

4. Mazaris P., Manesse D., Lepovet C. Structures de revetements de carbure de tungtene obtenus par differents procedes de projection // Sandage Et techniques. - 1987. -v. 41. №1-2. -P.36-42.
5. Петров С.В., Сааков А.Г., Бояджян А.М. Восстановление металлизацией тяжело нагруженных дизельных коленвалов // Автоматическая сварка. - 1999. - №8. - С. 43-46
6. Газотермические покрытия из порошковых материалов / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.Л. Сидоренко, Е.И. Ардаговская / Справ. -К.: Наукова думка, 1987. - 544 с.
7. Астахов Е.А., Шаривкер С.Ю., Гарда А.П., Краснов А.Н. Скорость полета напыляемых частиц при детонационном методе нанесения покрытий // Физика и химия обработки материалов. -1975. -№4. -С. 58-61.
8. Куприянов И.Л., Геллер М.А. Газотермические покрытия с повышенной прочностью сцепления. - Минск. : «Наука і техника», 1990. - 176 с.
9. Борисов Ю.С., Петров Е.В. Использование сверхзвуковых струй в технологии газотермического напыления // Автоматическая сварка. -1995. -№1. -С. 41-44.
10. Евдокименко Ю.И., Кисель В.М., Кадыров В.Х. и др. Взаимодействие дисперсных частиц несущим потоком при высокоскоростном газопламенном напылении // Порошковая металлургия. - 1996. - №3/4. -С. 54-60.
11. Leongo F.N. Advanced high-energy plasma sprayed coatings // Proc. 8th ITSC (Miami, USA, ASM, May 19-23, 1976). Miami. - 1976. -P. 319-331.
12. Горбань В.Ф. Повышение жаро- и износостойкости деталей способом газотермического напыления покрытий из сплавов на основе хрома // Автоматическая сварка. -2000. -№2. -С. 27-31.
13. Черноиванов В.И., Андреев В.П. Новые технологические процессы и оборудование для восстановления деталей сельскохозяйственной техники. М.: Высшая школа, 1983. -95 с.
14. Антонов И.А. Газопламенная обработка металлов. -М.: Машиностроение, 1976. -262 с.
15. Thorpe M.L. Thermal spray industry in transition // Adv. Mat. and Proc. -1993. V. 143. №5. -P. 50-61.
16. Тюрин Ю.Н. Совершенствование оборудования и технологии детонационного нанесения покрытий // Автоматическая сварка. -1999. -№5. С. 13-18.

**Встановлена наявність одночастотного коливання в резонансній системі з відрізком круглого хвилевода**

**Ключові слова:** резонанс, коливання, зонд, хвилевід, дзеркало

**Установлено существование одночастотного колебания в резонансной системе с отрезком круглого волновода**

**Ключевые слова:** резонанс, колебания, зонд, волновод, зеркало

**Existence of unifrequent fluctuation in resonant system with a piece of a round wave guide is established**

**Keywords:** resonance, vibrations, probe, waveguide, mirror

УДК 614.89:537.868

## ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКРЫТОЙ РЕЗОНАНСНОЙ СИСТЕМЫ С ОТРЕЗКОМ КРУГЛОГО ВОЛНОВОДА

**Н. П. Кунденко**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра "Интегрированные электротехнологии и процессы"\*  
Контактный тел: (057) 712-28-33, 067-743-77-76  
E-mail: n.p.kundenko@inbox.ru

**А. Д. Черенков**

Доктор технических наук, профессор  
Кафедра "Технотроники и теоретической электротехники"\*  
Контактный тел.: (057) 712-42-32  
E-mail: tte\_nniekt@ukr.net  
\*Харьковский национальный технический университет  
сельского хозяйства им. П. Василенко  
ул. Артема, 44, г. Харьков, 61000

### 1. Введение

Для измерения электрофизических параметров веществ наибольшее распространение получили резонансные методы в силу высокой точности получа-

емых результатов. Основная идея всех резонансных методов состоит в наблюдении резонансных кривых колебательного контура, в который помещен образец исследуемого вещества. Изучение резонансных кривых до и после внесения диэлектрика позволяет по

добротности резонатора и сдвигу частоты определить как вещественную часть диэлектрической проницаемости  $\epsilon'$ , так и тангенс угла потерь  $\text{tg } \delta = \epsilon''/\epsilon'$ . При измерении веществ с большими потерями образец должен занимать лишь малую часть объема резонатора. При этом предложенный ОР может быть применен для измерения электрофизических характеристик органических образцов.

