

ПЛАНАРНЫЕ ПУЧКОВЫЕ ИЗЛУЧАТЕЛИ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Е. Ю. Гайнулина

ФГУП «ФНПЦ НИИИС им. Ю. Е. Седатова»

Введение

Микроволновая радиоинтерферометрия (РИ) как метод диагностики параметров движения ударно-волновых и детонационных процессов активно развивается в последние годы. В настоящее время в НИИИС, совместно с РФЯЦ-ВНИИЭФ, проводится цикл ОКР по РИ мм диапазона.

Разработанный одноканальный радиоинтерферометр [1] обеспечивает точностные характеристики на порядок лучше, чем у известных аналогов, и уже широко используется в газодинамических исследованиях РФЯЦ, получены новые физические результаты, необходимые для обработки изделий [2].

В ходе проведенных работ обоснована возможность создания следующего поколения РИ – многоканальных РИ, с помощью которых может быть решена *актуальная* задача определения формы исследуемых фронтов ударных и детонационных волн и динамики их изменений.

При рассмотрении системы МРИ, состоящей из трех подсистем – аппаратная приемопередающая подсистема (ППП), система обработки (аппаратная часть и программное обеспечение) и волновая подсистема, последней придается особое значение. От ее построения зависит и схемное решение ППП, и подсистема обработки, и, в конечном счете, точностные характеристики измерений.

Создание пространственно локализованных частично перекрывающихся зондирующих излучений с амплитудно-фазовыми распределениями, характерными для волновых пучков гауссова типа, является принципиальным условием реализации МРИ [3]. Поэтому, наряду с разработкой многоканальной приемопередающей подсистемы МРИ, разрабатываются облучатели, формирующие гауссовы волновые пучки с требуемыми для газодинамических исследований свойствами (ширина пучка, сходимосť/расходимосť пучка), так называемые волноводно-пучковые преобразователи (ВПП), относящиеся к новому классу дифракционных устройств.

Типовые поперечные размеры и протяженности области развития газодинамических процессов обуславливают дифракционный характер зондирующих волновых полей, формируемых в условиях ближней и промежуточной зон, где имеет место дифракция Френеля, условием которой является соотношение

$$z\lambda \sim \pi d^2, \quad (1)$$

где z – расстояние до исследуемого объекта, d – поперечный размер излучателя или объекта, λ – длина волны.

Эту особенность необходимо учитывать при разработке ВПП.

В силу открытого характера диэлектрических структур, при решении дифракционных задач возбуждения многомодового режима в плавно нерегулярной волноводной структуре ВПП и излучения с резкой нерегулярности (апертуры) ВПП необходимо построение полной системы волн дискретного и непрерывного спектра.

Строгое решение указанных задач чрезвычайно затруднено, поэтому представленные в данной работе авторские результаты аналитического и численного решений указанных задач предложенными приближенными методами, в сочетании с экспериментальными методами и компьютерным моделированием позволили выработать проектные решения по созданию нового класса дифракционных устройств – ВПП на нерегулярных диэлектрических структурах для волновой подсистемы МРИ.

Постановка задачи исследования и проектирования волноводно-пучковых преобразователей. Предварительные результаты

Целесообразность и перспективность рассмотрения ВПП на диэлектрических структурах была обоснована в рамках ОКР в 2009–2010 годах.

ДВ отлично зарекомендовали себя в качестве протяженных зондирующих устройств (ЗУ) для связи приемопередатчика радиоинтерферометра (РИ) с объектом диагностики.

Для полноты изложения отметим основные результаты по исследованию ВПП, полученные в 2009–2010 годах.

Установлено, что АФР собственных волн ДВ близки к АФР гауссовых волновых пучков. Это ключевое свойство гауссовых волновых пучков и собственных волн ДВ позволило сделать заключение о перспективности диэлектрических волноводных структур для создания волноводно-пучковых преобразователей, обеспечивающих необходимый пучковый характер зондирующего излучения в мм диапазоне.

Отмеченные выше особенности создания ВПП (необходимость учета открытого характера ДВ, дифракционный характер процессов) потребовали разработки и применения экспериментального и приближенных (теоретических) методов расчета, компьютерного моделирования по программе CST MW Studio.

