

548403027

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

И Ф В Э 83-123  
ОМВТ

А.Г.Дайковский, В.В.Парамонов, Ю.И.Португалов,  
А.Д.Рябов, Т.Д.Рябова

ИССЛЕДОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ СВЯЗИ СЕКЦИЙ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ  
С ШАЙБАМИ И ДИАФРАГМАМИ

**А.Г.Дайковский, В.В.Парамонов, Ю.И.Португалов,  
А.Д.Рябов, Т.Д.Рябова**

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОАКСИАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ  
ДЛЯ СВЯЗИ СЕКЦИЙ УСКОРЯЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ  
С ШАЙБАМИ И ДИАФРАГМАМИ**

**Направлено в ЖТФ и  
"Part. accelerator"**

Аннотация

Дайковский А.Г., Парамонов В.В., Португалов Ю.И., Рябов А.Д., Рябова Т.Д.

Исследование коаксиальных устройств для связи секций ускоряющей структуры с шайбами и диафрагмами. Серпухов, 1983.

18 стр. с рис. (ИФЭЭ ОМВТ 83-123).

Библиогр. 15.

Получены дисперсионные и энергетические характеристики коаксиального устройства связи (КУС) - перспективного элемента ускоряющей системы, использующей структуру с шайбами и диафрагмами. Показано, что в резонаторах, состоящих из секций структуры с шайбами и диафрагмами и КУС, сохраняется основное достоинство этой структуры - высокая стабильность распределения ускоряющего поля, при этом потери ВЧ мощности в КУС незначительны. Отмечено наличие в нем азимутально неоднородных мод в окрестности рабочего колебания.

Abstract

Daikovsky A.G., Paramonov V.V., Portugalov Yu.I., Ryabov A.D., Ryabova T.D.

On Study of Coaxial Coupler for a Disk and- Washer Structure. Serpukhov, 1983.

p. 16. (ИФЭЭ 83-123).

Refs. 15.

The present paper describes the dispersion and energy properties of the coaxial coupler (CC), which is a promising component for an accelerating system, with the disk and-washer (DAW) structure. Resonators, consisting of the DAW structure sections and CC are shown to persist the main advantage of DAW structure, i.e. high stability of the accelerating field distribution. Therewith RF power losses are small. The presence of nonsymmetric modes in the neighbourhood of the operating mode is noted.

## ВВЕДЕНИЕ

Резонаторы ускоряющей системы линейных ускорителей протонов (ЛУП) на энергии свыше 100–150 МэВ состоят из секций ускоряющей структуры и резонансных мостовых устройств. Между секциями размещаются фокусирующие элементы и другая необходимая аппаратура. Выбор той или иной разновидности мостового устройства обусловлен радиотехническими и конструктивными особенностями структуры<sup>/1/</sup>. Так, для структуры с шайбами и диафрагмами<sup>/2/</sup> известно мостовое устройство, работающее на колебании  $H_{10n}$ <sup>/3/</sup>. Оно используется в ускоряющей системе основной части ЛУП мезонной фабрики ИЯИ АН<sup>/4/</sup>. Мостовое устройство<sup>/3/</sup> имеет более сильную связь с секцией по сравнению с другими устройствами, перечисленными в работе<sup>/1/</sup>. Но и в этом случае связь устройства с секцией в несколько раз слабее связи ячеек внутри секции.

В дальнейшем для структуры с шайбами и диафрагмами были предложены коаксиальные устройства связи (КУС), упоминание о которых можно найти в работе<sup>/5/</sup>. Основные требования, предъявляемые к КУС, сформулированы в работе<sup>/6/</sup>, там же даны энергетические характеристики простейшего КУС, состоящего из одной ячейки.

Из физических соображений ясно, что КУС должны иметь сильную связь с секцией, но конкретные данные об этом отсутствуют. Исследование частотных и энергетических характеристик различных КУС, а также спектральных свойств резонаторов с КУС, является целью настоящей работы.

### 1. ТРЕБОВАНИЯ К КУС

Требования, предъявляемые к КУС, состоят в следующем<sup>/6/</sup>:

1. Размеры КУС должны быть рассчитаны на размещение фокусирующих элементов и/или другой необходимой аппаратуры.

2. КУС не должно нарушать синхронизм движения ускоряемых частиц. Для этого его длина должна быть кратной целому числу периодов структуры

$(L_M = N \frac{\beta \lambda}{2})$ , а для правильной фазировки ускоряющего поля число периодов  $M$  КУС должно быть одной четности с  $N$  ( $L_M = D_M M$ ), см. рис. 1. Здесь  $\beta$  – относительная скорость частиц,  $\lambda$  – длина волны рабочего колебания.

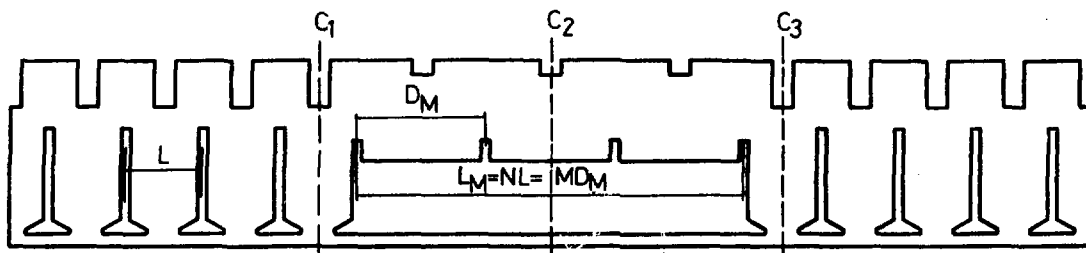


Рис. 1. Коаксиальное устройство связей (КУС),  $\beta = 0,6$ ,  $N = 5$ ,  $M = 3$ ,  $L = \frac{\beta \lambda}{2}$  - длина периода регулярной структуры,  $L_M$  - длина КУС,  $D_M$  - длина периода КУС,  $N$  и  $M$  - целые числа одной четности.

3. КУС не должно искажать спектр частот резонатора в окрестности рабочего колебания, в частности, нарушать симметрию расположения боковых колебаний.