## 2. Основные материалы исследования

Измерения проведены в четырехмиллиметровом диапазоне длин волн. Для этих целей был изготовлен полусферический ОР, апертуры зеркал которого равны 60 мм. Радиус кривизны  $R$  сферического отражателя 8 равен 110 мм. Диаметр круглого волновода 10, расположенного в центре плоского зеркала 9, выбирался из условия получения максимальной величины  $\eta = 0,835$  и, поэтому был равен 24 мм, т.е. для данной длины волны он является сверхразмерным. При расчете диаметра круглого волновода мы полагали: длина волны  $\lambda = 4,1$  мм, а нормированное расстояние между зеркалами резонатора  $L/R = 0,6$ . Выбор именно такого расстояния между зеркалами связан с тем, что при  $L/R = 0,55 \div 0,60$  возбуждаемый в полусферическом ОР первый высший аксиально-несимметричный тип колебаний  $TEM_{01q}$  имеет малые дифракционные потери. Мы будем рассматривать возбуждение волны  $TM_{01}$  в круглом волноводе с помощью колебания  $TEM_{01q}$  ОР. Возбуждается ОР с помощью генератора высокочастотных сигналов Г4-142 через щелевой элемент связи.

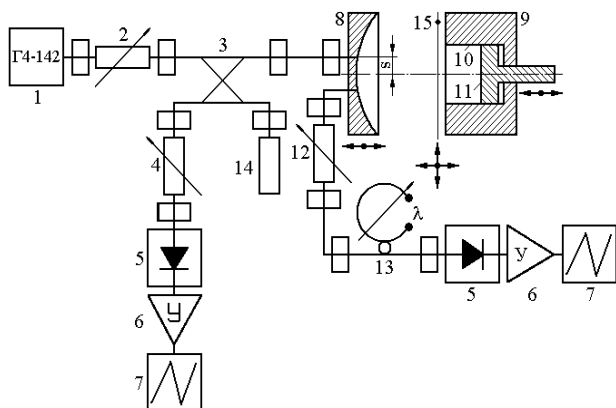


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки

Между высокочастотным генератором 1 и полусферическим резонатором в схему включен установочный аттенюатор 2. Сигнал из резонатора выводится с помощью второго элемента связи. Оба элемента связи представляют собой плавные переходы с пониженного сечения  $3,6 \times 0,16$  мм на основное сечение волновода  $3,6 \times 1,8$  мм. Расстояние  $s = w_1/\sqrt{2}$  ( $w_1$  - радиус пятна поля основного колебания  $TEM_{00q}$  на сферическом зеркале резонатора), на котором они расположены относительно центра сферического зеркала 8, определяется максимальным значением напряженности электрического поля колебания  $TEM_{01q}$  ( $L/R = 0,6$ ) на этом зеркале ОР и равно 9,4 мм. В этом случае колебание  $TEM_{01q}$  должно возбуждаться с максимальной

эффективностью. Прошедший через ОР сигнал поступает в приемный тракт, состоящий из измерительного поляризационного аттенюатора 12, детекторной секции 5, резонансного усилителя 6 и осциллографа 7. Для контроля частоты высокочастотного генератора 1 в этом тракте предусмотрен волномер 13. Измерительный стенд позволяет также определять резонансный коэффициент отражения рассматриваемой открытой электродинамической системы. Для измерения резонансного коэффициента отражения  $\Gamma_p$  от ОР в тракт включен направленный ответвитель 3. В состав этой цепи также входят: измерительный поляризационный аттенюатор 4; детекторная секция 5; резонансный усилитель 6; осциллограф 7. Настройка системы в резонанс осуществляется перемещением плоского зеркала 9 вдоль оси резонатора. Расстояние между отражателями определяется с помощью измерительного проекционного устройства с точностью 1 мкм.

