

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Базовая кафедра
“Основы проектирования приборов СВЧ”

Разработка сверхширокополосной ЛБВ с рабочей полосой частот 100%

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 421 группы

Направления 03.03.03 Радиофизика

Факультета нелинейных процессов

Тишкевича Павла Геннадиевича

Научный руководитель:

Доцент к. ф.-м.н. _____ В.И. Роговин

Заведующий кафедрой:

д.э.н., к.ф.-м.н., профессор _____ Н.А. Бушуев

Саратов 2018

Содержание

1. Введение.....	3
2. Обзор литературы.....	4
3. Описание конструкции рассчитанной ЛБВ.....	5
4. Описание программы расчета электродинамических характеристик.....	6
5. Таблица расчета сопротивления связи, замедления и затухания.....	6
6. Описание и расчет одномерной модели ЛБВ.....	7
7. Описание и расчет двумерной дисково-кольцевой модели ЛБВ.....	10
8. Сравнение выходных мощностей рассчитанных и реальных ЛБВ.....	12
9. Выводы.....	12
10. Список литературы.....	13

Введение

Одним из актуальных вопросов современной радиотехники остается создание широкополосных ЛБВ с аномальной или комбинированной дисперсией с целью обеспечения работы в 1,5-октавных и более широких рабочих диапазонах частот. Как известно, полоса усиления ЛБВ ограничивается следующими основными факторами: рабочим диапазоном частот устройств ввода и вывода усиливаемого сигнала, неодинаковой эффективностью взаимодействия пучка с полем волны на различных частотах и зависимостью фазовой скорости волны в замедляющей системе от частоты – дисперсией, приводящей к нарушению условия фазового синхронизма. В значительной степени полоса определяется наклоном дисперсионной характеристики спиральной замедляющей системы (СЗС): чем меньше наклон, тем большая полоса может быть получена без изменения скорости электронов, т.е. без перестройки режима. Различают нормальную дисперсию, при которой фазовая скорость уменьшается с ростом частоты, и аномальную – при которой она увеличивается. СЗС классической конструкции обычно имеют нормальную дисперсию в рабочей полосе частот, однако они не позволяют получить близкую к нулевой в широкой полосе частот или аномальную дисперсию, необходимую для создания сверхширокополосных ЛБВ. Поэтому появились другие конструкции СЗС, которые характеризуются азимутальной неоднородностью экрана: на отдельных участках вводятся металлические нагружающие ребра. В результате удалось обеспечить малую, в том числе аномальную, дисперсию и повысить теплопередачу от спирали к экрану. По мере увеличения числа ребер, неравномерность частотной характеристики уменьшается, но падает усиление, что, очевидно, вызвано уменьшением сопротивления связи. Реализовать возможность расширения полосы частот до двух октав и более можно, применяя слабую аномальную дисперсию. Данная ВКР преследует следующие цели:

- Расчет электродинамических характеристик (замедление, затухание, сопротивление связи) спиральной ЛБВ;

- Расчет выходных характеристик ЛБВ по программам, использующим одномерную и двумерную дисково-кольцевую модель;

- Экспериментальное исследование характеристик ЛБВ;

- Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных с целью нахождения их аналогии и различий.

ВКР разделена на следующие главы:

- Обзор Литературы
- Описание конструкции рассчитанной ЛБВ
- Описание программы расчета электродинамических характеристик
- Описание одномерного нелинейного метода расчета ЛБВ
- Описание двумерной дисково-кольцевой модели расчета ЛБВ
- Расчет электродинамических характеристик
- Расчет выходных характеристик
- Одномерный расчет ЛБВ
- Двумерный дисково-кольцевой расчет ЛБВ
- Экспериментальное исследование выходных характеристик и сопоставление с результатами расчетов
- Выводы

Описание конструкции рассчитанной ЛБВ

В данной работе объектом исследований является сверхширокополосная лампа бегущей волны С, Х диапазонов. Полоса частот достаточно широка и составляет 100%. Необходимо выбрать конструкцию пространства взаимодействия для данной ЛБВ. Диаметр пролетного канала был выбран 2,2 см. Спираль изготовлена из молибдена с сечением 0,25х0,6 см. Экран изготовлен из материала 36НХТЮ диаметром 5,92 см. Спираль закреплена при помощи трех прямоугольных стержней сечением 0,6х0,9 см. Для данной ЛБВ была выбрана аномальная дисперсионная характеристика. Она реализуется благодаря закреплению стержней в металлических ребрах с П-образным профилем. На Рис.2. представлено сечение СЗС с дополнительно введенными металлическими вставками.