В работе<sup>/8/</sup> показано, что гладкий коаксиальный мост не может удовлетворить перечисленным требованиям при всех  $\beta$ . Поэтому устройство должно представлять собой отрезок периодической коаксиальной структуры. Для выполнения условий 2 и 3 необходимо выбрать рабочее колебание и колебание связи по аналогии с соответствующими колебаниями в регулярной структуре (РС), назовем их характерными колебаниями КУС. Характерные колебания КУС должны быть настроены на частоты соответствующих колебаний РС. Поскольку для непрерывности дисперсионной характеристики РС в окрестности рабочего колебания необходимо равенство частот рабочего колебания и колебания связи<sup>/2/</sup>, то этому же условию должны удовлетворять характерные колебания КУС. Кроме того, ясно, что в областях сопряжения КУС с секцией должны быть близки также поля соответствующих колебаний. Примеры распределения электрического поля характерных колебаний КУС показаны на рис. 2 и 3 (колебания  $f_7$  и  $f_c$ ), методика их выбора более подробно будет рассмотрена ниже.

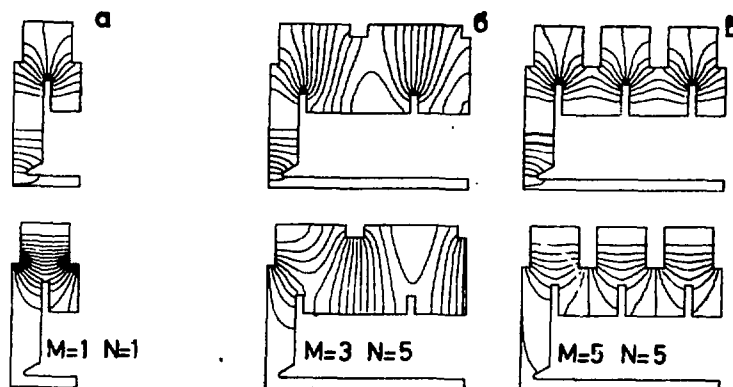


Рис. 2. Распределение электрического поля характерных колебаний различных КУС при  $\beta = 0,6$ . Вверху - рабочее колебание, внизу - колебание связи.

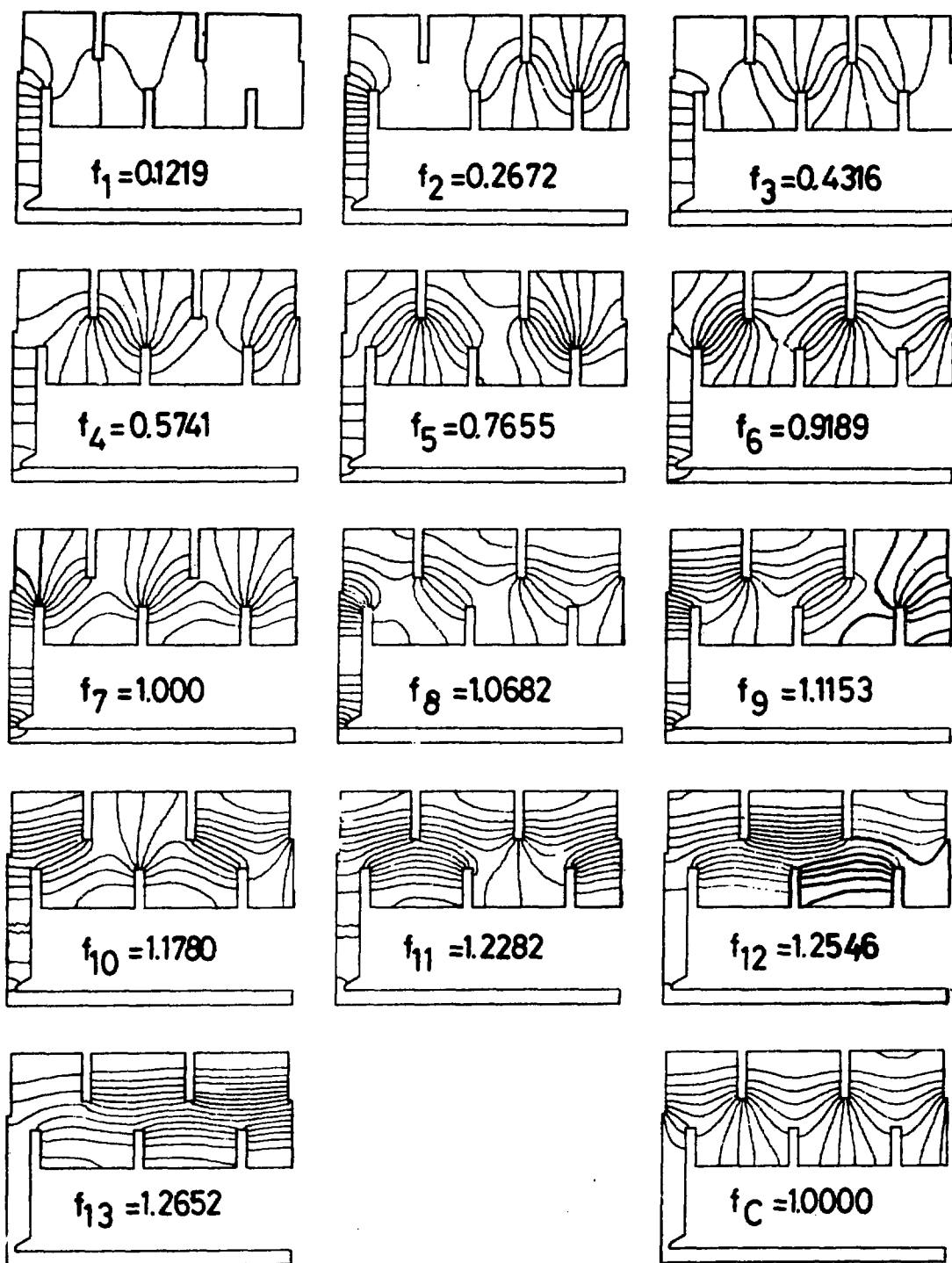


Рис. 3. Распределение электрического поля колебаний КУС из рабочего семейства ( $f_1 + f_{13}$ ) и колебания связи ( $f_C$ ) для  $\beta = 0,4$ ,  $N = 9$ ,  $M = 5$ . Характерные колебания  $f_7$  и  $f_C$ .