Спектр резонатора приведен на рис.2. Рассмотрим колебание 1, имеющее резонансную частоту  $f_{p1} = 74,278$  ГГц и наибольший коэффициент передачи, и колебание 2, резонансная частота которого составляет  $f_{p2} = 73,974$  ГГц. Геометрия резонатора остается неизменной. Для идентификации типов колебаний, возбуждаемых в ОР, воспользуемся методом пробного тела [1]. В качестве пробного тела будем применять рассеивающий зонд, представляющий собой металлический шарик.

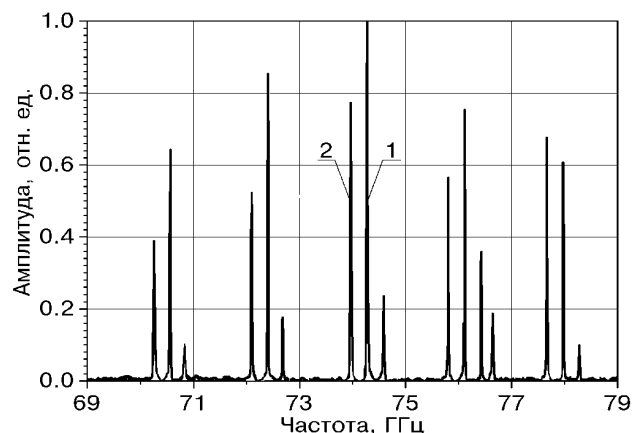


Рис.2. Спектр колебаний полусферического ОР, возбуждаемого щелевым элементом связи, смещенным относительно оси резонатора

Как видно из приведенной формулы, для определения диаметра зонда, помимо резонансной длины волны  $\lambda$ , необходимо еще знать нагруженную добротность  $Q_H$  резонатора, в котором возбуждается рассматриваемое колебание. Измеренная по полуширине резонансной кривой [1] добротность  $Q_H$  колебания 1 составила 5350. Таким образом, диаметр рассеивающего зонда 15 составил 0,8 мм.

При проведении экспериментальных исследований зонд закреплялся на капроновой нити толщиной 0,1 мм. Распределение поля снималось во второй пучности электрической компоненты поля стоячей волны в резонаторе, отсчитывая от плоского зеркала, в двух взаимно перпендикулярных плоскостях X и Y. При этом плоскость X проходит через ось резонатора и

центры обоих волноводов и в данном случае совпадает с плоскостью  $z\rho$ , а плоскость  $Y$  проходит через ось резонатора и перпендикулярна плоскости  $X$ . Результаты измерений амплитудного распределения поля колебания 1 представлены на рис. 3.

Как видно из рисунка, в рассматриваемом частотном диапазоне максимальным коэффициентом передачи обладает колебание  $TEM_{0131}$ , что как раз и обусловлено не осесимметричным возбуждением резонансной системы. Рассматриваемое колебание имеет вид двух пятен с нулевой интенсивностью поля в центре (кривая 1). Наряду с этим имеет место слабая интенсивность поля в плоскости  $Y$  (кривая 2). Проведенные исследования показывают, что имеет место хорошее совпадение расчета и эксперимента. Максимальное отличие измеренного и вычисленного амплитудных распределений полей колебания  $TEM_{0131}$ , если считать выше уровня  $1/e$  ( $|E/E_{max}|=0.368$ ), не превышает 11%. Это говорит о правильном выборе диаметра измерительного зонда.

Теперь проанализируем распределение интенсивности поля колебания, обозначенного на рис. 2 цифрой 2. Основные геометрические размеры резонатора и диаметр измерительного зонда остались неизменными. Распределение поля снималось в той же пучности электрической компоненты поля стоячей волны в резонаторе, что и в предыдущем эксперименте, и опять же в двух взаимно перпендикулярных плоскостях  $X$  и  $Y$ . Результаты измерений представлены на рис. 4.