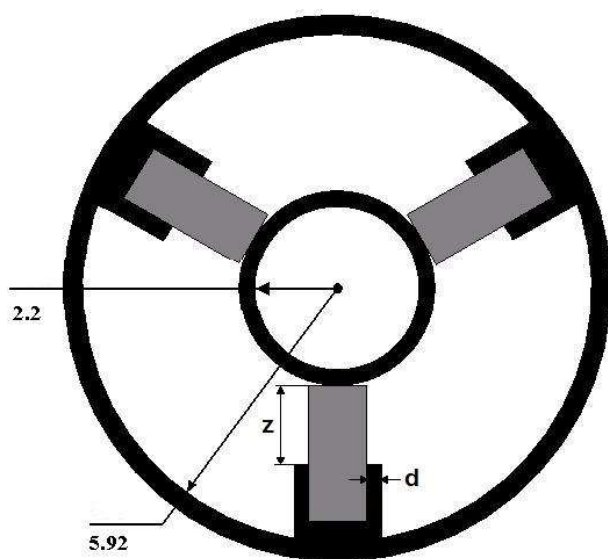


Рис.2. Поперечное сечение СЗС рассчитываемой ЛБВ.

Описание программы расчета электродинамических характеристик

В данной работе расчет проводился по программе HFSS. Расчет узла можно разделить на 3 этапа:

- 1) Создание модели узла;
- 2) Задание условий счета;
- 3) Обработка полученных данных.

На первом этапе необходимо нарисовать рассчитываемую модель с помощью графических возможностей программы. Необходимо выдержать все геометрические размеры конструкции и соотношения между ними.

На втором этапе необходимо задать условия счета, т.е. необходимо определить материал, из которого изготовлен тот или иной компонент узла. Далее необходимо задать две поверхности по торцевым плоскостям узла – систему координат.

На третьем этапе необходимо обработать выходные данные программы, которыми являются действительная и мнимая части частоты системы, данные об электрических и магнитных полях, рассчитать коэффициенты замедления, затухание, сопротивление связи.

Таблицы расчета сопротивления связи, замедления и затухания

f/f_0	0,5	1	1,5
	$R_{св}, \text{Ом}$	$R_{св}, \text{Ом}$	$R_{св}, \text{Ом}$
$h=1,37; g=0,4$	57,357	23,835	7,667
$h=1,44; g=0,2$	42,567	17,757	6,28
$h=1,37; g=0,2$	44,168	17,428	5,491

f/f_0	0,5	1	1,5
	n	n	n
$h=1,37;g=0,4$	6,711	6,587	6,538
$h=1,44;g=0,2$	7,064	6,739	6,575
$h=1,37;g=0,2$	7,407	7,04	6,845

f/f_0	0,5	1	1,5
	α	α	α
$h=1,37;g=0,4$	0,112	0,185	0,227
$h=1,44;g=0,2$	0,107	0,169	0,224
$h=1,37;g=0,2$	0,112	0,181	0,243

Где: $R_{св}$, Ом - сопротивление связи, n – замедление, α – затухание

Описание и расчет одномерной модели ЛБВ

Программа предназначена для расчета выходных характеристик ЛБВ с СЗС в полосе усиливаемых частот. Решается система интегро-дифференциальных уравнений в частных производных, состоящая из уравнения возбуждения замедляющей системы сторонними токами, уравнения движения заряженных частиц и уравнения для расчета гармоник тока. Рассматривается одномерная модель, обратное движение электронов отсутствует, электромагнитное поле характеризуется одной волной с фазовой

скоростью, близкой к скорости электронов. СЗС идеально согласована – отражение волны отсутствует.

В результате расчета различных вариантов конструкций получена размерная схема пространства взаимодействия, после которой следуют графики расчета характеристик СЗС (Параметр несинхронности($B1$),разность фаз(DF),гармоника ВЧ тока ($I1$),электронный КПД(EFF))на частоте