Определить размеры и основные характеристики КУС можно независимо от секций, рассматривая участок между плоскостями  $C_1 - C_3$ , рис. 1. Поскольку длина КУС определяется в основном длиной размещаемых в нем фокусирующих устройств, КУС с большими  $N$  рассматривались для малых  $\beta$ . Данные о размерах ячеек взяты из работы /7/. Расчеты выполнены с помощью программ PRUD-0, PRUD /8,9/. Результаты проведенных расчетов КУС при различных  $N$ ,  $M$  и  $\beta$  представлены в безразмерном виде.

## 2. ВЫБОР ХАРАКТЕРНЫХ КОЛЕБАНИЙ. ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУС

2.1. Остановимся подробнее на выборе характерных колебаний устройства. При заданном  $N$ , которое определяется длиной КУС,  $M$  может принимать несколько значений. При  $M = N$  устройство можно рассматривать как отрезок ускоряющей структуры, шайбы которой соединены перемычками, см. рис. 1. Причем перемычки расположены в области слабого электрического поля характерных колебаний структуры. Аналог этих колебаний в КУС естественно выбрать в качестве характерных колебаний. Тогда сохраняется подобие полей характерных колебаний устройства и структуры, рис. 2а, в, а незначительное рассогласование частот легко устраняется подстройкой. В этом случае по распределению полей характерные колебания относятся к  $E$ -типу, они автоматически обеспечивают требуемую фазировку и периодичность их поля совпадает с геометрической периодичностью устройства.

При  $N\beta < M < N$  в качестве характерных колебаний КУС также следует выбирать те колебания, которые обеспечивают требуемую фазировку и периодичность полей которых совпадает с периодичностью устройства. При этом частота рабочего колебания подстраивается изменением радиуса шайб в устройстве, а частота колебания связи - изменением радиуса диафрагм. Коэффициенты влияния на частоты характерных колебаний примерно одинаковы для всех шайб и диафрагм, а взаимное влияние подстроек мало.

По мере приближения  $M$  к  $N\beta$  характерные колебания деформируются в коаксиальные. При этом согласование рабочих колебаний не вызывает затруднений, так как электрическое поле рабочего колебания структуры в плоскости шайб имеет только радиальную составляющую. Согласование достигается незначительным изменением радиуса шайб. Колебание связи структуры имеет продольную составляющую  $E_z$  между диафрагмами и для согласования с ним колебания связи устройства необходимо существенное изменение радиуса диафрагм.

Пример устройства в предельном случае с  $M = N\beta$  и распределение полей в нем показан на рис. 2б. Во всех рассмотренных вариантах КУС при настройке приходилось повышать частоты характерных колебаний, уменьшая радиус шайб и увеличивая радиус диафрагм по отношению к их размерам в структуре. При  $M < N\beta$  период устройства становится больше  $\lambda/2$  и согласовать устройство с РС по моде связи невозможно, что отражено в табл. 1.

Таблица 1

Частоты  $1$ ,  $N_M$ ,  $N_M + 2$  и  $2N_M + 1$  колебаний КУС из семейства рабочего колебания. Границы полосы пропускания регулярной структуры.

Вариант	$M = N$		$M < N$			Границы полосы пропускания структуры
	$M = 1$	$M = 5$	$M=3, N=5$	$M=5, N=7$	$M=5, N=9$	
$\beta = 0,4$	0,3304	0,1542	0,1682	0,1349	0,1219	0,4962  1,1068
	0,7348	0,9108	0,8816	0,9183	0,9189	
	1,0876	1,0569	1,0734	1,0607	1,0682	
	1,1899	1,2397	1,2552	1,2581	1,2652	
$\beta = 0,6$	0,3426	0,1535	0,1728			0,5160  1,1271
	0,7216	0,8989	0,8456	*	**)	
	1,1075	1,0678	1,1254			
	1,2081	1,2580	1,2997			
$\beta = 0,8$	0,3495	0,1502				0,5261  1,1540
	0,7021	0,8777				
	1,1393	1,0865	**)	**)	**)	
	1,2362	1,3004				

\* ) Вариант не рассматривался.

\*\* )  $M < N_\beta$ , устройство не согласуется по характерным колебаниям.

2.2. Рассматривая бесконечную периодическую структуру, состоящую из КУС, можно определить понятие "широких" полос пропускания. Необходимость введения такого понятия будет ясна из дальнейшего. Нас интересует первая широкая полоса. Поле самого нижнего колебания этой полосы близко к полю четвертьволнового коаксиального резонатора, нагруженного на емкость, поэтому его частота понижается с увеличением длины КУС, т.е. с ростом  $N$ . Но и при  $N = 1$  частота этого колебания оказывается ниже частоты колебания вида 0 в ускоряющей структуре. Частота верхнего колебания рассматриваемой полосы также зависит от параметров КУС, но оказывается всегда выше верхней частоты полосы пропускания регулярной структуры. Таким образом, широкая полоса пропускания КУС перекрывает полосу пропускания РС. Вид первой широкой полосы для различных КУС показан на рис. 4.

