

ДИФРАКЦИОННЫЕ КВЧ УСТРОЙСТВА НА ОТКРЫТЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДАХ И ИХ СИСТЕМАХ: ФИЗИКА ЯВЛЕНИЙ В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ И НЕКОТОРЫЕ АКТУАЛЬНЫЕ ПРИМЕНЕНИЯ

*Взятышев В.Ф.**, *Смольский С.М.**, *Орехов Ю.И.***, *Пермяков В.А.**, *Владимиров С.В.**

* ИРЭ МЭИ, Москва - 11250, Красноказарменная, 14; e-mail: vitaidea@yandex.ru

** НИИИС, Н. Новгород – 603137, Тропинина, 47; e-mail: Orekhov@niis.nnov.ru

Аннотация. Описывается постановка междисциплинарной проектно-исследовательской задачи и соответствующей сетевой дискуссии по комплексной проблеме «Дифракционные устройства и системы» (ДУС), поддержанной грантом РФФИ (№ 08-08-00992-а). Вот основные группы входящих в нее частных и дисциплинарных задач:

1) Формирование дифракционного подхода к физическому анализу КВЧ устройств и волновых подсистем, решающих в ближней зоне актуальные задачи: измерения материалов; физической и технической диагностики; радиолокации и связи, наведения и другие.

2) Комплексный анализ особенностей полей, «работающих» в ДУС (далее называемых волновыми образованиями - ВО). Выявления отличий ВО от волн в дальней зоне, таких, в частности, как зависимость скорости движения от координат и времени; криволинейность траекторий движения; наличие продольных составляющих; динамика изменения структуры ВО в процессе их движения.

3) Изучение механизмов преобразования ВО при их взаимодействии с препятствиями и/или объектами, поиск методов и средств для извлечения и переноса обликотворной информации об объектах диагностики и/или измерений.

1. Ключевые слова, научный задел и состояние проблемы. Основные понятия проблемы: волновые процессы в ДУС, физические принципы действия ДУС, варианты структур и обликотворения, особенности методов их проектирования; зондирующие ВО (ЗВО); волновые процессы, порождающие информационные ВО (ИВО) при взаимодействии ЗВО с радиолоцируемыми и/или диагностируемыми объектами; пространственные характеристики ЗВО и ИВО, методы их формирования и приема; ДУС диагностики быстропотекающих процессов.

Научный задел и происхождение проблемы. Исследования по СВЧ и КВЧ устройствам на открытых диэлектрических волноводах (ДВ) в ИРЭ МЭИ начались в конце 1950-х годов по инициативе акад. В.А. Котельникова - с применения ДВ в режиме малых задержек, позволяющем на порядки уменьшить затухание. Затем круг интересов расширился – от физико-технической теории ДВ [1] до открытия новых явлений [2].

В 1979-86 гг. сообщество 38 вузовских лабораторий СССР создали научное и проектное обеспечение для диэлектрических функциональных узлов, резонаторов и интегральных схем широкого применения. На этой основе в ряде промышленных предприятий разработан широкий спектр КВЧ устройств и систем. Часть этих разработок описана в [3].

Первые приложения теории и техники ДВ - СВЧ и КВЧ измерительные задачи. А с 80-х годов такие устройства применяются в задачах ближней радиолокации для диагностики бортовой плазмы и диагностики (включая многоканальную) быстропотекающих газодинамических процессов. Обобщение этих работ по состоянию на начало 2007 года дано в [3]. В последние 2-3 года ([4,5] и др.) установлены ограничения, вызванные дифракционными процессами.

2. Постановка задачи Проекта. Задача проекта ДУС ставится в соответствии с постнеклассической научной парадигмой, когда в начале - предопределяется, какие задачи смогут решать устройства, созданные в ходе проектной части работы, а затем определяется массив знаний, которые предполагается получить в ходе исследовательской части.