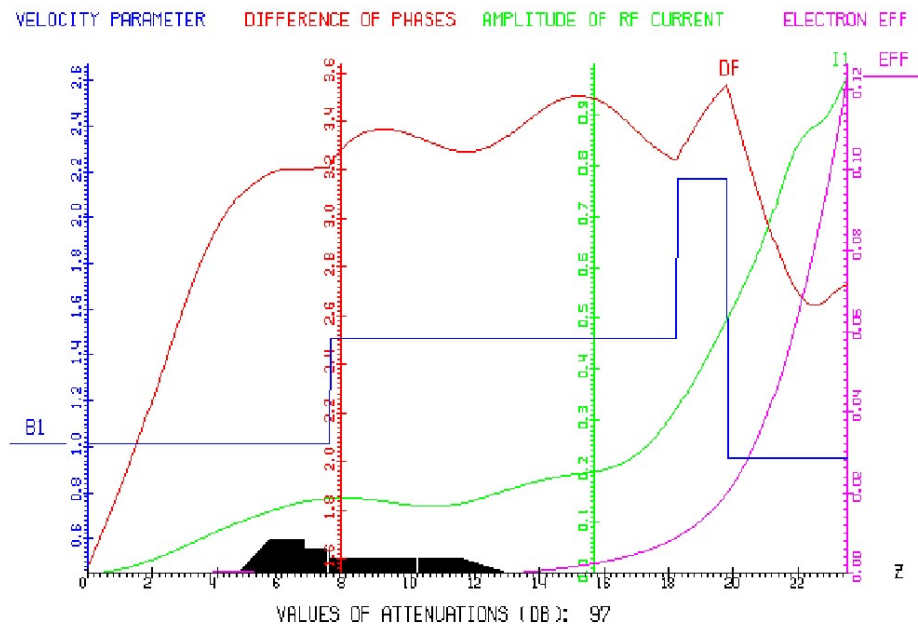
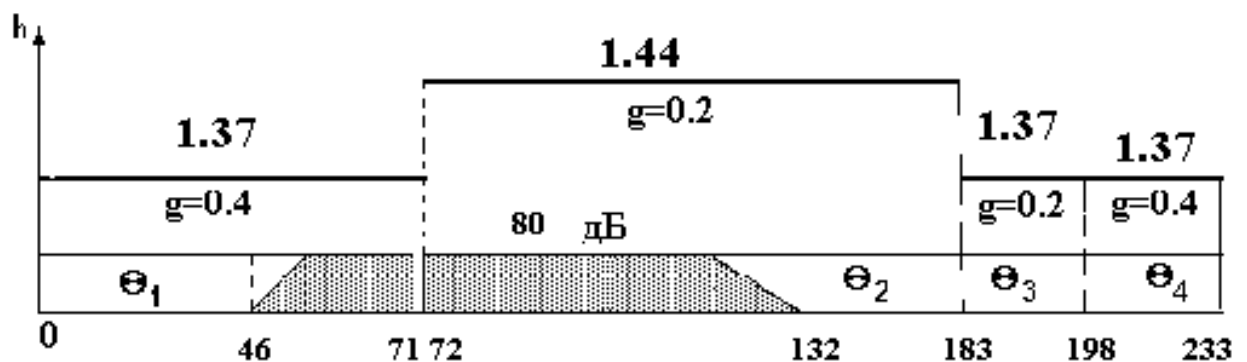


FIG. VALUES $B1$, DF , $I1$, EFF AS FUNCTION OF z

Рис.6.(Параметр несинхронности($B1$),разность фаз(DF),гармоника ВЧ тока ($I1$),электронный КПД(EFF))на частоте $0.5 f_0$.

