

УДК 535.42 : 534.321.9

А.С. Рыбьяк, Г.В. Рыбалка, А.Л. Черкашина

Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ДВУХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛНАХ С РАЗЛИЧНЫМИ ЧАСТОТАМИ

*Представлены результаты экспериментальных исследований эффекта конкуренции дифрагированных мод при взаимодействии света с двумя ультразвуковыми волнами, частоты которых симметрично расположены относительно частоты брэгговского синхронизма.*

**брэгговская дифракция, взаимодействие световой волны с двумя ультразвуковыми волнами**

### Введение

#### Постановка проблемы и анализ публикаций.

Дифракция света на нескольких пространственно совмещенных ультразвуковых волнах с различными частотами относится к распространенным задачам, решаемым в акустооптике. Подобные варианты акустооптического взаимодействия используются для решения ряда прикладных задач (пространственного управления оптическим излучением, спектрального анализа радиотехнических и оптических сигналов).

В интересах построения двумерных сканирующих устройств в работах [1, 2] приводится решение задачи дифракции света на двух бегущих акустооптических волнах, которые распространяются под углом друг к другу. При этом предполагается, что угол взаимодействия света с каждой из ультразвуковых волн равен углу Брэгга, а частоты ультразвуковых волн близки по величине.

Дифракция света на двух коллинеарных акустических волнах, частоты которых мало отличаются друг от друга, рассмотрена в работе [3]. Авторами исследован эффект конкуренции дифрагированных мод при изменении частоты или амплитуды одной из акустических волн. Этот вариант акустооптического взаимодействия реализуется в акустооптических анализаторах спектра радиосигналов.

В работе [4] рассмотрена дифракция света на двух ультразвуковых волнах, которые создаются одним возбудителем ультразвука, с частотами симметрично расположенными на шкале частот относительно частоты брэгговского синхронизма. Данный вариант акустооптического взаимодействия реализуется при построении видеоспектрометров на основе акустооптических фильтров. Авторами получены аналитические выражения для составляющих первого и нулевого порядков дифракции при взаимодействии света с двумя ультразвуковыми волнами в изотропном диэлектрике с использованием метода непрерывных дробей и исследованы свойства составляющих первого и нулевого порядков в зависимости от условий акустооптического взаимодействия в режиме дифракции Брэгга. С помощью полученных выражений построены графики зависимости

дифракционной эффективности составляющих нулевого и первого порядков от обобщенных параметров акустооптического взаимодействия  $u$  и  $v$ . Эти графики иллюстрируют эффект конкуренции дифрагированных мод, который проявляется в том, что при уменьшении амплитуды одной из ультразвуковых волн дифракционная эффективность светового пучка, рассеянного на другой ультразвуковой волне, амплитуда которой оставалась постоянной, увеличивалась.

**Целью данной статьи** является экспериментальное исследование конкуренции дифрагированных мод при рассеянии света на двух ультразвуковых волнах, когда их частоты симметрично расположены относительно частоты брэгговского синхронизма.

### Методика экспериментальных исследований

При обосновании методики экспериментальных исследований будем учитывать, что дифракционные эффективности света, рассеянного на ультразвуковых волнах с частотами  $f_{01}$  и  $f_{02}$ , зависят от величины амплитуды каждого из этих ультразвуковых колебаний и разности частот между ними  $\Delta f = f_{01} - f_{02}$ .

Действительно, как показано в работе [4], обобщенные параметры  $u$  и  $v$  имеют следующий вид:

$$u = q_1^2 / \varepsilon_1^2; \quad (1)$$

$$v = \gamma^2 q_2^2 / \varepsilon_1^2, \quad (2)$$

где  $q_i = \frac{\alpha_i k^2}{n_0^2 k_{0i}^2}$  – параметр Рытова;  $i = 1, 2$ ;  $\varepsilon_1 = 1 - z_1 -$

расстройка условий взаимодействия от условий брэгговского синхронизма;  $\gamma = k_{02}^2 / k_{01}^2$ ;  $k_{01}$  и  $k_{02}$  – волновые числа звуковых волн с частотами  $f_{01}$  и

$f_{02}$ ;  $z_1 = \frac{2k \sin \theta}{k_{01}}$ ;  $\sin \theta = k_0 / 2k$ ;  $k_0$  – волновое

число ультразвуковой волны, для которой выполняется условие брэгговского синхронизма;  $k$  – волновое число светового излучения;  $n_0$  – коэффициент

преломления обыкновенной световой волны;  $\alpha_1$  – коэффициент акустооптической связи, пропорциональный амплитуде ультразвуковой волны с различными частотами.