То, что устройство обладает внутренней периодичностью, приводит к появлению разрывов в широкой полосе пропускания, последняя делится на более "узкие" полосы зонами непрозрачности. Зоны непрозрачности между широкими полосами существенно больше зон непрозрачности между узкими полосами, что собственно и оправдывает понятие широкой полосы. В общем случае в широкой полосе находятся  $2N_M$  узких полос и  $2N_M - 1$  зон непрозрачности. Здесь  $N_M$  - число шайб в устройстве,  $N_M = M + 1$ . Узкие полосы



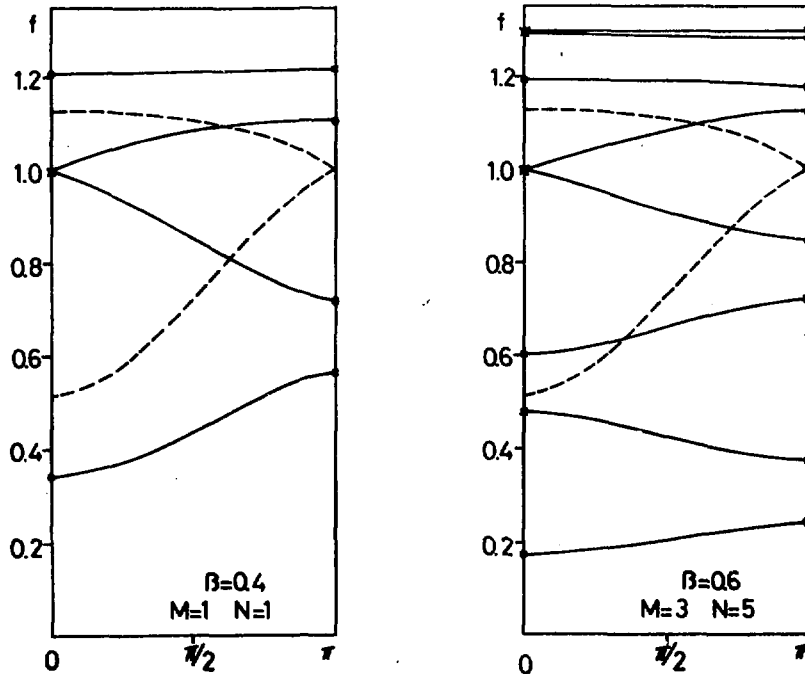


Рис. 4. Широкие полосы пропускания КУС. --- дисперсионная характеристика регулярной структуры, • - семейство рабочего колебания, x - семейство колебания связи.

пропускания ограничены колебаниями, которые можно рассчитать, рассматривая одно устройство. Общее число ограничивающих колебаний равно  $4N_M$ , из них  $2N_M + 1$  реализуются при граничных условиях  $E_r = 0$  на плоскостях  $C_1, C_3$  рис. 1, а оставшиеся  $2N_M - 1$  - при  $H_r = 0$ . Рабочее колебание выбирается из первого семейства, колебание связи из второго.

Значения частот 1-го и  $2N_M + 1$ -го колебаний первого семейства приведены в табл. 1. Сформулированные выше принципы позволяют выбрать характерные колебания однозначно, при этом они оказываются средними в своих семействах ( $N_M + 1$ -ое рабочее колебание и  $N_M$ -ое колебание связи). На рис. 3 показано семейство рабочего колебания ( $f_1 + f_{13}, f_7$  - рабочее колебание), а также колебание связи ( $f_c$ ).

Согласовывая по частоте характерные колебания, мы шиваем две узкие полосы, устраняя зону непрозрачности между ними, и тем самым обеспечиваем непрерывность полосы пропускания КУС в окрестности рабочего колебания. Эта непрерывность наиболее важна при исследовании спектра частот резонатора.

Границы непрерывной части полосы пропускания ( $N_M -$  и  $N_M + 2$ -частоты) различных КУС в окрестности рабочего колебания также приведены в табл. 1. Видно, что ширина непрерывной части увеличивается с уменьшением  $M$ .

### 3. СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗОНАТОРА

Известно, что от поведения спектра резонатора в окрестности рабочего колебания зависит стабильность распределения поля рабочего колебания по отношению к различного рода возмущениям. Рассмотрим спектр системы, составленной из КУС с двумя смежными секциями, рис. 1. Число шайб в двух секциях  $N_R$ , в устройстве -  $N_M$ , общее число шайб в системе  $N_S = N_R + N_M$ . Расчеты показывают, что в пределах широкой полосы пропускания КУС находятся  $2N_S + 1$  колебаний системы, реализуемых с граничными условиями "электрического" типа. Пример спектра такой системы при  $\beta=0,6$ ,  $M=3$ ,  $N=5$ ,  $N_R=16$  показан на рис. 5. Частоты характерных колебаний КУС и РС согласованы, они сохраняются и в системе в целом. На рис. 6 показаны поля характерных колебаний в системе: рабочего и колебания связи. Видно, что поля в секции в точности совпадают с полями в РС и симметричны относительно середин шайб и диафрагм. Это подтверждает правильность методики раздельного расчета КУС и структуры.

Поведение других колебаний системы рассмотрим с учетом уже известных спектральных свойств КУС и структуры. Те колебания, которые попадают в зону непрозрачности структуры, будут заперты в КУС. Очевидно, что частоты и поля таких колебаний близки к собственным частотам и полям в КУС (см. рис. 7), и наоборот, колебания, попадающие в зону непрозрачности КУС, заперты в секции. В окрестности рабочего колебания полосы пропускания КУС и РС непрерывны, поэтому непрерывна полоса пропускания и всей системы. Расчеты показывают даже большее: ближайшие к рабочему боковые колебания системы ( $f^-$  и  $f^+$  на рис. 5) располагаются симметрично по отношению к рабочему колебанию ( $f_a$ ).

На рис. 8 показаны поля боковых колебаний системы. Видно, что в системе реализуется боковое колебание секции, которое переходит в колебание связи КУС. Это еще раз подтверждается рис. 9, где приведено распределение  $E_z(Z)$  для боковых колебаний системы. Амплитуда  $E_z$  в зазорах секции достаточно хорошо описывается зависимостью  $E_{z_i} = E_{z_0} \cdot \cos \frac{i\pi(N_S - 1)}{N_S}$ ,  $E_{z_i}$  - амплитуда  $E_z$  в  $i$ -ом зазоре.