Главные цели Проекта: исследование фундаментальных основ формирования, движения, распознавания и обработки дифракционных волновых образований (ВО) как обобщенного класса электромагнитных волн; изучение отличия их свойств от свойств плоских волн; формирование способов организации и анализа дифракционного взаимодействия ВО с объектами; поиск и исследование методов обработки переносимых ВО сигналов - извлечения и распознавания полезной информации.

Императив постановки проекта определяется следующей цепочкой взаимосвязанных закономерностей.

1) Системы и устройства для целей локации и диагностики, измерения положения, скоростей и параметров объектов - традиционно работают по следующему принципу:

- излучение антенной радиоволны –
- рассеяние (или отражение) волны на объекте –
- прием рассеянной волны и обработка переносимого ей сигнала в предположении, что волновые процессы имеют известную структуру и свойства.

2) По мере приближения радиосистемы к объекту этот принцип не дает адекватной модели процессов, поскольку волновое поле антенны не успевает сформироваться в виде плоской волны; а сложное дифракционное поле, отраженное от объекта, также не успевает преобразоваться в плоскую волну.

3) В результате ВО между системой и объектом отличаются от плоских волн, а их локальные скорости отличаются от скорости света.

4) Такая ситуация, характерная для так называемых ближних систем, требует нового подхода к построению теории и методов их проектирования. Назовем описанную ситуацию **дифракционным взаимодействием** радиосистемы и объекта.

Задача проекта - разобраться в описанных волновых явлениях и научиться проектировать системы и составляющие их устройства, способные эффективно работать в условиях дифракционного (а не просто волнового) взаимодействия.

Основные усилия авторского коллектива на первом этапе работы были ориентированы на ДУС класса диэлектрических устройств. В частности, устройств, построенных на базе многосвязных диэлектрических волноводов (МСДВ). Обобщение этих работ по состоянию на апрель 2009 года дано в [7].

3. Ожидаемые результаты. Будут исследованы основы функционирования и созданы принципы построения ДУС.

Объекты и предметы исследования:

- физические принципы действия ДУС;
- формирование, прием и обработка ВО;
- дифракционные явления при взаимодействии ЗВО с объектами;
- способы переноса ИВО информации об объекте и извлечения ее;
- основы проектирования ДУС для наведения и для повышения точности дифракционных радиоволновых измерений.

Предполагаемые итоговые результаты:

- новые научные знания в области дифракционных волновых процессов в ДУ и в волновых подсистемах, влияющих на функционирование и точность работы систем ближнего действия (включая радиолокационные);
- новые физические принципы построения и новые облики ДУС, в частности, для диагностики быстропотекающих газодинамических процессов и для высокоточных дифракционных радиоволновых измерений;
- социальные технологии коллективной деятельности, включающие итеративные циклы «Исследования – Эксперимент - Проектирование – Испытание».

4. Класс явлений и волновых процессов электродинамической дифракции (ЭДД). Под ЭДД в широком смысле слова в настоящем докладе и в Проекте ДУС понимается класс **волновых процессов**, происходящих при взаимодействии электромагнитного поля и вещества при определенных условиях.

Именно полный **набор условий** отличает междисциплинарное понятие о дифракционных процессах от других процессов в следующих классах научных дисциплин:

- в теории и технике линий передачи (включая открытые),
- в теории и технике волноводных и резонаторных устройств (также включая открытые),
- а также в физической теории радиоволновой диагностики и радиоволновых измерений.

В докладе будет показано, что ЭДД в указанном смысле имеет место **тогда и только тогда**, когда выполняются **три условия**:

- 1) **динамичность** электромагнитного поля (ЭМП), участвующего в явлениях и процессах дифракции;
- 2) **неоднородность** электродинамической среды, описывающей свойства вещества и моделирующей элементы конструкции ДУ;
- 3) **нерегулярность** электродинамической задачи, возникающей при описании явлений и процессов в ДУ и ДС.