В процессе проведения эксперимента производилось измерение пространственного распределения интенсивности дифрагированной световой волны в плоскости приемника излучения для нескольких значений разности частот между ультразвуковыми волнами при изменении величины амплитуды одной ультразвуковой волны. Величина амплитуды второго ультразвукового колебания сохранялась постоянной.

В эксперименте использовалась акустооптическая ячейка из кристалла парателлуриата, в которой возбуждались две ультразвуковые волны, отличающиеся по амплитуде и частоте. Частоты ультразвуковых волн выбирались так, чтобы они были симметрично расположены относительно частоты брэгговского синхронизма  $f_0 = 60$  МГц. Две ультразвуковые волны в акустооптической ячейке возбуждались высокочастотными колебаниями от двух генераторов, сигналы с которых подавались на возбуждатель ультразвука акустооптической ячейки. В качестве источника излучения использовался лазер с длиной волны  $\lambda = 632,8$  нм. Его излучение направлялось на вход акустооптической ячейки под углом Брэгга, примерно равным для выбранных условий взаимодействия  $\Theta_B \approx 0,2^\circ$ .

Приемник излучения был установлен в плоскости, перпендикулярной направлению распространения дифрагированной составляющей первого порядка, причем апертура приемника была существенно меньше размеров рассеянного светового пучка.

Для уменьшения влияния случайной погрешности полученные значения подвергались статистической обработке. При этом осуществлялись многократные измерения параметров для получения требуемой статистики.

### Результаты экспериментальных исследований

Результаты измерений обрабатывались с помощью математического пакета программ MATNCAD. Это позволило построить графики зависимостей напряжения на выходе приемника излучения от пространственной координаты для трех значений разности частот генераторов ультразвуковых колебаний при различных значениях амплитуды одного из генераторов ультразвука, когда амплитуда колебаний с выхода второго генератора сохранялась постоянной и равнялась  $U_{02} = 2,5$  В.

На графиках (рис. 1) представлены зависимости напряжения на выходе приемника излучения от пространственной координаты  $x$  при разности частот ультразвуковых волн  $\Delta f = 3$  МГц,  $\Delta f = 3,5$  МГц и  $\Delta f = 4$  МГц. Зависимости снимались для четырех (рис. 1, а) и для трех (рис. 1, б, рис. 1, в) значений амплитуды ультразвуковой волны  $U_{01}$ .

На этих графиках первый пик соответствует интенсивности светового пучка, дифрагировавшего на ультразвуковой волне с частотой  $f_{01}$ , а второй – на ультразвуковой волне с частотой  $f_{02}$ .

Как следует из графиков, значение максимума второго пика увеличивается с уменьшением максимума первого, несмотря на то, что значение амплитуды