Для количественного анализа спектра вблизи рабочего колебания введем параметр  $\gamma(N_S) = \beta \frac{f^+ - f^-}{2f_a} N_S$ . В регулярной структуре  $\gamma(N_R)$  при  $N_R \rightarrow \infty$  совпадает с приведенной групповой скоростью. Расчеты показывают, что  $\gamma(N_R)$  выходит на плато при  $N_R > 6$  и для  $\beta = 0,4; 0,6; 0,8$  эти пределы равны 0,128; 0,228; 0,372. Для всех рассмотренных вариантов введение КУС не приводит к существенному изменению  $\gamma$ . Например при  $\beta = 0,4$ ,  $M = 5$  и  $N = 5; 7; 9$  для  $\gamma$  получаем значения 0,131; 0,127; 0,126, которые отличаются не более чем на несколько процентов от соответствующих значений в РС. Таким образом, боковые колебания системы расположены практически так же, как в секции РС, содержащей  $N_S$  шайб. В этом существенное отличие резонаторов с КУС от резонаторов с мостовым устройством на колебании  $H_{10n} / 10/$ .

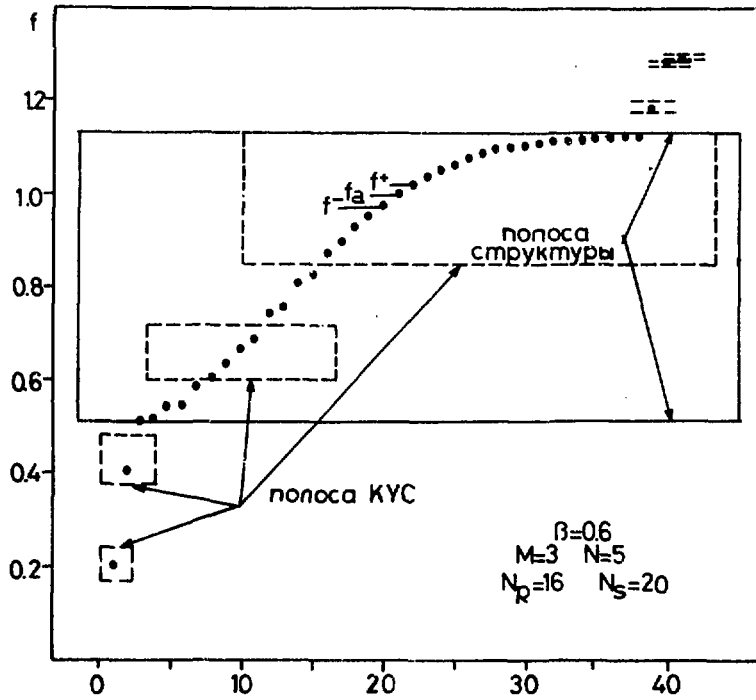


Рис. 5. Спектр частот резонатора с  $N = 5$ ,  $M = 3$ ,  $N_R = 16$ ,  $N_S = 20$ ,  $\beta = 0,8$ . Всего 41 колебание. Для сравнения показана полоса пропускания структуры и широкая полоса КУС.

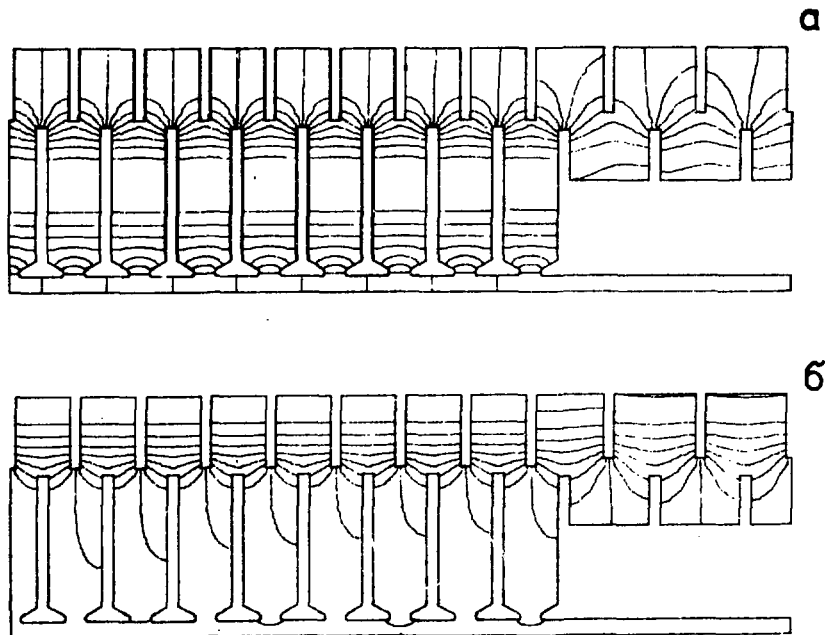


Рис. 6. Характерные колебания в резонаторе с КУС,  $\beta = 0,4$ ,  $N = 7$ ,  $M = 5$ . (а) – рабочее колебание; (б) – колебание связи.

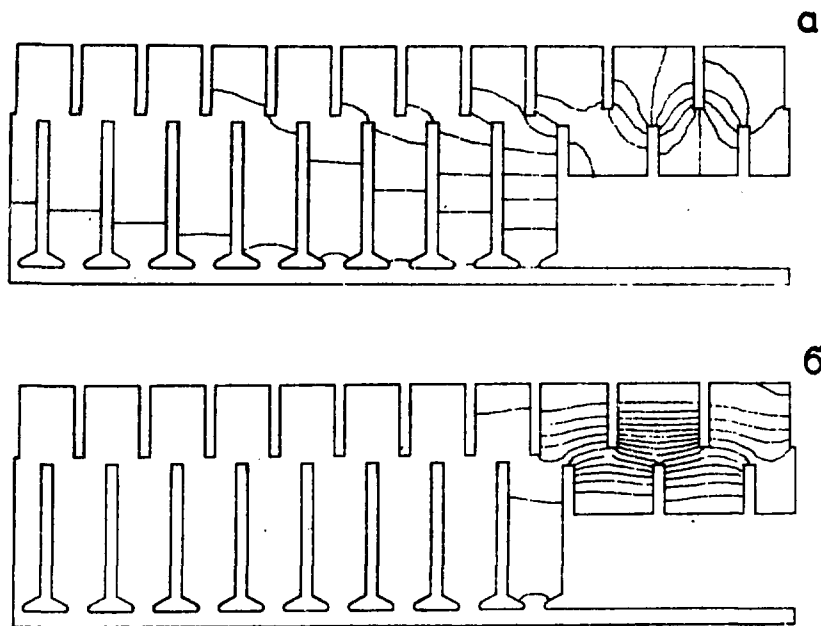


Рис. 7. Пример двух колебаний резонатора с КУС  $\beta = 0,4$ ,  $N = 7$ ,  $M = 5$ , лежащих вне полосы пропускания структуры. (а) - третье колебание; (б) - 44-е колебание.