В связи с этим, разработан автоматизированный комплекс для измерений амплитудно-фазовых распределений (АФР) диэлектрических излучателей (ВПП) в ближней зоне [A1, A10]¹.

В сочетании эксперимента, компьютерного моделирования и приближенных расчетов изучены АФР торца прямоугольного и круглого ДВ. Показано, что ВПП в виде торца среднелегкого одноволнового регулярного ДВ формирует излучение в виде сильно расходящегося пучка (пучковые свойства излучения сохраняются на расстояниях не более 2–3λ от торца ДВ) [A2–A4].

Потенциально большими возможностями управления АФР излучения торца ДВ обладает ДВ при возбуждении в нем нескольких мод. Поставлена задача исследования возможности создания ВПП на базе многомодовой планарной диэлектрической структуры. Показано [A5], что для реализации многомодового режима ДВ должен иметь плавно-нерегулярный участок, в котором за счет межмодового взаимодействия на этом участке высших типов волн с основной волной возможна реализация требуемого соотношения мод на апертуре.

Проведенный в 2009–2010 годах цикл исследований вариантов одноволновых и многоволновых ВПП позволил создать макеты планарного ВПП, подтвердить их работоспособность в газодинамических опытах РFYЦ-ВНИИЭФ и, вместе с тем, сформулировать задачи разработки ВПП на 2010–2011 годы для обеспечения завершенности разработки планарного ВПП:

1. Аналитическое и численное решение задачи о многомодовых полях и дисперсионных характеристиках собственных волн в плавно-нерегулярном ДВ прямоугольного сечения в зависимости от формата сечения.

Это позволит, во-первых, определить формат нерегулярного участка ВПП и, во-вторых, знать зависимости замедлений возбуждаемых мод от формата сечения.

Кроме того, описание полей мод ДВ позволяет определять размеры апертуры ВПП с любым требуемым набором мод ДВ и их соотношений для синтеза гауссова пучка.

2. Аналитическое и численное решение задачи о синтезе необходимого спектра гауссовых пучков излучения и оптимизации состава мод на апертуре ВПП по разложению поля излучения заданных полей (заданных токов) на апертуре ВПП по базису пучков Гаусса – Эрмита.

Решение этой задачи позволяет оптимизировать модовый состав волн на апертуре ВПП.

3. Выработка проектных требований и экспериментальная проверка разработанных макетов ВПП.

Ниже приведены результаты аналитического и численного решения указанных задач [A13], что позволило корректно описать физические процессы в ВПП и выработать проектные решения для разработки ВПП, формирующих требуемые гауссовы пучки (ширина, сходимость/расходимость) для диагностики различных газодинамических процессов.

Реализация многомодового режима в плавно-нерегулярной планарной диэлектрической структуре преобразователя

В качестве базового объекта исследования выбран одномерно широкий ДВ прямоугольного сечения (ОШДВ), один из поперечных размеров которого составляет несколько длин волн, а другой выбран так, чтобы обеспечить одномодовый режим соответствующего планарного ДВ (ПлДВ) (рис. 1).

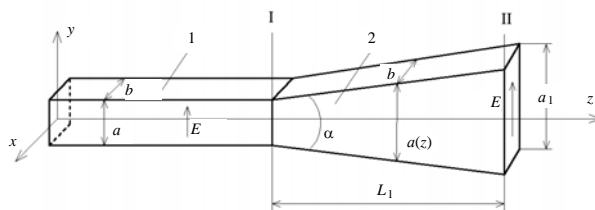


Рис. 1. Волноводно-пучковый преобразователь на ОШДВ

ВПП состоит из отрезка регулярного одномодового ДВ прямоугольного сечения, плавно переходящего в нерегулярный ОШДВ (I–II), обеспечивающий формирование набора собственных волн на апертуре преобразователя, для получения АФР, близкого к АФР требуемого гауссова волнового пучка в свободном пространстве [A5].

Минимизация излучения с резких нерегулярностей ВПП (сечение I на рис. 1) проведена компьютерным моделированием и подтверждена экспериментально [A6]. Определена первая проектная рекомендация планарных ВПП – угол α при вершине планарного клина не должен превышать 10° .

Для выбора параметров нерегулярного участка ВПП, возбуждающего требуемый набор мод, необходимо, в первую очередь, знание замедления собственных волн ОШДВ от переменного формата ДВ $\Phi = a(z)/b$. Кроме того, для синтеза волнового пучка в свободном пространстве необходимо описание полей в такой структуре.