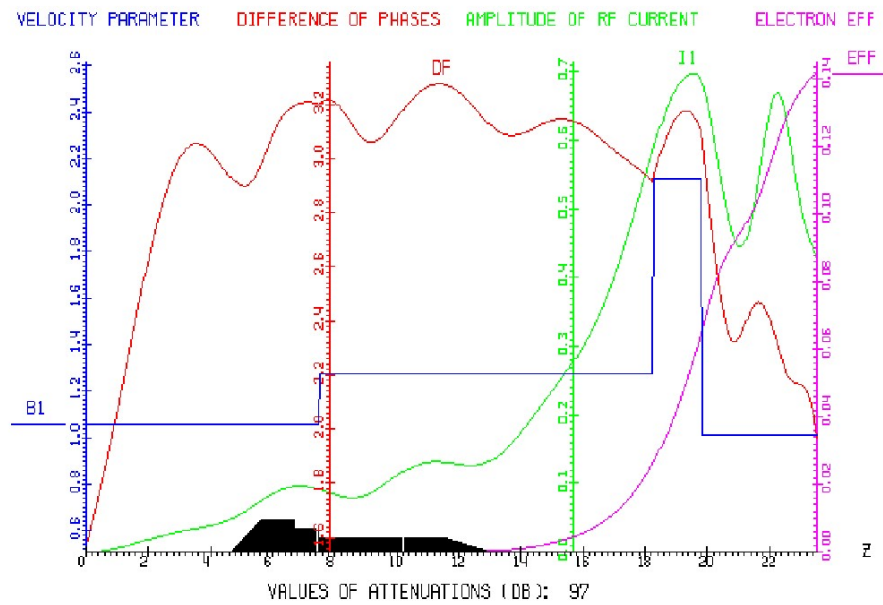


FIG. VALUES B1,DF,I1,EFF AS FUNCTION OF Z

Рис.7.(Параметр несинхронности($B1$),разность фаз(DF),гармоника ВЧ тока ($I1$),электронный КПД(EFF))на частоте f_0 .

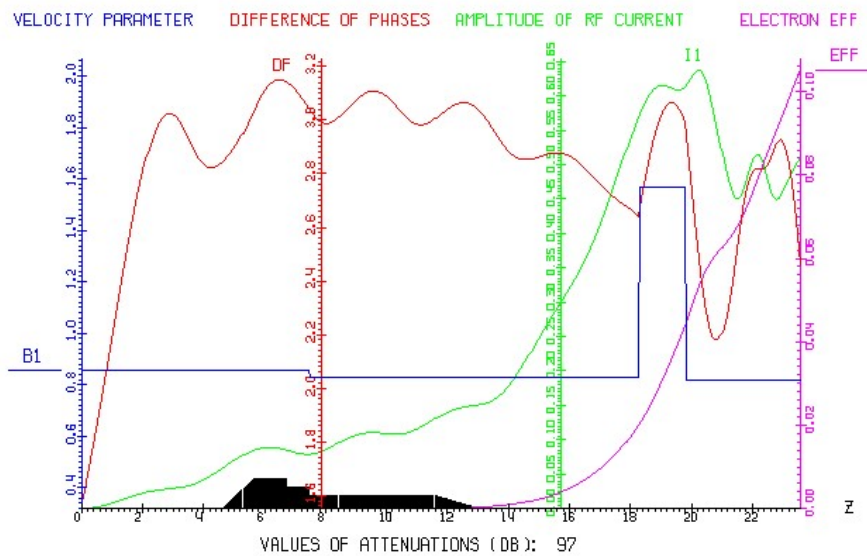


FIG. VALUES B1,DF,I1,EFF AS FUNCTION OF Z

Рис.8.(Параметр несинхронности($B1$),разность фаз(DF),гармоника ВЧ тока ($I1$),электронный КПД(EFF))на частоте $1.5 f_0$.

В результате расчетов получена оптимальная конструкция(подобраны значения шагов, длин и зазора) обеспечивающая на длинной волне электронный КПД равный 12,33%, на средней – 14,7%, на короткой 11,33%

Описание и расчет двумерной дисково-кольцевой модели расчета ЛБВ

Для уточнения результатов расчета определение влияния диаметра пучка на характеристики ЛБВ и определение динамической расфокусировки электронного потока на выходе ЛБВ проведены расчеты выходных характеристик по 2D программе, использующую дисково-кольцевую модель пучка.

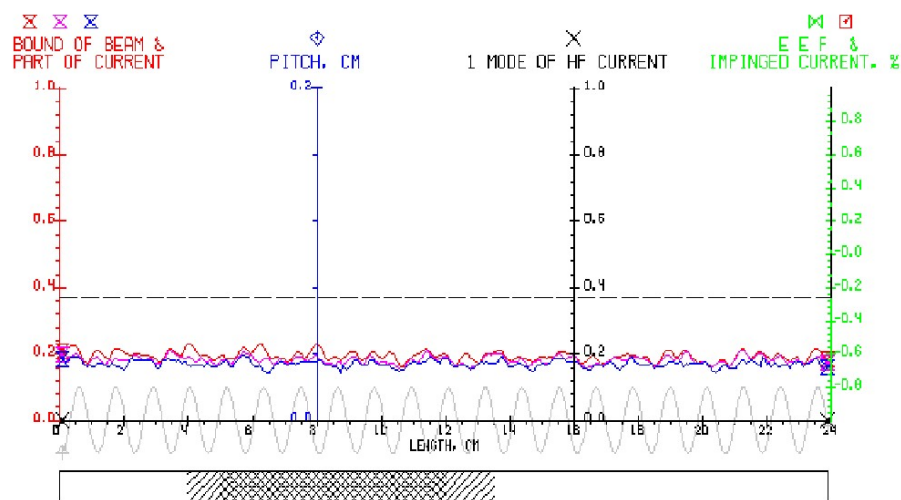


Рис.12.Статический режим.

