

Харьковский государственный университет

На правах рукописи



Серебрянников Андрей Эмильевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
МАГНЕТРОНОВ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА**

01.04.03 - радиофизика

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук**

Харьков - 1996





АВ 35.007

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Радиоастрономическом институте
Национальной академии наук Украины

Научный руководитель - доктор физико-математических наук,
профессор Ваврив Дмитрий Михайлович

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук,
профессор ХГУ Жук Николай Петрович,
доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник ИРЭ НАН Украины
Носич Александр Иосифович

Ведущая организация - Харьковский технический университет
радиоэлектроники Министерства образования
Украины

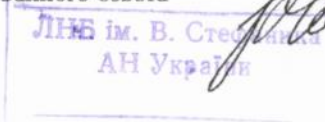
Защита состоится "20" июня 1996г. в 16 час. ___ мин. на заседании
специализированного совета Д02.02.07 Харьковского государ-
ственного университета (310077, Харьков, пл.Свободы 4, ауд. 3-9)

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке Харьковского государственного университета.

Автореферат разослан "14" мая 1996г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Чеботарев В.И.



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Активное освоение диапазонов миллиметровых и субмиллиметровых волн является определяющим фактором на современном этапе развития электронных приборов СВЧ. Одной из актуальных задач в этом направлении является создание высокоэффективных источников излучения. К числу наиболее перспективных генераторов колебаний в этом диапазоне длин волн относятся магнетроны. Наряду с традиционными областями применения магнетронов миллиметровых волн, каковыми являются ближняя и дальняя радиолокация, перспективными представляются работы по созданию на их основе устройств СВЧ-терапии, систем мониторинга окружающей среды, имитаторов импульсных электромагнитных помех, предназначенных для проведения исследований в области электромагнитной стойкости радиоэлектронных систем.

Выходные характеристики магнетронов в значительной степени определяются резонансными характеристиками используемых колебательных систем. Существует несколько принципиально различных путей снижения потерь в волноводах и резонаторах СВЧ. Во-первых, следует отметить меры технологического характера, связанные с применением специальных покрытий и шлифовки. Во-вторых, радикальное снижение потерь возможно благодаря использованию низкотемпературных физических эффектов, включая эффект сверхпроводимости. Наконец, третий путь предполагает оптимизацию геометрии колебательной системы и рационализацию выбора рабочего вида колебаний. Последний путь снижения потерь является наиболее предпочтительным для магнетронов миллиметрового диапазона, поскольку наилучшим

образом позволяет удовлетворить комплекс требований по технологичности, себестоимости и т.д. Эти и другие причины способствовали также тому, что в качестве колебательных систем магнетронов (КСМ) в миллиметровом диапазоне наиболее широкое применение нашли равнорезонаторные системы без связей.

Минимизация потерь является не единственным требованием, предъявляемым к магнетронам миллиметрового диапазона. Чтобы ответить на вопрос, какая геометрия и какой вид колебаний являются оптимальными с точки зрения предъявляемых к конкретному магнетрону требований, необходимо детально исследовать зависимость основных характеристик колебательной системы, таких как спектр собственных частот, амплитудный спектр, собственная и внешняя добротности от геометрических параметров колебательной системы. Для анализа электронно-волновых эффектов необходимо знать распределение поля в пространстве взаимодействия. Ключевой задачей в связи с этим является задача о собственных колебаниях КСМ.

Несмотря на значительный прогресс в области вычислительной электродинамики, строгие полевые методы до настоящего времени практически не использовались при анализе азимутально-периодических резонансных структур. Для практических вычислений собственных частот использовались только приближенные дисперсионные уравнения, оценки границ применимости которых отсутствуют. Остаются нерешенными и многие практически важные задачи. Так, например, не исследовано влияние геометрических параметров КСМ на комплексный спектр собственных частот, на нагруженные характеристики КСМ. Все это влечет за собой необходимость дальнейшей разработки адекватных математической и физической моделей и высокоэффективных

вычислительных процедур, реализация которых обеспечила бы быстрый компьютерный анализ КСМ.

Цель работы - проведение теоретических исследований электродинамических характеристик равнорезонаторных колебательных систем без связей, сравнительный анализ таких колебательных систем, определение оптимальных режимов колебаний.

