



**Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОФИЗИКИ
Уральского отделения
Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)**

Амундсена ул., д.106, г.Екатеринбург, 620016
Тел. (343) 267-87-96 Факс (343) 267-87-94

ОКПО 04839716 ОГРН 1026604936929

ИНН/КПП 6660007557/667101001

12.02. 2026 г. № 16346- 01-11/21

на № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИЭФ УрО РАН,
член-корр. РАН



С.А.Чайковский

« 12 » февраля 2026 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук на диссертацию Лю Шухуа «Пространственно-временные и энергетические характеристики элементарных и сверхширокополосных комбинированных антенн», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.14, Антенны, СВЧ-устройства и их технологии

Актуальность темы диссертационной работы

Мощные источники СШП излучения начали активно исследоваться и развиваться с 90х годов прошлого века. Источниками мощных электромагнитных импульсов в них выступали и выступают СШП антенны и решетки СШП антенн. Данные источники в основном использовались в исследованиях по электромагнитной совместимости. В дальнейшем приоритетными направлениями использования СШП технологий и СШП антенн стали телекоммуникации, радарные технологии и беспроводные коммуникации. Исследование характеристик СШП антенн является актуальной задачей, поскольку позволяет, как улучшать характеристики уже известных антенн, так и создавать новые, для решения новых задач. Выбранная тема исследования также является актуальной с точки зрения получения фундаментальных знаний в области СШП технологий. Также можно отметить, что в настоящее время исследования сверхширокополосных антенн, которые являются предметом представленной диссертации, разработанные специалистами Томского государственного университета и Томского Института Сильноточной Электроники, проводятся и в других

исследовательских группах, в том числе и за рубежом, что также подчеркивает актуальность обсуждаемой темы.

Содержание диссертации

Во введении сформулирована цель диссертационной работы и задачи исследования. Также обоснована актуальность темы исследования, сформулированы защищаемые положения, приведена кратко структура диссертации, ее апробация. Сформулированы научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первом разделе сделан литературный обзор антенн, применяемых для излучения короткоимпульсных сигналов и источников мощных СШП-импульсов. Рассматриваются толстые диполи, ТЕМ антенны и IRA антенны, а также мощные источники СШП излучения использующие данные антенны в качестве излучателей. Показано, что комбинированная антенна Юрия Буянова является наиболее востребованной в настоящее время в мощных источниках СШП излучения. В конце главы на основе проведенного анализа формулируются цели и задачи исследования.

Во втором разделе содержится методический материал. Изложена информация по программным продуктам, которые использовались в численных экспериментах. Приведены краткие характеристики векторных анализаторов цепей и конкретных моделей использовавшихся для исследования характеристик СШП антенн в частотной области. Также приведены краткие характеристики цифровых осциллографов реального времени и конкретных моделей использовавшихся для исследования характеристик СШП антенн во временной области.

В третьем разделе проводится анализ зон излучения СШП излучателей. На основе анализа распределения потоков энергии и временных форм компонентов излученного электромагнитного поля вокруг толстого не симметричного вибратора (монополя) показаны особенности образования ближней и дальней зон излучения в случае гармонического и импульсного возбуждения антенны.

В четвертом разделе исследована возможность настройки верхней граничной полосы согласования комбинированных антенн. Проведено электродинамическое моделирование комбинированной СШП антенны и показана возможность настройки верхней граничной частоты полосы рабочих частот без изменения габаритных размеров антенны. Выполнены практические измерения характеристик комбинированных СШП антенн, которые

подтвердили результаты моделирования. Также представлены примеры применения предложенного механизма настройки согласования мощных комбинированных СШП антенн, использовавшихся в мощных источниках СШП излучения.

В пятом разделе представлена методика нахождения центра излучения комбинированной СШП антенны в режиме импульсного излучения. Здесь также эксперимент с реальными антеннами дополнялся численным экспериментом.

В заключении приведены выводы, в которых содержатся основные результаты и рекомендации диссертационного исследования.

Научная новизна полученных автором результатов, выводов и рекомендаций.