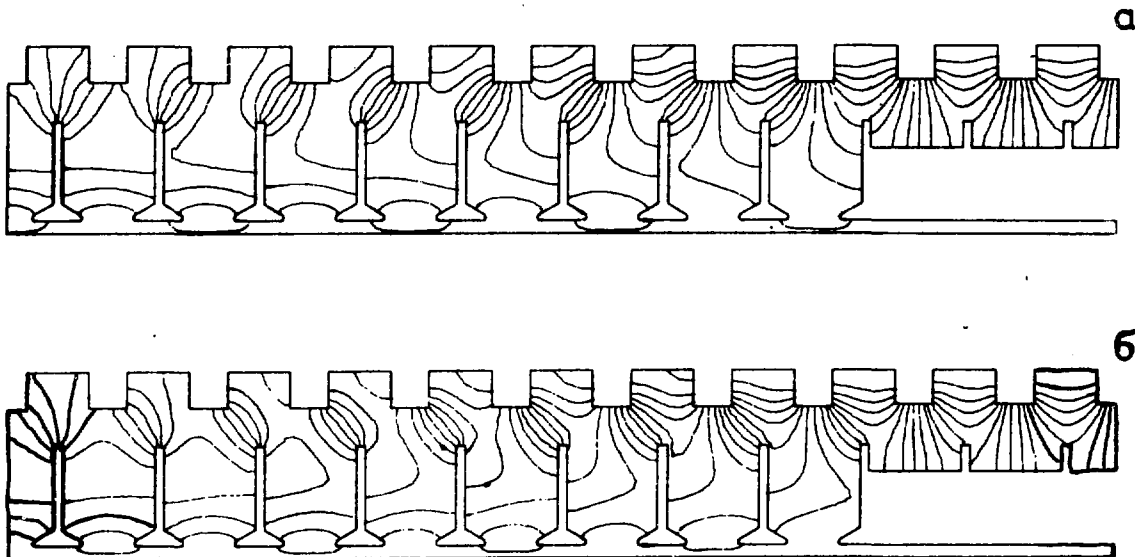


Рис. 8. Боковые колебания резонатора с КУС  $\beta = 0,8$ ,  $N = 5$ ,  $M = 5$  (а) -  $f^-$ ; (б) -  $f^+$ .

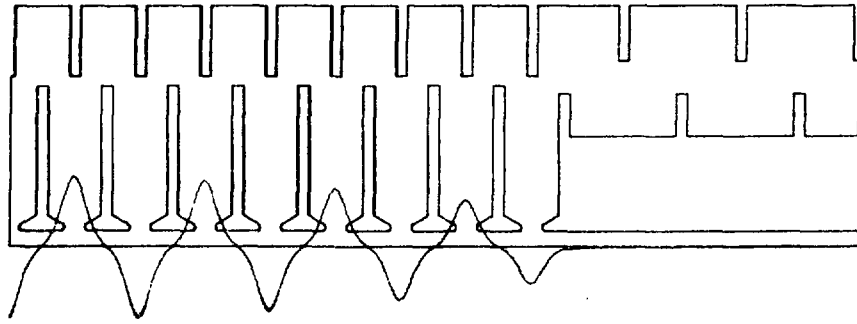


Рис. 9. Распределение  $E_2$  на оси резонатора для бокового колебания.

#### 4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КУС

Запасенная энергия и потери ВЧ мощности в КУС будут вычисляться по всей нерегулярной части, заключенной между плоскостями  $C_1 - C_3$  рис. 1. Добротность рабочего колебания КУС  $Q_M$  при  $M = N$  меньше добротности рабочего колебания структуры  $Q_R$ . Например при  $M = N = 1$   $Q_M = 0,8 Q_R$ , а при  $M = N = 5$   $Q_M = 0,6 Q_R$ . С уменьшением  $M$  по отношению к  $N$ ,  $Q_M$  возрастает и приближается к добротности регулярной структуры.

Для характеристики ВЧ потерь в КУС введем два параметра  $\chi_1 = P_1 / P_R$  и  $\chi_2 = P_2 / P_R$ , где  $P_R$  - потери на периоде РС,  $P_2$  - на периоде  $D_M$  КУС,  $P_1$  - на всей нерегулярной части. Параметр  $\chi_2$  характеризует период мостового устройства. Значения параметров  $\chi_1$  и  $\chi_2$  для различных вариантов КУС приведены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что КУС с  $M = N$  обладает относительно большими потерями (для  $M = N = 1$  такие же данные получены в работе<sup>6/</sup>). Поскольку в данном случае поля характерных колебаний в КУС практически не отличаются от полей в РС, независимо от  $N (M=N)$  имеем  $\chi_1 = 1 + N \chi_2$ . При этом потери на периоде КУС оказываются меньше, чем на торцевой поверхности КУС и в цилиндрической поверхности прилегающей полуячейки, так что  $\chi_2 < 1$ .

Таблица 2

Приведенные потери ВЧ мощности в КУС. Верхнее число -  $\chi_1$ , нижнее -  $\chi_2$ .

Вариант	$M = N$		$M < N$		
	$M = 1$	$M = 5$	$M=3, N=5$	$M=5, N=7$	$M=5, N=9$
$\beta = 0,4$	1,48 0,48	3,42 0,48	1,56 0,19	2,33 0,27	1,89 0,18
$\beta = 0,6$	1,61 0,61	4,07 0,61	1,55 0,18	*)	**)
$\beta = 0,8$	1,71 0,71	4,53 0,71	**)	**)	**)

\*) Вариант не рассматривался.

\*\*)  $M < N \beta$ , устройство не согласуется по характерным колебаниям.