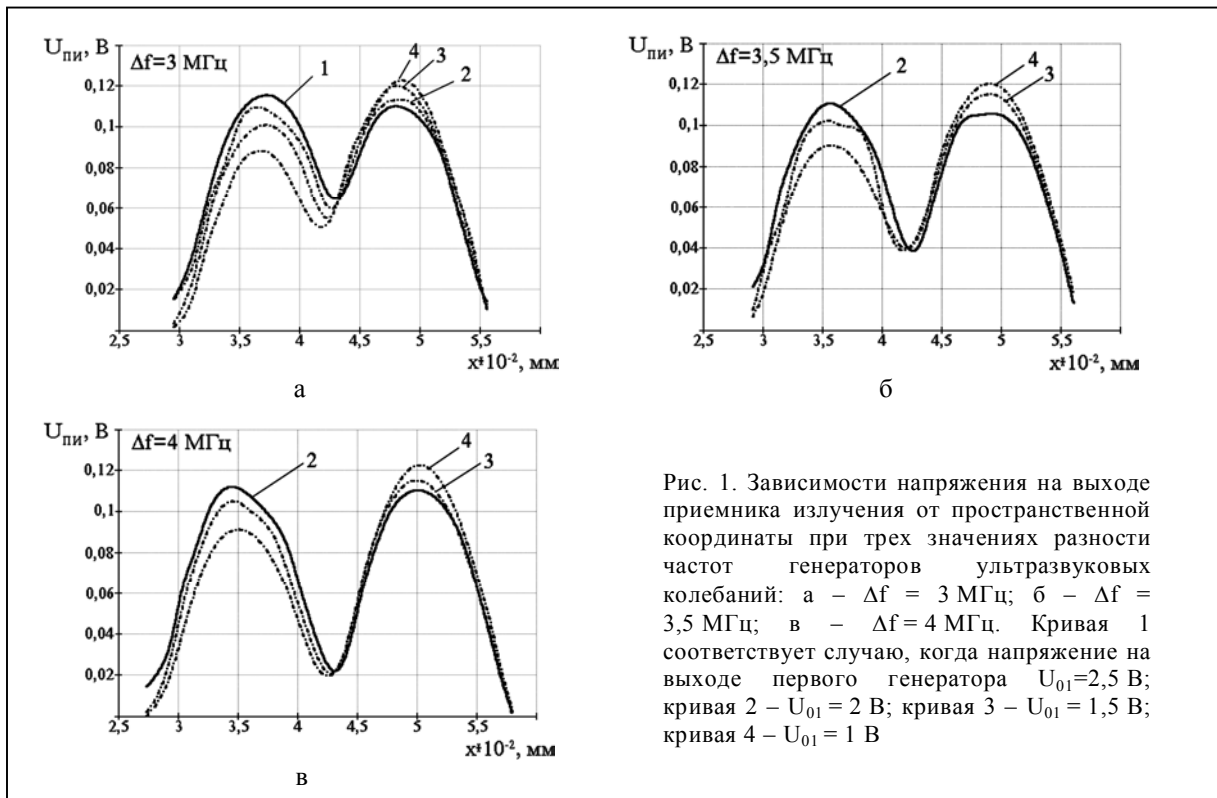


Рис. 1. Зависимости напряжения на выходе приемника излучения от пространственной координаты при трех значениях разности частот генераторов ультразвуковых колебаний: а –  $\Delta f = 3$  МГц; б –  $\Delta f = 3,5$  МГц; в –  $\Delta f = 4$  МГц. Кривая 1 соответствует случаю, когда напряжение на выходе первого генератора  $U_{01} = 2,5$  В; кривая 2 –  $U_{01} = 2$  В; кривая 3 –  $U_{01} = 1,5$  В; кривая 4 –  $U_{01} = 1$  В

колебаний ультразвуковой волны с частотой  $f_{02}$  оставалось постоянным. Данная тенденция прослеживается на всех трех графиках. Из анализа графиков следует, что с увеличением разности частот ультразвуковых волн, то есть относительной расстройки, происходит удаление пиков друг от друга, увеличение провала между ними, а также уменьшения влияния эффекта конкуренции.

Анализ зависимости, представленной кривой 1 на рис. 1, а, показывает, что, несмотря на равенство амплитуд ультразвуковых волн, пики имеют различные максимумы. Это обусловлено тем, что обобщенные параметры  $u$  и  $v$  отличаются на значение  $\gamma^2$ , которое меньше единицы. Тогда для обеспечения равенства обобщенных параметров необходимо, чтобы  $U_{02}$  было больше  $U_{01}$  на  $1/\gamma^2$ , что доказывает правильность выбранной методики.

### Выводы

Полученные экспериментальным путем результаты подтверждают наличие эффекта конкуренции дифрагированных мод при взаимодействии светового излучения с двумя ультразвуковыми волнами,

частоты которых симметрично разнесены относительно частоты брэгговского синхронизма, что следует учитывать при построении видеоспектрометров на основе акустооптических фильтров.

### Список литературы

1. Парыгин В.И. Дифракция света на бегущих акустических волнах в изотропной среде // *Радиотехника и электроника*. – 1974. – 19, № 1. – С. 38-44.
2. Балакиев В.А., Парыгин В.И., Чирков Л.Е. *Физические основы акустооптики*. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
3. Балакиев В.А., Нагиева И.А. Дифракция света на двух коллинеарных акустических волнах с различными частотами. Конкуренция мод // *Радиотехника и электроника*. – 2000. – 45, №5. – С. 596-601.
4. Купченко Л.Ф., Рыбалка Г.В., Ефимова О.В. Дифракция света на двух ультразвуковых волнах с различными частотами // *Радиофизика и электроника*. – 2004. – Т. 9, № 3. – С. 503-508.

Поступила в редколлегию 14.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.