1. Предложен критерий определения дальней зоны излучения СШП антенн, в режиме излучения сверхкоротких электромагнитных импульсов, отличающийся от известного произвольным выбором точки наблюдения, расположенной на расстоянии много больше длины волны.
2. Предложен метод настройки комбинированной СШП антенны, обеспечивающий как расширение, так и сужение ее полосы согласования.
3. Предложена методика определения положения центров электрической и магнитных компонент излучения комбинированных СШП антенн при возбуждении их биполярными импульсами напряжения наносекундной длительности.

Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов

Результаты, полученные в ходе подготовки диссертационной работы ориентированы на решение как фундаментальных, так и прикладных задач и обладают практической значимостью. К значимым результатам можно отнести следующие:

1. Разработанный критерий определения дальней зоны излучения СШП антенн позволяет определять границу зоны в численных экспериментах для произвольной формы возбуждающего антенну импульса.
2. Разработан настроечный элемент, позволяющий регулировать полосу согласования комбинированной СШП антенны без изменения ее габаритов.
3. Разработанный настроечный элемент позволяет оперативно адаптировать антенну для использования в различных источниках СШП излучения с различными формами импульсов напряжения на выходе возбуждающего антенну генератора, что позволяет

использовать антенну в различных источниках мощного СШП излучения, не меняя конструкцию антенны в целом.

4. Важно подчеркнуть, что разработанная методика нахождения центра излучения комбинированной антенны позволяет упростить использование ее в качестве облучателя в зеркальной антенне, а также увеличить точность измерения ширины диаграммы направленности антенны.

5. Практическая значимость результатов работы подтверждается тем, что разработанный критерий определения дальней зоны СШП антенны в режиме излучения импульсов наносекундной длительности внедрен в вычислительные исследования ближнего поля Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова Российской академии наук (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН). Это подтверждается актом об использовании результатов диссертационной работы.

Достоверность и обоснованность результатов, научных положений, выводов и рекомендаций сформулированных в диссертации

Выполненные в рамках диссертационной работы исследования включают численное электродинамическое моделирование, выполненное для комбинированных СШП антенн и получение экспериментальных результатов на опытных образцах таких антенн. Полученные данные хорошо сопоставимы друг с другом и обладают воспроизводимостью. Результаты, полученные в работе, согласуются с результатами, опубликованными по данной тематике другими группами исследователей.

Представлен обоснованный грамотный выбор метрологического оборудования исключающее искажение формы исследуемых импульсов и выходных параметров. Можно отметить, что в экспериментальных исследованиях применялось широкополосное контрольно-измерительное оборудование ведущих производителей, такое как векторный анализатор цепей Agilent PNA N5227A и цифровой осциллограф реального времени LeCroy Wave Master 830Zi-A.

В диссертации Лю Шухуа для электродинамического моделирования широко используются различные профессиональные специализированные программные продукты, платформы, причем, продемонстрировано глубокое понимание, как самих математических моделей таких платформ, так и их достоинств и ограничений.

Достоверность результатов не вызывает сомнений.

Апробация результатов работы и публикации

Диссертационная работа Лю Шухуа прошла достаточную апробацию. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 13 работах, из которых: 3 – статьи в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК, 4 – публикации в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК по смежной специальности, 5 – в сборниках всероссийских и международных конференций.

Оценка новизны и научной ценности результатов исследований

Анализ материалов, изложенных в диссертации Лю Шухуа, показал, что во всех положениях, вынесенных автором на защиту, присутствует научная новизна.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты и выводы диссертации Лю Шухуа могут быть использованы при разработке мощных СШП радиоизлучающих систем в таких организациях, как ИЭФ УрО, ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, в отраслях связанных с разработкой радиоэлектронного оборудования, например, для разработчика и производителя телекоммуникационного оборудования и радаров «НПФ «Микран».

Замечания по работе

В ходе обсуждения работы выявлены следующие недостатки:

Общее замечание по оформлению: рукопись содержит небольшое количество опечаток, есть также определенные стилистические замечания, с которыми диссертант ознакомлен.