Методы исследований основаны на использовании классического спектрального подхода к решению задач электродинамики. В общем случае решения получены с помощью численных методов. Для некоторых предельных случаев использовались приближенные методы.

Научная новизна и практическая ценность работы заключается в том, что на основе развитого в ней математического аппарата и разработанного программного обеспечения получены новые результаты по определению влияния геометрических параметров и вида колебаний на основные электродинамические характеристики КСМ в диапазоне $k\rho_a \leq 8.0$ (ρ_a - внутренний радиус анодного блока; $k = \omega/c$). В настоящей работе сформулирована задача о собственных колебаниях КСМ, детально исследовано взаимное влияние гармоник в пространстве взаимодействия и в резонаторах анодного блока, получены оценки границ применимости приближенных моделей, наиболее часто используемых при практических расчетах. Для некоторых предельных случаев, таких как случай малой глубины резонаторов, малого радиуса катода и некоторых других, получены новые аналитические и численно-аналитические решения. Предложены формулы для расчета собственной и внешней добротностей, пригодные для сравнительного анализа колебательных систем и различных видов

колебаний в них, указаны границы их применимости для практических вычислений. Проведены детальные исследования комплексных спектров собственных частот для КСМ с потерями в стенках и нагруженных КСМ. Выявлены общие закономерности расположения собственных частот на комплексной плоскости, проанализировано влияние геометрии на внешнюю добротность. Продемонстрирована возможность оптимизации колебательной системы по одному из критериев качества. Разработано программное обеспечение, пригодное для проведения широкомасштабного вычислительного эксперимента.

Результаты диссертации использовались при разработке магнетронов миллиметрового диапазона в Радиоастрономическом институте НАН Украины.

Основные научные положения, выносимые на защиту.

1. Разработка математической и физической моделей для изучения колебательных систем магнетронов миллиметрового диапазона.
2. Анализ границ применимости приближенных методов расчета спектров собственных частот.
3. Результаты расчетов и закономерности поведения комплексных собственных частот в зависимости от геометрических параметров колебательной системы.
4. Эффект аномального увеличения добротности колебательных систем магнетронов.

Обоснованность и достоверность полученных теоретических результатов определяется адекватностью используемой модели КСМ реальным колебательным системам, применением строгих математических методов электродинамики, совпадением теоретических и экспериментальных результатов. Полученные результаты поддаются наглядной физической интерпретации.

Апробация работы и публикации. По теме диссертации опубликовано шесть научных работ [1-6]. Результаты, изложенные в диссертации, получили апробацию на следующих конференциях и симпозиумах: International Conference on Millimeter and Submillimeter Waves and Applications, San Diego, California, USA, 10-14 January 1994; URSI Radio Science Meeting, Seattle, USA, 19-24 June, 1994; Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS'94, Noordwijk, The Netherlands, 11-15 July, 1994; IEEE PELS Workshop on Computers in Power Electronics, Trois-Rivieres, Quebec, Canada, 7-10 August, 1994; IEEE AP-S International Symposium on Antennas and Propagation, Newport Beach, California, USA, 18-23 June, 1995; The Third International Congress on Industrial and Applied Mathematics, Hamburg, Germany, 3-7 July, 1995; Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS'95, Seattle, USA, 24-28 July, 1995; The 20th International Conference on Infrared and Millimeter Waves, Orlando, USA, 11-14 December, 1995.

Личный вклад диссертанта заключается в решении поставленных задач, проведении аналитических и численных исследований и анализе полученных результатов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и трех приложений. Она содержит 153 страницы машинописного текста, 25 рисунков, 1 таблицу и 73 библиографические ссылки.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, приведены основные научные положения, выносимые на защиту, кратко изложено содержание диссертации.