При уменьшении числа периодов  $M$  поле рабочего колебания КУС деформируется в коаксиальное, что приводит к существенному уменьшению потерь на периоде  $D_M$ . Это ясно видно из сравнения при  $\beta = 0,6$  КУС с  $M = N = 1$  и  $M = 3, N = 5$ . Распределение плотности потерь по поверхности КУС показано на рис. 10. Такое устройство имеет меньшие потери, чем в пять раз более короткое устройство с  $M = N = 1$ .

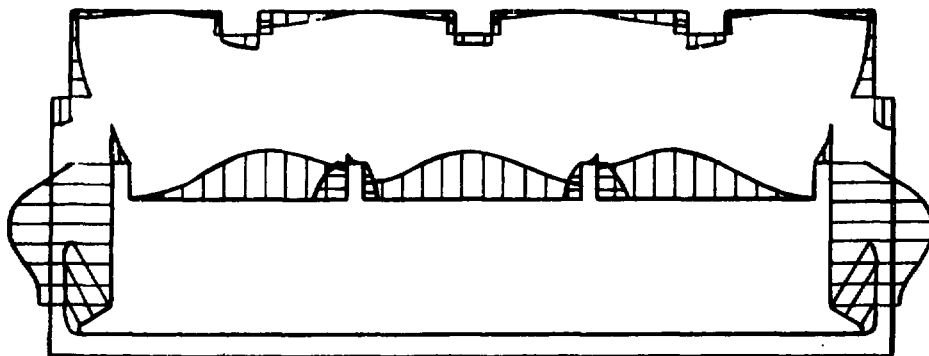


Рис. 10. Распределение плотности ВЧ потерь по поверхности КУС,  $\beta = 0,6, M = 3, N = 5$ .

Из табл. 2 также видно, что  $\chi_2$  уменьшается по мере приближения  $M$  к  $N\beta$ , так что с энергетической точки зрения  $M$  следует выбирать как можно ближе к  $N\beta$ , учитывая, конечно, что  $M$  и  $N$  имеют одну четность и  $M \geq N\beta$ . Таким образом, для данного  $N$  КУС с минимально возможным  $M$  имеет минимальные потери.

## 5. АЗИМУТАЛЬНО НЕОДНОРОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В КУС

Экспериментальные<sup>/11/</sup> и теоретические<sup>/12-14/</sup> исследования структуры с шайбами и диафрагмами показали, что в окрестности рабочего колебания присутствуют азимутально неоднородные (несимметричные) колебания. Близость по частоте таких колебаний к рабочему приводит<sup>/11/</sup> к трудно контролируемому сдвигу частоты и ухудшению энергетических характеристик рабочего колебания.

Классификация некоторых семейств несимметричных колебаний и зависимости их частот от размеров ячеек для различных вариантов структуры приведены в работах<sup>/12-14/</sup>. В работе<sup>/12/</sup> показано, что в областях дисперсионной кривой рабочей волны присутствуют колебания с одной вариацией по азимуту. Они представляют наибольший интерес, поскольку имеют на оси ненулевые поперечные составляющие поля, и классифицируются как колебания  $EH_{11}$  типа  $E$ . Для рассматриваемой в настоящей работе структуры границы первой полосы пропускания этих колебаний в зависимости от  $\beta$  показаны на рис. 11в.

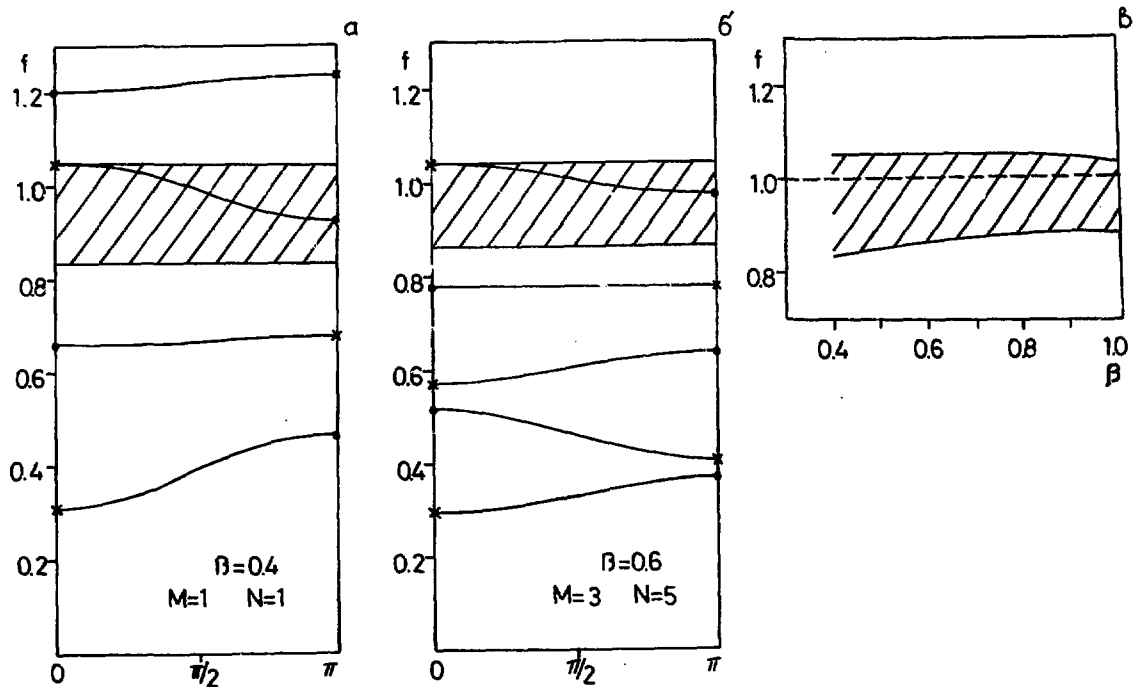


Рис. 11. Полосы пропускания колебаний с одной вариацией по азимуту в КУС.  $\cdot$  - ограничивающие колебания, полученные с граничными условиями электрического типа,  $\times$  - магнитного типа. Штриховкой показана полоса пропускания колебаний  $EH_{11}$  типа  $E$  в регулярной структуре, (в) - ее зависимость от  $\beta$ .