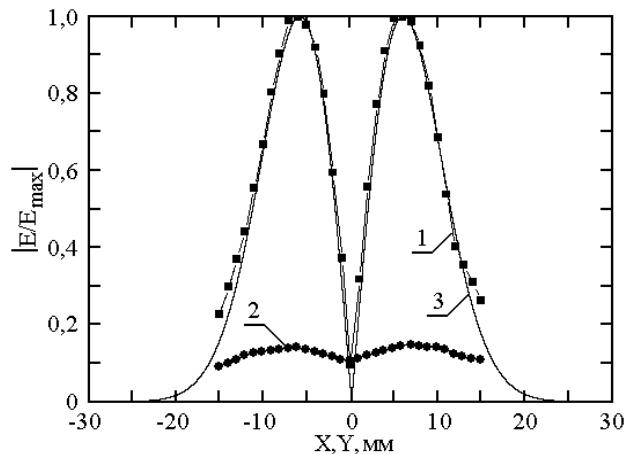


Рис. 3. Распределение интенсивности поля колебания  $TEM_{0131}$  в полусферическом ОР, измеренное в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Как несложно заметить, амплитудные распределения поля этого колебания в плоскостях  $X$  (кривая 1) и  $Y$  (кривая 2) идентичны. Это говорит о том, что вторым по резонансному коэффициенту передачи в ОР рассматриваемой геометрии и при не осесимметричном возбуждении является колебание  $TEM_{0031}$ , которое согласно принятой классификации [1] является основным. Здесь же приведено расчетное распределение интенсивности поля этого колебания (кривая 3), построенное по формуле  $E(\rho)=\exp(-\rho^2/w_0^2)$ . Наблюдается хорошее совпадение расчета и эксперимента. Максимальное отличие вычисленного и измеренного ам-

плитудных распределений поля колебания  $TEM_{0031}$ , если считать выше уровня  $1/e$ , не превышает 8%.

В качестве следующего шага рассмотрим ОР той же геометрии, что и выше, за исключением того, что в центре плоского зеркала расположен отрезок круглого волновода, диаметр которого равен 24 мм. Длина этого волновода  $h=12,268$  мм, что составляет  $3\lambda_v$  волны  $TM_{01}$  в круглом волноводе ( $\lambda_v$  - волноводная длина волны). В то же время расчетная величина  $h=12,219$  мм, т.е. отличие от экспериментального значения не превышает 0,4%. Это является косвенным подтверждением того, что в отрезке круглого волновода распространяется волна  $TM_{01}$ .

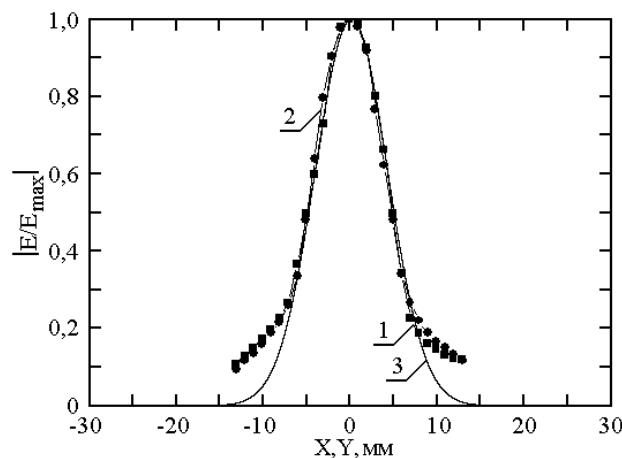


Рис. 4. Распределение интенсивности поля колебания  $TEM_{0031}$  в полусферическом ОР, измеренное в двух взаимно перпендикулярных плоскостях

Теперь экспериментально определим диаметр круглого волновода в центре плоского зеркала резонатора, при котором эффективность возбуждения волны  $TM_{01}$  с помощью колебания  $TEM_{0137}$  полусферического ОР будет максимальной. Методика измерения состоит в следующем. Для каждого значения частоты задающего генератора Г4-142 в ОР возбуждается колебание  $TEM_{0137}$ , характеризующееся своим резонансным расстоянием между зеркалами. Длина отрезка круглого волновода равна  $3\lambda_v$ . Число полуволн между поршнем и сферическим зеркалом резонатора при всех измерениях остается постоянным и равным 37. Не изменяется и диаметр волновода  $2a$ . Таким образом, при отклонении диаметра круглого волновода от оптимального будут расти потери на несогласованное возбуждение волны  $TM_{01}$  колебанием резонатора  $TEM_{0137}$ .