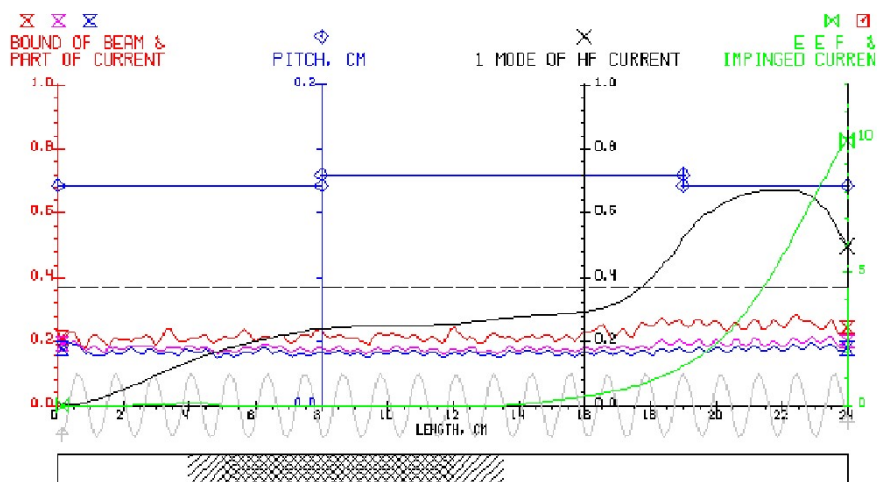


Рис.13.Двумерный расчет ЛБВ на частоте $0,5f_0$.

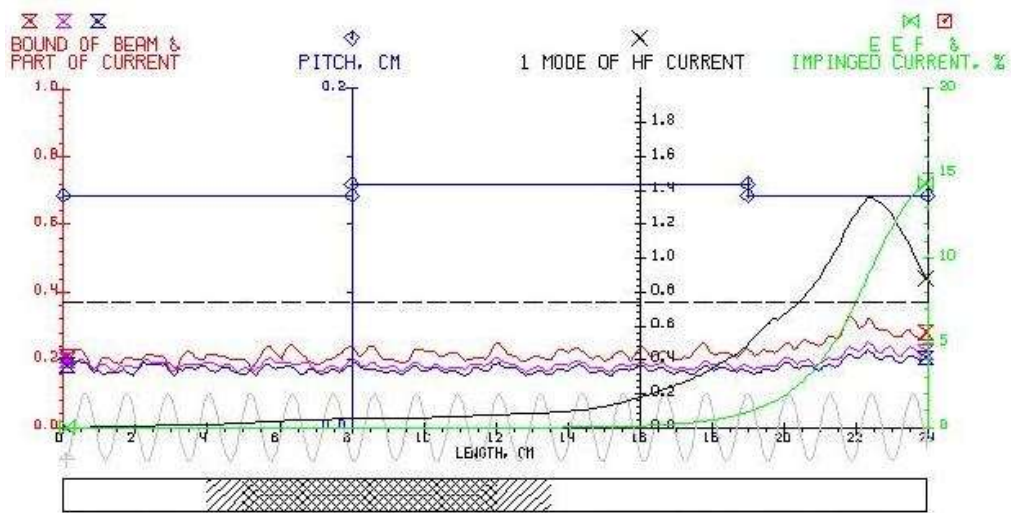


Рис.14. Двумерный расчет ЛБВ на частоте f_0 .