На основе теории нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами и методом поперечных сечений, развитых Каценеленбаумом Б. З. и Шевченко В. В. [4, 5], за основу взят приближенный ме-

¹[A...] – обозначение авторских работ в Перечне авторских публикаций.

год, основанный на представлении поля по функциям сечения, удобный для инженерных расчетов.

Для регулярного ДВ прямоугольного сечения хорошо развиты строгие методы решения, в частности, метод частичных областей [6], однако, для ОШДВ целесообразно определять поля и дисперсионные характеристики собственных волн ПДВ приближенными методами, основанными на близости характеристик волн ОШДВ и плоского ДВ.

Предложен приближенный метод парциальных волн, основанный на представлении поля в ОШДВ как суммы волн плоского ДВ (ПлДВ), которые распространяются под углом к продольной оси, отражаясь от боковых поверхностей ОШДВ.

Если анализировать такую модель, можно показать, что в волнах ОШДВ появляется продольная составляющая электрического поля E_z , характерная для ДВ ограниченного поперечного сечения. Поэтому решение волновых уравнений для парциальных волн (волн плоского ДВ), с учетом граничных условий, дает корректное описание волн в ДВ прямоугольного сечения. Подробное решение волноводных уравнений представлено в работе [A13].

Получены характеристические уравнения и аналитические выражения полей в ОШДВ.

Проведено численное решение характеристических уравнений в пакете Mathcad, получены значения полей мод нерегулярного ДВ и их дисперсионные зависимости от формата сечения.

На рис. 2 приведена зависимость числа N возбуждаемых мод в зависимости от приведенной ширины сечения a/λ клина. В силу постоянства толщины b клина (рис. 1), эта зависимость фактически от формата сечения клина $\Phi = a/b$.

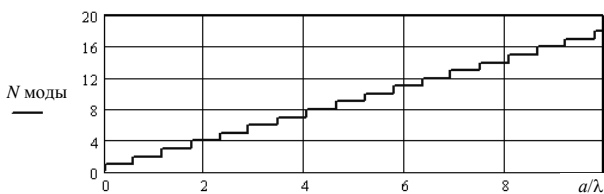


Рис. 2. Зависимость числа мод от ширины волновода

Из рис. 2 следует, что многомодовый режим ($HE_{00} + HE_{02}$) потенциально может быть реализован только при значениях $a/\lambda > 1,1$ ($\Phi = 3,4$). Это определяет второе проектное требование – сечение апертуры ВПП должно быть больше критического значения для волны HE_{02} .

На рис. 3 для примера приведены вычисленные значения распределения электрического поля E_y по ширине волновода для волн HE_{00} (а) и HE_{02} (б) для сечения $a/\lambda = 6$ ($\Phi = 18,8$). Аналогичные зависимости можно построить для любого сечения нерегулярного участка ВПП.

На рис. 4 приведены вычисленные замедления U первых четырех волн нерегулярного участка ВПП, в зависимости от ширины сечения a/λ , необходимые для дальнейшего анализа.

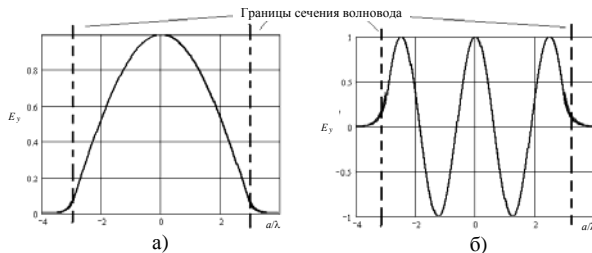


Рис. 3. Распределение электрического поля волн HE_{00} (а) и HE_{02} (б) по сечению нерегулярного волновода

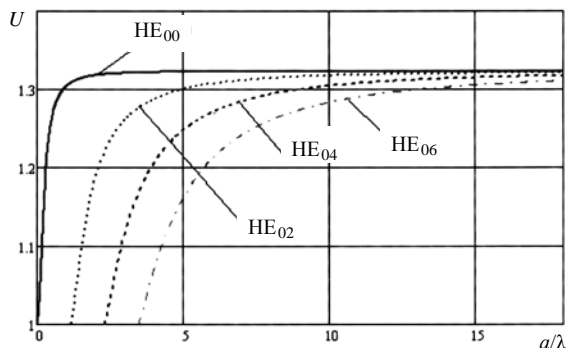


Рис. 4. Замедления первых четырех волн нерегулярного участка ВПП

Таким образом, полученное аналитическое и численное решение для волн в одномерно широком ДВ, которое, в соответствии с методом поперечных сечений, можно рассматривать как описание волн в плавно-нерегулярном ДВ [4], позволяет проводить расчеты волновых преобразований в планарном ВПП и синтезировать волновые пучки на его апертуре.