В первой главе сформулирована задача о собственных колебаниях равнорезонаторной КСМ, выполненной в виде отрезка магнетронного волновода с идеально магнитными торцевыми стенками. Предполагалось, что стенки колебательной системы совпадают с координатными поверхностями цилиндрической системы координат. В этом случае исходная краевая задача с помощью метода частичных областей сводится к бесконечной системе линейных алгебраических уравнений (БЛАУ) второго рода

$$(I + B(\omega))A = 0,$$

которая является обобщенным вариантом аналогичной системы уравнений, полученной Ю.А.Прокопчуком и В.Г.Сологубом для ТЕ-колебаний магнетронного волновода. Матричные элементы B_{nm} выражаются через тригонометрические и цилиндрические функции. Исследовано взаимное влияние пространственных гармоник в сопряженных частичных областях. Показано, что степень их взаимного влияния определяется в основном двумя факторами: степенью несовпадения фазовых скоростей на границе частичных областей и величиной набега фазы соответствующей пространственной гармоники пространства взаимодействия на раскрыве резонатора. Конкретизированы выражения для расчета собственной и внешней добротностей КСМ. В рамках приближения нулевой гармоники показана необходимость коррекции результатов расчета внешней добротности для двукратно вырожденных видов колебаний ($q=1,2,\dots,N/2-1$). Обсуждаются вопросы, касающиеся корректности использования метода редукции при решении БЛАУ. Проанализированы возможности использования метода возмущений при учете потерь.

Во второй главе на основе сравнительного анализа численных результатов оценены границы применимости приближенных дисперсионных уравнений, наиболее часто используемых при расчетах собственных частот для аксиально-однородных ТЕ-колебаний. В частности, показано, что погрешность учета гармоник высших типов в резонаторах анодного блока (комбинированная модель) при вычислении собственных частот для первых резонансов азимутально-неоднородных колебаний не превосходит 1%, если $\rho_c/\rho_a < 0.6$, $\rho_r/\rho_a > 1.5$, $\nu < 0.4$, $N \geq 16$ (ρ_c , ρ_r - радиус катода и внешний радиус анодного блока; ν , N - суммарный раскрыв и число резонаторов). Для вида колебаний $q=N/4$ это условие выполняется вплоть до $\nu=0.7$. При этом наибольшее влияние на погрешность оказывают параметры ν и ρ_c/ρ_a . Определены закономерности изменения собственных частот в зависимости от числа пространственных гармоник, учитываемых в пространстве взаимодействия и в резонаторах анодного блока. Аналитические оценки, полученные для низших собственных частот, показали, что учет минус первой гармоники в пространстве взаимодействия приводит к их смещению в область меньших значений, тем более сильному, чем хуже выполняется условие частопериодической структуры. Учет первой гармоники в резонаторах приводит к смещению низших собственных частот в область больших значений, тем более сильному, чем больше набег фазы нулевой гармоники пространства взаимодействия на раскрыве резонатора. Для интерпретации полученных результатов используется метод эквивалентного импеданса. Численные результаты показывают, что эти же закономерности имеют место и при добавлении в дисперсионное уравнение каждой следующей из гармоник высших типов по крайней мере при $k\rho_a \leq 8.0$. Из

результатов численного моделирования следует также, что неучет гармоник высших типов в пространстве взаимодействия при вычислении собственных частот и добротности в ряде случаев компенсируется неучетом гармоник высших типов в резонаторах. Для комбинированной модели существует оптимальное число гармоник в пространстве взаимодействия, при котором реализуется наивысшая точность вычислений. Для полевой модели при фиксированном числе гармоник в пространстве взаимодействия также имеется оптимальное число гармоник в резонаторах. При этом, если в дисперсионном уравнении учитываются только те гармоники пространства взаимодействия, для которых $\max|s| \leq |s_0|$ (s - азимутальный индекс), то в резонаторах необходимо учесть $n = Rd(2\nu N^{-1}|s_0|)$ гармоник, кроме нулевой ($Rd(x)$ -функция ближайшего целого). Численные результаты указывают на возможность использования приближения нулевой гармоники для практических вычислений собственных частот. Максимальные значения погрешности имеют место при $q=N/2-1$ и не превосходят 6% по крайней мере при $0.3 \leq \nu \leq 0.9$ и $0 \leq \rho_c / \rho_a \leq 0.5$.

Анализ асимптотического поведения функций, входящих в дисперсионное уравнение, позволил оценить (в приближении нулевой гармоники) границы диапазона локализации собственных частот, соответствующих первым корням. Существуют такие интервалы изменения параметров КСМ, для которых границы диапазона локализации корней определяются только глубиной резонаторов. Например, при $\rho_r / \rho_a < 1.42$ и $q=1$ первый корень дисперсионного уравнения ТЕ-колебаний КСМ не превосходит первого корня дисперсионного уравнения ТМ-колебаний коаксиала ($\rho_r - \rho_a = 0$) для соответствующего значения азимутального индекса. В приближении нулевой гармоники получены выражения в

замкнутой форме для расчета собственной добротности и аналитические выражения для внешней добротности. Исследованы возможности их применения для практических вычислений.

