и вектора Пойнтинга электрического диполя обеспечивает анализ эволюции электромагнитных полей без пропусков структурных перестроек, которые могут быть при расчетах полей с дискретным временным

шагом без предварительного анализа условий бифуркации векторных полей. Это достоинство качественного анализа представляется ценным с учебно-методической и научной точек зрения.

2. Качественный анализ эффекта аномально малого запаздывания экстремумов и нулей поля относительно фронта импульса, возможно, окажется полезным при экспериментальном исследовании процессов распространения нестационарных полей не только в антенной технике, но и в других областях техники, например, в радио и оптических измерениях.

3. Предложенная в диссертации методика расчета области с минимальными значениями (нулями) электрического поля вблизи системы параллельных вибраторов при дальнейшем развитии может найти применение при решении задач электромагнитной совместимости и защиты человека от вредного воздействия полей разнообразных беспроводных устройств, используемых в радиотехнике и быту.

4. Практически полезными являются найденные в главе 3 условия, при которых развитая методика качественного анализа обобщается на случай среды с малыми потерями.

**Достоверность** материалов диссертационной работы подтверждена использованием известных численных методов решения ОДУ и сопоставлением численных результатов с ранее опубликованными работами.

По теме диссертации опубликовано 18 работ, включая 4 статьи в рецензируемых журналах (из них 3 по списку ВАК), результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать в ВУЗах, ведущих подготовку студентов по направлениям «Радиофизика», «Прикладные математика и физика», «Прикладная математика», «Электроника и наноэлектроника», «Конструирование и технология электронных средств» и «Радиотехника»: МГУ им. М.В. Ломоносова, МФТИ (ГУ), МГТУ им. Н.Э. Баумана, МИРЭА, МЭИ, МТУСИ и других, а также в ИРЭ РАН, РТИ РАН, МКБ «Компас», ПАО «Радиофизика» и других организациях РАН и промышленности,

занимающихся исследованиями и разработкой антенных устройств различного назначения.

По диссертации имеются следующие **замечания**:

1. При выполнении качественного анализа поведения силовых линий автор диссертации сосредоточился на традиционном подходе теории устойчивости динамических систем, восходящем к работам А. Пуанкаре. Применение теории особенностей дифференцируемых отображений (теории катастроф), несомненно, украсило бы диссертацию и позволило получить новые качественные результаты. К сожалению, автор ограничился только ссылками на литературы по этому вопросу.
2. В диссертации утверждается (стр. 90), что «эволюция электрического поля для комбинации гауссовых импульсов проявляет те же закономерности, что и для импульса», заданного синусами. Однако сопоставление рисунков в диссертации показывает, что это не так (см. рис. 2.23, зеленая линия с тремя локальными экстремумами в работе не имеет аналогов).
3. В главе 3 качественный анализ полей тонкого вибратора конечной длины проведен при определенных ограничениях: с использованием приближенных распределений тока и заряда на вибраторе, а также компонент полей вблизи вибратора, причем приближение таково, что компонента электрического поля на металле не обращается в нуль (стр. 122). Автор считает, что «учет более строгого представления поля приведет к коррекции результатов вблизи вибратора» (стр. 153). Но не уточняет, что значит «вблизи»?
4. В работе не рассмотрен процесс включения антенны, что представляет несомненный интерес. Вместо этого утверждается, что «в начальный момент времени... ток максимален, заряд равен нулю... силовые линии электрического поля .... носят вихревой характер» (стр. 137). По-видимому, имеется в виду некий уже установившийся режим колебаний.
5. В диссертации имеется ряд более мелких неточностей и погрешностей.

- В отличие от изображения вектора Пойнтинга на изображениях силовых линий электрического и магнитного полей не указаны направления векторов полей.
- В ссылке [100] не указано название магистерской диссертации, на которую ссылается автор.
- На стр. 36 системы дифференциальных уравнений (2.3), (2.5) названы динамическими системами, поскольку в их правые части явно не входит независимая переменная. Здесь допущена неточность. Системы (2.3), (2.5) относятся к более узкому классу *автономных* динамических систем.
- На стр. 46 указано, что выбор знака в (2.36) определяется знаком производной  $f_2$ . Это неточно. Выбор знака определяется знаком отношения  $f_2'(r_k)/f_1(r_k)$ .
- автор оговорился, что густота силовых линий на рисунках, а также длина стрелок для вектора Пойнтинга не отражают величину поля. К сожалению, это затрудняет понимание результатов качественного исследования.

Имеются и другие неточности.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости полученных автором результатов и не влияют на общую **положительную** оценку работы.

На основании изучения диссертационной работы следует сделать вывод, что теоретические положения, выносимые на защиту, научно обоснованы, и их в совокупности можно квалифицировать как научное достижение в теории антенн.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.


Диссертационная работа соответствует требованиям п.9. Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Сороковик Данил Вячеславович, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности 05.12.07 — «Антенны, СВЧ устройства и их технологии».

Доктор физико-математических наук, профессор,  
декан факультета «Информационные системы и компьютерные технологии» АНО  
ВО Российский новый университет

Крюковский А.С.

Подпись А.С. Крюковского удостоверяю



26.11.2015

**Сведения об оппоненте**

ФИО: Крюковский Андрей Сергеевич

Ученая степень: д.ф.-м.н.

Ученое звание: профессор

Должность: декан факультета «Информационные системы и компьютерные  
технологии» АНО ВО «Российский новый университет»

Специальность: 01.04.03. – Радиофизика

Почтовый адрес: ул. Радио, д. 22, г. Москва, 105005,

АНО ВО Российский новый университет (РосНОУ),

факультет «Информационные системы и компьютерные технологии»

Телефон: (903)-245-51-37

Адрес электронной почты: kryukovsky@rambler.ru