В работах [A6–A8, A11] приведено развитое описание физических процессов в планарных многомодовых ВПП. Показано, что при возбуждении нерегулярного участка ВПП основной волной ДВ – HE_{00} ², в результате ее дифракции на нерегулярном участке в сечениях, превышающих критические, могут возбуждаться четные высшие типы волн HE_{0n} (где $n = 2, 4, 6, \dots$). По мере распространения, в результате их интерференции с основной волной HE_{00} поле на определенной длине нерегулярного участка является суперпозицией ряда волн. Описание этих процессов дает теория связанных волн [8], трактующая преобразования волн через коэффициенты связи S_{0n}

$$\sum E = E_{HE_{00}} + S_{02}E_{HE_{02}} + S_{04}E_{HE_{04}} + \dots \quad (1)$$

²В ОШДВ приняты обозначение основной волны HE_{00} , которая эквивалентна волне HE_{11} прямоугольного ДВ [7].

Из теории нерегулярных волноводов [4] следует, что при плавных нерегулярностях имеет место слабая связь, при которой возбуждается в основном первый высший тип волны (S_{02}), коэффициенты связи других типов (S_{04}, S_{06}) существенно меньше S_{02} и ими можно пренебречь.

Таким образом, при разработке ВПП необходимо рассматривать только два типа волн HE_{00} и HE_{02} .

В работе [4] получено аналитическое выражение для коэффициента связи волн S_{jm} волн в плавно-нерегулярном волноводе

$$S_{jm} = \frac{1}{2k(h_j - h_m)} \int (E_x^j H_y^m - E_y^j H_x^m - E_x^m H_y^j - E_y^m H_x^j) ds. \quad (2)$$

Пользуясь полученными аналитическими выражениями полей в ОШДВ [A11] для формата сечения $\Phi = 13$, для которого разность замедлений волн HE_{00} и HE_{02} достаточно мала, проведена численная оценка³ коэффициента связи S_{02} этих волн ($S_{02} = 0,125$).

С другой стороны, из теории связанных волн [8] следует, что эффективное возбуждение высших типов волн возможно только при форматах сечения, при которых разность замедлений волн HE_{00} и HE_{02} не превышает 30 %.

Отсюда можно уточнить проектную рекомендацию (см. рис. 5) – формат сечения ВПП на апертуре должен выбираться в диапазоне $5-10 a/\lambda$ ($\Phi = 13-30$).

Синтез пучков излучения и оптимизация многомодового поля на апертуре преобразователя

Задача оптимизации многомодового поля волн на апертуре планарного ВПП при синтезе необходимых гауссовых пучков излучения решалась следующим образом.

В условиях дифракции Френеля, характерной для диагностики газодинамических процессов, для описания пучкового излучения, синтезируемого полями на торце (апертуре) ВПП, возможно их представление в базисе полной ортогональной системы функций – пучков Гаусса – Эрмита (ПГЭ). При решении задачи дифракции на торце ДВ поля ДВ можно заменить эквивалентными поверхностными токами с последующим решением параболического уравнения для поля излучения в виде ряда ПГЭ. Получено аналитическое решение и с использованием пакета программ CST MW Studio получены численные результаты оптимизации модового состава волн ВПП в за-

висимости от требуемого спектра ПГЭ, проведено сравнение с экспериментом [A9].

На рис. 5 представлен результат расчета дифракции токов торца планарного широкого ДВ – ВПП-клин, в котором существует только мода HE_{00} на расстоянии 50λ от апертуры [A9].