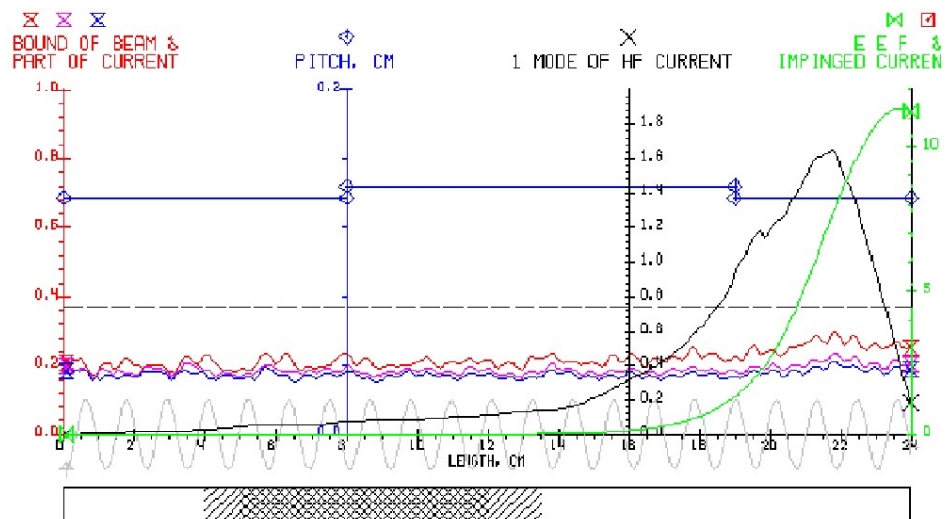


Рис.15. Двумерный расчет ЛБВ на частоте $1.5 f_0$.

На длинной волне электронный КПД равен 10%, на средней – 14% и на короткой волне – 13%. Токооседания на ЗС нет.

Сравнение выходных мощностей рассчитанных и реальных(№65, №35, №2) ЛБВ

	$0,5f_0$	f_0	$1,5f_0$
Одномерная	190	214	168
№65	168	198	172
№35	168	226	163
№2	170	215	160

	$0,5f_0$	f_0	$1,5f_0$
Двум. Диск.-кольц.	165	231	214
№65	168	198	172
№35	168	226	163
№2	170	215	160

Выводы

В ходе работы была выбрана оптимальная конструкция сверхширокополосной ЛБВ С,Х диапазонов с аномальной дисперсией. Аномальная дисперсия реализована с помощью использования специальных металлических вставок. Были рассчитаны электродинамические характеристики спиральных замедляющих систем. Для увеличения КПД использован скачок величины зазора между спиралью и специальными металлическими вставками вблизи выхода ЗС, который создает скачок дисперсии. Проведено сопоставление экспериментальных и расчетных данных. Получено достаточное для практики совпадение расчетных и экспериментальных данных не превышающее 13%.

Список литературы

1. Пензяков В.В., Финкельштейн Ю.Х. «Расчёт характеристик замедляющей системы типа спираль в профилированном экране методом интегральных уравнений». // Электронная техника, Сер1, Электроника СВЧ. – 1984 – Вып.8. – С.29-32.
2. Данилов А.Б., Ильина Е.М., Пензяков В.В. и др. «Особенности проектирования широкополосных ламп бегущей волны с аномальной дисперсией и экспериментальные результаты». // Радиолокация, навигация, связь. Воронеж, 25-27 апр. 2000. – Изд-во Воронежского НИИ связи, 2000. – Т.3. – с.2022-2029.
3. Bevensee R.M. «Electromagnetic Slow Wave Systems». John Wiley and Sons. – N.4., 1964 – 457p.
4. Chiao-Min Chu. «Propagation of Waves in Helical Wave Guides», Appl. Phys. 1958. Vol. 29. N.1. pp.88-99.
5. Филатов В.А. «Программа расчета в режиме диалога выходных характеристик, технического КПД и анализа устойчивости к самовозбуждению неоднородных спиральных ЛБВ». Электронная техника, Сер1, Электроника СВЧ. – 1990 - -Вып.3(427) – С.73-74.
6. Морев С.П., Филатов В.А. «Расчет фокусировки пучка с учетом влияния поперечных скоростей электронов на основе двумерной дисковой модели в области взаимодействия лампы бегущей волны». Радиотехника и электроника, 2002, том 47, №4, с.498 – 502.
7. Манькин И.А., Кац А.М. «Некоторые вопросы двумерной теории лучевых приборов О-типа». Электронная техника, серия 1, Электроника СВЧ, 1966, вып. 11 с. 48-59.
8. Рапопорт Г.Н. «Возбуждение волновода электронным пучком с периодически изменяющимися траекториями». Радиотехника и электроника, 1960, т. 5, № 4, с. 649.
9. Лазерсон А.Г., Манькин И.А., Школьников В.Г. «Влияние погрешностей изготовления спиральной замедляющей системы на взаимодействие пучка с волной в ЛБВО». Электронная техника, серия 1, Электроника СВЧ, 1974, вып. 4, с. 46-53.

10. *Кац А.М., Ильина Е.М., Манькин И.А.* «Нелинейные явления в СВЧ-приборах О-типа с длительным взаимодействием». М., Советское радио, 1975.
11. *Singer B., Braun M.* «Integral Equation Method for Computer Evaluation of Electron Optics»// IEEE Trans., ED-17. – 1970. – No. 10. – P. 926-934.