**Выводы**

Проведенные исследования показали, что в сверхразмерном круглом волноводе при соответствующей ориентации возбуждающего элемента связи действительно возбуждается волна  $TM_{01}$ , которая при наличии поршня приводит к преобразованию колебания  $TEM_{01q}$  полусферического ОР в аксиально-симметричное колебание  $TE_{01q}$ . Это позволяет говорить, что экспериментально удалось возбудить в открытой электродинамической системе колебание “воловий глаз”.

При этом предложенный ОР может быть применен для измерения электрофизических характеристик органических образцов. Говорить об этом мы можем потому, что диаметр цилиндрического образца, расположенного вдоль оси резонансной системы, будет значительно меньше диаметра круглого волновода, выполненного в центре одного из зеркал резонансной системы. Так в данном конкретном случае диаметр

этого волновода составляет 24 мм, в то время, как диаметр цилиндрического образца равен всего 5 мм. Кроме того, поскольку диаметр круглого волновода в центре плоского зеркала однозначно определяется геометрией резонатора и рабочей длиной волны, рассматриваемый ОР будет наиболее перспективен в коротковолновой части миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов длин волн.

### Литература

1. Техника субмиллиметровых волн / [Валитов Р.А., Дюбко С.Ф., Камышан В.В. и др.]; под ред. Р.А. Валитова. – М.: Сов. радио, 1969.– 480 с.
2. Кузьмичев И.К. Выбор диаметра зонда для исследования распределений поля в малоапертурных открытых резонаторах / И.К. Кузьмичев // Радиофизика и электроника: сб. науч. тр. / НАН Украины. Ин-т радиофизики и электроники. – Харьков, 2000. – Т. 5, № 2. – С. 92-95.
3. Афонин Д.Г. Исследование резонансной системы для лазера на свободных электронах / Д.Г. Афонин, В.Г. Богомолов, Н.Д. Бояринцев [и др.] // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. – 1989. – Вып. 3. – С. 14-16.

*Проаналізовано точні та наближені моделі прогнозування коефіцієнтів тертя й інтенсивності зносу багатоконпонентних композиційних матеріалів триботехнічного призначення. Виконано оцінку точності запропонованих моделей*  
**Ключові слова:** багатоконпонентні композиційні матеріали, коефіцієнт тертя, інтенсивність зносу

*Проанализированы точные и приближенные модели прогнозирования коэффициентов трения и интенсивности износа многокомпонентных композиционных материалов триботехнического назначения. Выполнена оценка точности предложенных моделей*  
**Ключевые слова:** многокомпонентные композиционные материалы, коэффициент трения, интенсивность износа

*There are analysed exact and approximate models for prognostication of friction coefficients and intensity of wear for multicomponent composite materials of the tribotechnical function. The assessment of offered models accuracy was executed*  
**Keywords:** multicomponent composite materials, friction coefficient, intensity of wear

УДК 620.22-419.8

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ

**В. А. Скачков**

Кандидат технических наук, доцент  
 Кафедра металлургии цветных металлов\*\*  
 Контактный тел.: (06 12) 223-83-10  
 E-mail: colourmet@zgia.zp.ua

**Г. А. Баглюк**

Доктор технических наук, заместитель  
 директора по науке  
 Институт проблем материаловедения НАН Украины  
 Контактный тел.: (044)-424-15-34  
 E-mail: gbag@rambler.ru

**О. С. Воденникова**

Ассистент\*  
 Контактный тел.: (06 12) 223-82-50  
 E-mail: mf@zgia.zp.ua

**В. И. Иванов**

Старший научный сотрудник\*  
 Контактный тел.: (06 12) 223-83-24  
 E-mail: colourmet@zgia.zp.ua

\*Кафедра металлургии черных металлов  
 \*\*Запорожская государственная инженерная академия  
 пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69006