4.1. Условие динамичности процесса. Электромагнитное поле (ЭМП) в дифракционных задачах непременно является «**движущимся**», то есть «волной» по самому общему определению. Это движение характеризуется определенными **обликовыми пространственными признаками** (ПП), перемещающимися с течением времени в пространстве. Примеры ПП: фазовый фронт гармонически изменяющегося поля; фронты произвольно меняющегося поля.

Для количественного описания ПП обычно вводится система **параметров**. Параметры могут быть глобальными и локальными. **Глобальные** параметры применимы ко всему процессу в целом. Примеры – частота ЭМП при гармоническом законе его изменения, скорость распространения в частном случае ЭМП в виде плоской волны. **Локальные параметры** зависят от точки наблюдения. Пример – фазовая скорость ВО общего вида.

Движущиеся поля, как упоминалось, принято называть **волнами**. Но в классических задачах дифракции часто имеют в виду только такие модели волн (назовем их **каноническими**), которые обладают определенным и не изменяющимся в процессе движения комплексом свойств. Типичный пример – **однородная плоская волна**. Форма ее фазового фронта, структура поля, скорости распространения и другие пространственные признаки и/или параметры не зависят не только от времени и фазы движения, но и от **поперечных к направлению движения координат**.

Движущиеся поля общего вида, не удовлетворяющие этому условию, в частности, представляющие собой сумму нескольких канонических волн, назовем **волновыми образованиями** (ВО). Это понятие играет ключевую роль в Проекте ДУС. Его введение вызвано необходимостью отличить движущиеся поля общего вида от «канонических» волн.

Таким образом, активно **действующим** фактором, первопричиной, можно даже (с оговоркой) сказать, – **субъектом** электродинамической дифракции (ЭДД) являются электромагнитные волны (ЭМВ) и электромагнитные волновые образования (ЭВО).

4.2. Условие неоднородности среды. Это условие формулируется следующим образом: дифракционные явления возникают тогда и только тогда, когда среда (вещество и/или материал веществ, из которых выполнены участвующие в процессе тела), является **неоднородной**, то есть параметры среды (ϵ , μ , σ) **зависят от координат**.

Неоднородность может быть непрерывной (плавной), а может быть разрывной (кусочно-однородной). В последнем случае области с иными параметрами часто называют **телами** (диэлектрическими, магнитоэлектрическими или проводящими). Названные тела, или элементы волновых устройств (а также и области плавной неоднородности), выполняют в задачах дифракции одну из двух ролей (или обе одновременно):

- 1) **Функции линий передачи** (см., например, [1]) и/или их отрезков, передающих ЭМВ и выполняющих другие функции. Примеры: металлические плоскости или трубы, работающие как полые металлические волноводы; диэлектрические стержни или пластины, работающие как диэлектрические волноводы (ДВ).
- 2) Названные тела или элементы являются **объектами**, на которых происходит дифракция волны (направляемой или не направляемой) или волнового образования, состоящего, в частности, из совокупности волн.

4.3. Условие нерегулярности задачи. **Нерегулярность** (в дифракционной задаче) – это изменение свойств среды в направлении движения падающей (первичной) волны, которая подвергается дифракции. Условие **нерегулярности задачи** является уточнением и развитием условия **неоднородности**.

Добавление условия нерегулярности (правильнее называть его именно **условием задачи**, поскольку оно формулируется **при постановке** дифракционной задачи) делает условие неоднородности (среды) **достаточным** условием возникновения ЭДД. Именно тела (или их части), обладающие нерегулярными в описанном смысле свойствами, являются объектом (можно сказать еще – **вещественным** объектом) ЭДД.

Заметим, что обычно понятия регулярности/нерегулярности выделяются из более общего класса понятий однородности/неоднородности, главным образом, в физической теории линий передачи, где **продольная координата** по характеру влияния на происходящие процессы кардинально отличается от поперечных координат (например, в [1]).