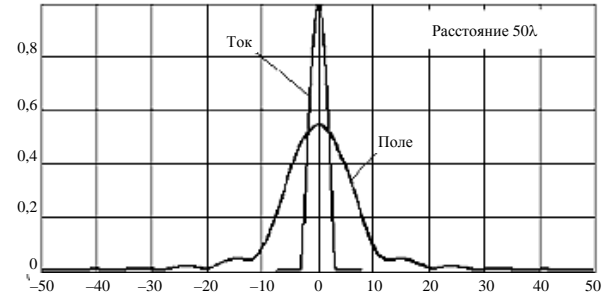


Рис. 5 Дифракция токов торца одномерно широкого ДВ от a/λ

Видно, что первая мода ДВ порождает заметные пульсации в распределении зондирующего поля. При возбуждении на апертуре суммы двух первых мод с соотношением амплитуд $1:0,1$ возбуждается гауссов пучок нулевого порядка, что иллюстрируется на рис. 6.

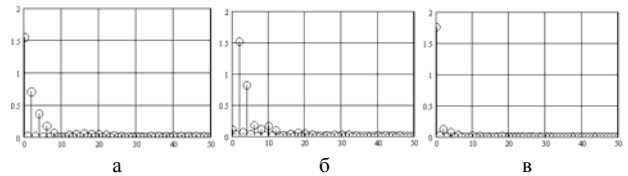


Рис. 6. Спектральный состав волнового пучка, синтезируемого модами планарного широкого ДВ – HE_{00} (а), HE_{02} (б), $HE_{00} + 0,1 HE_{02}$ (в)

Таким образом, подбирая амплитуды и фазы мод широкого ДВ на апертуре ВПП, можно добиться желаемого распределения зондирующего поля, максимально близкого к нулевому гауссовому пучку.

Выбранное соотношение мод на апертуре ВПП $HE_{00} + (0,1-0,2)HE_{02}$ является оптимальным, и оно заложено в основу проектирования ВПП.

Проектные рекомендации

На основе решений перечисленных выше задач выработаны проектные требования и решения разработки ВПП:

- угол при вершине планарного клина не должен превышать 10° (минимизация потерь на излучение с резкой нерегулярности);
- минимальный формат $\Phi = a/b$ на апертуре ВПП $\Phi = 3,4$. Основой расчета формата служат численные решения дисперсионных зависимостей замедлений от формата сечения (рис. 4);

³Оценка приближенная, в выражении (2) учтены только собственные волны без учета непрерывного спектра волн.

- оптимальное возбуждение на нерегулярном участке ВПП волн HE_{00} и HE_{02} в соотношении 1:0,1 обеспечивается при форматах на апертуре $\Phi \geq 13$, когда разность их замедлений менее 30 % (рис. 4).

- И, наконец, последняя рекомендация касается конкретного выбора формата в диапазоне допустимых форматов, в зависимости от требуемой ширины зондирующего пучка на апертуре ВПП для типовых постановок газодинамических исследований. Эта рекомендация получена в результате многочисленных экспериментальных исследований и численного моделирования, некоторые результаты которых приведены ниже.

Исследовались АФР макетов планарных ВПП в широком диапазоне форматов апертуры $\Phi = a/b$ от 2 до 20. Измерения подтвердили полученные выше проектные рекомендации.

Так, на рис. 7 приведены АФР гауссова пучка излучения на расстоянии 3 мм от апертуры по пучковой координате для формата на апертуре ВПП, равного $\Phi = 16$.

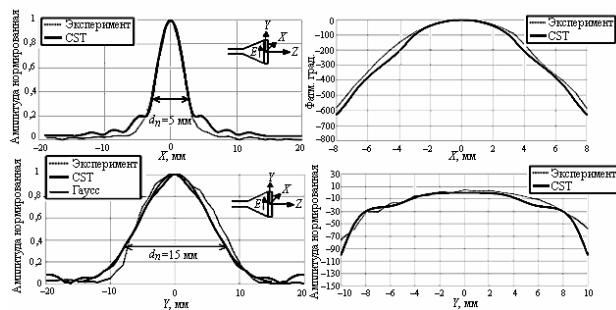


Рис. 7. Амплитудное и фазовое распределение излучения планарного ВПП с форматом $\Phi = 16$

Трансформацию пучка ВПП-клин на разных расстояниях от апертуры наглядно иллюстрируют синтезированные яркостные картины волнового пучка (рис. 8) с АФР, представленными на рис. 7.