Несимметричные колебания в КУС ранее не рассматривались. Остановимся на колебаниях с одной вариацией по азимуту. Как и в случае симметричных колебаний (раздел 2), построено несколько нижних ветвей дисперсионной зависимости периодической цепочки, составленной из КУС. Они изображены для различных КУС на рис. 11а,б. Колебания самой нижней ветви классифицируются как колебания  $EH_{11}$  типа  $H$ .

Как и в случае симметричных колебаний, анализ спектра несимметричных колебаний резонатора проведем с учетом известных полос пропускания КУС и РС. Особый интерес представляет полоса пропускания КУС, находящаяся в окрестности рабочего колебания. На рис. 11 эта полоса третья снизу для  $M = N = 1$  и пятая для  $N = 5, M = 3$ . Расчеты показывают, что для других КУС с  $M = 5, N \geq 5$  эта полоса является седьмой т.е. ее порядковый номер  $N_M + 1$ . Общим для всех рассмотренных КУС является то, что  $N_M + 1$ -ая полоса полностью перекрывается первой полосой пропускания колебаний  $EH_{11}$  типа  $E$  регулярной структуры. Поэтому в резонаторе будут существовать несимметричные колебания, попадающие в полосы пропускания как КУС, так и РС. Следовательно, КУС обеспечивает связь секций и на несимметричных колебаниях. Это может способствовать развитию поперечных неустойчивостей пучка и является недостатком устройства.

Следует, однако, отметить, что с увеличением  $M$  ширина полос несимметричных колебаний КУС значительно уменьшается. Так, ширина  $N_M + 1$ -ой полосы КУС составляет  $58 \div 65\%$  для  $M = N = 1$ ,  $33\%$  для  $M = 3$ ,  $N = 5$  при  $\beta = 0,6$  и  $16\%$  для  $M = 5$ ,  $N = 9$ ,  $\beta = 0,4$  от соответствующей первой полосы E-типа регулярной структуры.

Методы сдвига несимметричных колебаний в регулярной структуре известны (например, работа<sup>/15/</sup>). Аналогичные приемы можно использовать и для КУС. Кроме того, следует попытаться вывести полосы пропускания КУС из полосы РС, изменяя геометрию устройства, не очень ухудшая при этом характеристики КУС для симметричных колебаний. В таком случае несимметричные колебания РС будут заперты в секциях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены характеристики коаксиальных устройств связи. Исследованы частотные и энергетические характеристики КУС, а также спектры частот резонаторов с различными КУС.

Показано, что спектр частот резонатора в окрестности рабочего колебания практически не отличается от спектра регулярной структуры с равным числом шайб. Следовательно, КУС позволяет сохранить в резонаторе основное преимущество структуры с шайбами и диафрагмами – высокую стабильность распределения ускоряющего поля. В этом главное достоинство КУС по сравнению с другими мостовыми устройствами.

Как с точки зрения спектральных, так и энергетических характеристик необходимо выбирать устройство с минимально возможным числом периодов. При этом потери ВЧ мощности в КУС незначительны. Однако КУС обеспечивает связь секций и на несимметричных колебаниях – это недостаток устройства. Таким образом, КУС является перспективным элементом ускоряющей системы, использующей структуру с проводящими шайбами и диафрагмами. Для устранения недостатка КУС – наличия в нем несимметричных мод в окрестности рабочего колебания – необходимы дальнейшие исследования.

Авторы благодарят В.Г.Андреева, Л.В.Кравчука и В.Л.Серова за оказанное содействие в работе и плодотворные обсуждения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Мурин Б.П. Линейные ускорители ионов.-М.: Атомиздат, 1978, т. 2.
2. Андреев В.Г. - ЖТФ, 1971, 41, с. 788.
3. Андреев В.Г., Белугин В.М., Парамонов В.В. - В сб.: Труды Радиотехн. ин-та АН СССР, 1974, № 20, с. 47.
4. Андреев В.Г. и др. - В сб.: Труды Радиотехн. ин-та АН СССР, 1975, № 25, с. 141.
5. Schriber S.O. Room-Temperature Cavities for High-Beta Accelerating Structures. - In: Proc. of the Conf. on Future Poss. for Electron Accel., Virginia, 1979.
6. IASL Report. Accelerator Technology Program. LA-8592, Los-Alamos, 1980.
7. Potter J.M., Schriber S.O., Humphry F.J. - IEEE Trans. Nucl. Sci., 1979, NS-26, p. 3763.
8. Абрамов А.Г. и др. - Препринт ИФВЭ 83-3, Серпухов, 1983.
9. Дайковский А.Г., Португалов Ю.И., Рябов А.Д.-Препринт ИФВЭ 80-107, Серпухов, 1980; - Part. Accel., 1982, 12, p. 59.
10. Парамонов В.В. - Препринт ИЯИ АН СССР П-135, Москва, 1979.
11. Андреев В.Г. и др. - В сб.:Труды Радиотехн. ин-та АН СССР, 1978, № 13.
12. Андреев В.Г. и др. - Препринт ИЯИ АН СССР П-229, Москва, 1982.
13. Парамонов В.В. - Препринт ИЯИ АН СССР, П-236, Москва, 1982.
14. Andreev V.G. et al. NIM, 1983, 204, p. 285.
15. Андреев В.Г. и др. - Аннотации докладов VIII Всесоюзн. совещ. по уск. зар. частиц. - Серпухов: ИФВЭ, 1982, с. 17.

Рукопись поступила в издательскую группу  
7 июля 1983 года.

Цена 19 коп.

Индекс 3624

А.Г.Дайковский и др.

Исследование коаксиальных устройств для связи секций ускоряющей структуры с шайбами и диафрагмами.

Редактор Н.В.Ежела. Технический редактор Л.П.Тимкина.  
Корректор М.И.Онегина.

---

Подписано к печати 22.07.83. Т-15684. Формат 70x100/16.  
Офсетная печать. Индекс 3624. Цена 19 коп.  
Заказ 2944. 1,27 уч.-изд.л. Тираж 250.

---

Институт физики высоких энергий, 142284, Серпухов  
Московской обл.