В самом начале диссертации необходимо привести критерии сверхширокополосности импульсов и четко сформулировать важность центров излучения электрической и магнитной компонентов, а также понятий ближней и дальней зоны, которые все же приведены, но либо не явно или в глубоко в теле текста. Для широкого круга исследователей также целесообразно было бы пояснить специфические термины, например, такие как: полоса 20:1, эффективный потенциал и так далее.

Не всегда обосновывается выбор различных используемых кодов при моделировании при решении, на первый взгляд, равнозначных задач.

Основные замечания.

1. Разработанный настроечный элемент, который позволяет согласовывать антенну с импульсами питания различной формы в широком частотном диапазоне, было бы

более логично представлять и формулировать как волноводный элемент, очевидно, в качестве шлейфа, который может быть представлен в виде LC каскада в модели антенны.

2. Чем обусловлен выбор биполярного импульса напряжения для возбуждения комбинированной СШП антенны.

3. Даже для низковольтных биполярных импульсов в проведенных исследованиях (рис. 5.4) характерна не симметрия по амплитуде и длительности для отрицательной и положительной полуволн напряжения. Это еще более заметно для высоковольтного импульса напряжения (рис. 4.20). Было бы полезно дополнить, применялась ли в работе адаптация антенны под реальный возбуждающий импульс и к чему приводит такое возбуждение в отличие от стандартного в численном эксперименте – производной от гауссова импульса (биполярный импульс).

4. Уменьшение верхней граничной полосы частот антенны может понадобиться для уменьшения влияния на радиооборудование работающее в этом диапазоне. Так же желательно уточнить необходимость увеличения верхней граничной полосы частот. Кроме того учитывая, что на высоких частотах работает в основном ТЕМ рупор, то желательно было бы уточнить, в чем причина рассогласования комбинированной антенны на высоких частотах.

5. В работе показано существование двух центров излучения комбинированной СШП антенны при возбуждении биполярными импульсами напряжения для Е- и Н-плоскостей диаграммы направленности. Автору следовало бы сформулировать рекомендации к конструкции комбинированных СШП антенн направленные на уменьшение расстояния между этими центрами излучения.

6. В тексте, где приводятся параметры осциллографов, желательно было уточнить или подчеркнуть, что полоса регистрации превышает и не ограничивает полосу частот исследуемых импульсов.

7. Кроме того, в тексте диссертации, в части, где сравниваются экспериментальные результаты с результатами моделирования, необходимо было бы привести частотные параметры приемной антенны.

Указанные замечания не снижают общую позитивную оценку выполненного исследования, значимость и достоинства работы.

Заключение

Следует отметить, что приведенные замечания не снижают общей положительной оценки диссертационной работы, а затронутая в ней тема имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Диссертация выполнена на актуальную тему, является завершенной,

и содержит решения научных и технических задач, связанных с СШП антеннами в общем и с мощными СШП антеннами в частности, что имеющей важное значение для развития прикладных направлений, таких как воздействие электромагнитных импульсов на различные объекты и среды.

Содержание диссертации соответствует научной специальности 2.2.14. Антенны, СВЧ-устройства и их технологии. Работа отвечает критериям для кандидатской диссертации пунктов 9-14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационная работа и отзыв на неё обсуждены на расширенном заседании лаборатории электронных ускорителей Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН) (протокол заседания № 1 от 11 февраля 2026 года).

Отзыв составил:

с.н.с. ИЭФ УрО РАН,

К.Т.Н.,

М.Р. Ульмаскулов

Адрес электронной почты: marat@iep.uran.ru

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук (ИЭФ УрО РАН).

Адрес организации: 620016, Российская Федерация, г. Екатеринбург,

ул. Амундсена, д.106.

Телефон: +7(343)267-87-96

Адрес электронной почты: admin@iep.uran.ru

Веб-сайт: <https://www.iep.uran.ru>

Подпись Ульмаскулов М.Р. заверяю

Ученый секретарь
к.ф.-м.н.

Е.Е. Кокорина Е.Е. Кокорина