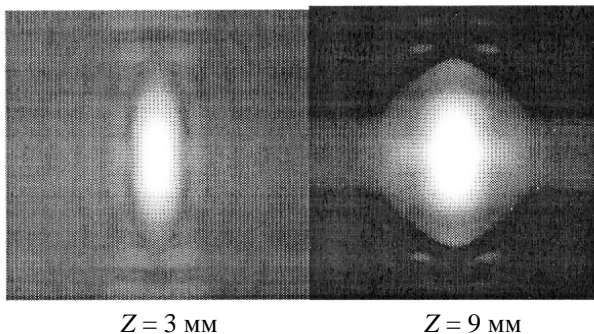


Рис. 8. Яркостные картины излучения планарного клина на расстоянии $Z = 3$ и 9 мм от апертуры

В результате проведенных экспериментальных исследований и численного моделирования макетов ВПП с форматами апертуры в широком диапазоне получена зависимость ширины пучка d от формата на апертуре ВПП. Зависимость представлена на рис. 9.

Перечисленные выше проектные рекомендации и зависимости $d(\Phi)$ позволили сформулировать патентные признаки предложенного и разработанного ВПП и подать патентную заявку на планарный излучатель [A12].

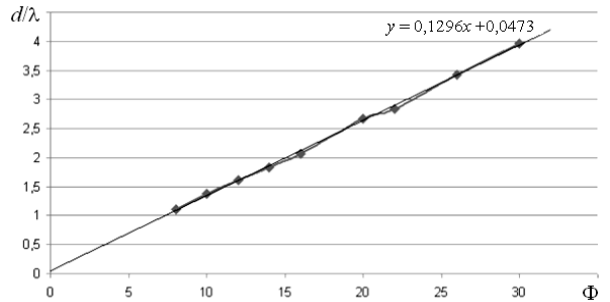


Рис. 9. Зависимость ширины пучка от формата на апертуре ВПП

Проведенные в 2011 году испытания макетов ВПП в составе МРИ на стендах и полигонах РФЯЦ-ВНИИЭФ подтверждают правильность заложенных в основу разработки принципов и численных результатов теоретического и экспериментального исследования ВПП, выработанных проектных рекомендаций.

Заключение

Результаты проведенных исследований и проектирования планарных ВПП, представленных в данном докладе, позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработка волноводно-пучковых преобразователей, формирующих волновые гауссовы пучки, является принципиально необходимым условием реализации многоканальной диагностики динамических процессов для решения актуальной задачи измерения профилей фронтов ударных и детонационных процессов.

2. Впервые аналитически и численно решены дифракционные задачи:

- определения многомодовых полей и дисперсионных характеристик волн в плавно-нерегулярном ДВ прямоугольного сечения;
- синтеза необходимого спектра гауссовых пучков излучения и оптимизации состава мод на апертуре ВПП по разложению полей на апертуре по базису пучков Гаусса – Эрмита.

3. Сочетание предложенных в работе приближенных теоретических методов, численного моделирования и экспериментальных исследований позволило обоснованно выработать проектный алгоритм разработки планарных ВПП, обеспечивающих излучение зондирующих волновых пучков, требуемых при разработке МРИ для диагностики газодинамических процессов.

4. Результаты представленных в докладе исследований позволили предложить и разработать дифрак-

ционные устройства – планарные ВПП, принципиальная новизна которых подтверждена патентными исследованиями и поданной заявкой на изобретение [A12].

Результаты проведенных исследований и проектирования ВПП за 2010–2011 годы изложены в трех статьях журналов ВАК, доложены в шести докладах на международных конференциях и защищены одной заявкой на изобретение.

Литература

1. Создание радиоинтерферометра мм диапазона для исследования быстротекающих процессов: Научно-технический отчет. НИИИС, 2008.

2. Михайлов А. Л., Костюков В. Е., Орехов Ю. И. и др. Некоторые результаты применения в ИФВ РФЯЦ-ВНИИЭФ радиоинтерферометров мм диапазона длин волн для изучения газодинамических процессов // Тр. VII Харитоновских чтений. Саров, 2005. С. 649–654.

3. Катын, Дмитриев Н. И., Орехов Ю. И. и др. Многоканальная радиоинтерферометрия – метод диагностики изменения фронтов ударно-волновых и детонационных процессов. Концепция и экспериментальное подтверждение // Тр. XI Харитоновских чтений. Саров, 2009. С. 617–621.