5. Основные области приложения результатов Проекта. Радиофизические и технические результаты проекта могут найти самые разнообразные применения [3-6]. Но главным образом Проект сегодня ориентирован на три области приложения:

- создание дифракционных устройств диагностики быстропротекающих процессов (существующие устройства и их принципы описаны в [см. литературу в [3-6]]); в частности, при исследовании газодинамики взрывных процессов;
- создание дифракционных устройств и систем для широкого класса ближних задач измерения положений и/или скоростей объектов: от автоматизированного оборудования и робототехнических систем до систем высокоточного оружия;
- повышение точности дифракционных радиоволновых измерений.

6. Некоторые результаты проекта. В докладе будут более подробно описаны конкретные результаты, полученные в классе дифракционных устройств и систем, построенных на базе многосвязных диэлектрических волноводов (МСДВ). Часть этих результатов приведена в [7].

Будет показано также, что использование дифракционных устройств и систем позволяет отойти от стандартного перенесения информации только в амплитуду и фазу волнового образования (ВО) и, соответственно, в амплитуду и фазу сигнала в элементах системы. При более полном (дифракционном, как описано выше) рассмотрении возникают возможности использования других механизмов модуляции и демодуляции (кодирования и декодирования, шифрования и дешифрования), позволяющих в совокупности со стандартными методами существенно поднять надежность и целостность коммуникаций.

В докладе обсуждаются (как первый этап) такие возможности и сулящие интерес перспективы и намечаются особенности структурных схем устройств, позволяющих улучшить как качество связи, так и функционирование радиолокационных и диагностических систем. Одним из таких структурных подходов является применение многоканальных систем, позволяющих выделять информацию об облике ВО и учесть влияние этого облика при формировании алгоритма обработки сигнала (сигналов).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Взятыйшев В.Ф.** Диэлектрические волноводы / – М.: Сов. радио, 1970. – 212 С.
2. **Взятыйшев В.Ф., Мирвицкий Д.И., Евтихийев Н.Н и др.** Явление направленного разветвления электромагнитной энергии в линиях с замедленными волнами. Диплом № 79 на открытие, 1970, с приоритетом 1958.
3. **Орехов Ю.И.** Открытые волноводные и резонансные КВЧ устройства бесконтактной диагностики быстропротекающих процессов в многокомпонентных средах // М.: МЭИ, Автореф. дисс. д-ра т. н., 2007, 40 С.
4. **Взятыйшев В.Ф., Смольский С.М., Орехов Ю.И., Клячин С.А., Николаенко Д.В.** Дифракционные СВЧ и КВЧ радиотехнические устройства и системы: физика взаимодействия и принципы действия // Труды международной конференции «Крымико-2008». Севастополь, сентябрь 2008, т.2, стр. 771-775.
5. **Взятыйшев В.Ф., Смольский С.М., Орехов Ю.И.** Дифракционные явления и волновые образования: физика процессов и взаимодействий в ближней зоне и принципы действия устройств и систем // «Известия ВУЗов, Физика», 2008, № 9/2, с. 128-133.

6. Синтез многоканальных зондирующих устройств, оптимизация зондирующих волновых образований и методика их измерений / Отчет по НИР №2079080, –М.: МЭИ, ИРЭ, кафедра ОРТ, рук. **Взятых В.Ф.**; исполн.: **Владимиров С.В., Николаенко Д.В.** [и др.]; 2008, том 1 - 75 С., том 2 - 105 С. *Продолжение*: Исследование и разработка зондирующих устройств и волноводно-пучковых преобразователей на диэлектрических волноводах / Отчет по НИР №2025090/34-1286, 2009, том 1 - 99 С.

7. **Владимиров С. В.** Диэлектрические волноводно-пучковые преобразователи на многосвязных волноводах: явления и принципы построения / Автор. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук // - М.: МЭИ, 2009, - 20 С.