4. Каценеленбаум Б. З. Теория нерегулярных волноводов с медленно меняющимися параметрами. М.: АН СССР, 1964.

5. Шевченко В. В. Плавные переходы в открытых волноводах. М.: Наука, 1969.

6. Веселов Г. И., Раевский С. Б. Слоистые металлodieлектрические волноводы. М.: Радио и связь, 1988.

7. Взятыхшев В. Ф. Диелектрические волноводы. М.: Сов. радио, 1970.

8. Miller S. E. Bell Syst. Techn. J. 1954. Vol. 33, N 3. P. 661–719.

Перечень авторских публикаций

A1. Орехов Ю. И., Макарычев Н. А., Гайнулина Е. Ю. и др. Автоматизированный комплекс для измерения амплитудно-фазовых распределений диелектрических излучателей в ближней зоне // Антенны. 2010, № 7. С. 38–44.

A2. Белов Ю. Г., Гайнулина Е. Ю. и др. Расчет поля излучения открытого конца круглого двухслойного экранированного волновода // Там же. С. 44–49.

A3. Взятыхшев В. Ф., Клячин С. А., Гайнулина Е. Ю. Дифракционные КВЧ волноводно-пучковые преобразователи в открытых многомодовых диелектрических волноводах: физика явлений в ближней зоне и акту-

альные применения // Тр. III Всероссийской научно-технической конф. «Радиолокация и радиосвязь». М.: ИРЭ РАН РФ, 2009. С. 186–187.

A4. Гайнулина Е. Ю. Проектирование зондирующих волноводно-пучковых преобразователей на диелектрических структурах для многоканальной радиоинтерферометрии газодинамических процессов // Тр. VIII научно-технической конф. «Молодежь в науке». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2009. С. 326–331.

A5. Гайнулина Е. Ю. Проектирование зондирующих устройств для диагностики газодинамических процессов // V Научно-техническая конф. молодых специалистов ГК «Росатом» – «Высокие технологии атомной отрасли. Молодежь в инновационном процессе». Н. Новгород: НИИИС, 2010.

A6. Гайнулина Е. Ю. Волноводно-пучковые преобразователи на многомодовых планарных диелектрических структурах // Изв. вузов. Физика. 2010, № 9/2. С. 137–144.

A7. Гайнулина Е. Ю., Макарычев М. А. и др. Методы исследования дифракционного поля волноводно-пучковых преобразователей мм диапазона // Там же. С. 128–130.

A8. Каценеленбаум Б. З., Взятыхшев В. Ф., Гайнулина Е. Ю. Дифракционные волновые явления в волноводно-пучковых преобразователях на многомодовых диелектрических волноводах // Там же. № 9.

A9. Штыков В. В., Гайнулина Е. Ю., Макарычев Н. А., Николаенко Д. В. Дифракция зондирующих и информационных волновых пучков в процессе распространения и взаимодействия с моделями объектов газодинамики // Тр. Международ. конф. XIII Харитоновские тематические научные чтения «Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.

A10. Макарычев Н. А., Гайнулина Е. Ю., Штыков В. В. Программно-аппаратный комплекс для измерения амплитудно-фазовых распределений поля волноводно-пучковых преобразователей // Тр. 65-ой Науч. сессии НТОРЭС им. А. С. Попова. М., 2010. С. 332–334.

A11. Взятыхшев В. Ф., Гайнулина Е. Ю., Николаенко Д. В. Формирование волновых пучков многоканальной радиоинтерферометрии в волноводно-пучковых преобразователях на основе нерегулярных многомодовых диелектрических волноводов // Тр. Международ. конф. XIII Харитоновские тематические научные чтения «Экстремальные состояния вещества. Детонация. Ударные волны». Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2011.

A12. Заявка на изобретение «Планарный излучатель» № 2010142590/07 от 18.10.10 / В. Ф. Взятыхшев, Е. Ю. Гайнулина, Ю. И. Орехов, Н. А. Макарычев.

A13. Гайнулина Е. Ю. Исследование и проектирование волноводно-пучковых преобразователей для диагностики газодинамических процессов: Конкурсная работа на звание «Лучший молодой специалист». НИИИС, 2011.