Если один из параметров $d = (\rho_r - \rho_a) / \rho_a$, $k\rho_c$, ν мал, то дисперсионное уравнение в приближении нулевой гармоники представимо в виде

$$F_1(\omega) - \mu F_2(\omega) = 0, \quad |\mu| \ll 1,$$

а его решение находят численно-аналитическим методом. При этом нулевое приближение собственной частоты находят из решения уравнения $F_1(\omega) = 0$, которое совпадает с дисперсионным уравнением коаксиала, если $d \ll 1$ или $\nu \ll 1$. Если малыми являются одновременно $k\rho_c$ и один из параметров ν , d , то нули функции $F_1(\omega)$ оцениваются аналитически. В общем случае решение дисперсионного уравнения производится численно методом дихотомии. Описаны алгоритмы, позволяющие проводить быстрый компьютерный анализ основных электродинамических характеристик КСМ в широком диапазоне изменения геометрических параметров. При построении алгоритмов и вычислительных процедур учтены порядок следования собственных частот в зависимости от азимутального индекса и характер влияния пространственных гармоник высших типов.

В третьей главе изложены результаты исследований влияния геометрических параметров на комплексные спектры собственных частот аксиально-однородных ТЕ-колебаний для КСМ с потерями в стенках и нагруженных КСМ в диапазоне $k\rho_a \leq 8.0$. Для демонстрации влияния геометрии КСМ на спектр собственных частот используется комплексная плоскость. Отправной точкой исследований служат результаты, полученные Г.Я.Слепяном, Е.И.Нефедовым и рядом других авторов для колебательных систем,

которые представляют собой предельные случаи КСМ, в частности, для азимутально-периодического волновода с бесконечно тонкими ламелями и для коаксиала. Приведены примеры радиального распределения поля нулевой гармоники пространства взаимодействия, типичные для первых трех корней дисперсионного уравнения. Для низших собственных частот поле в пространстве взаимодействия в большинстве случаев является медленным аналогом волн шепчущей галереи. Исследовано влияние на распределение поля парциальных полей пространственных гармоник высших типов. Установлено, что для первых трех корней дисперсионного уравнения поле в пространстве взаимодействия определяется главным образом полем нулевой гармоники. В приближении нулевой гармоники с помощью метода малого параметра получены аналитические оценки, позволяющие определить характер влияния числа резонаторов, радиальных параметров колебательной системы и раскрыва резонаторов на действительные части собственных частот. Показано, что в большинстве практических случаев увеличение числа резонаторов для первых корней дисперсионного уравнения приводит к смещению собственных частот в область больших значений. Малые приращения значений параметров ρ_c/ρ_a и ρ_r/ρ_a приводят к смещению собственных частот в область меньших значений. Малые приращения ν могут вызвать смещение собственных частот как в область меньших, так и больших значений. С помощью теории возмущений полых систем дана физическая интерпретация этих закономерностей. Выражения, полученные в Главе 2 в приближении нулевой гармоники, позволили предсказать основные тенденции изменения собственной и внешней добротностей в зависимости от геометрических параметров КСМ и

сформулировать условия, при которых внешняя добротность в пределах группы резонансов максимальна (минимальна). Изучены возможности увеличения добротности, улучшения разрежения спектра собственных частот. Показана возможность существования в КСМ режимов колебаний, характеризующихся аномально высокими значениями нагруженной добротности. Численные результаты, полученные с помощью оригинального программного обеспечения, послужили основой для детального анализа влияния каждого из геометрических параметров и числа резонаторов на действительные и мнимые части собственных частот КСМ с потерями в стенках и нагруженных КСМ. Результаты численного моделирования в основном подтверждают результаты качественного анализа, проведенного в рамках приближения нулевой гармоники. Они позволили выявить и проанализировать ряд особенностей, присущих спектру собственных частот, как, например, отсутствие явного влияния раскрыва резонаторов на мнимые части собственных частот нагруженной КСМ в случае колебаний с большим числом азимутальных вариаций поля. Исследовано влияние геометрии и вида колебаний на некоторые критерии качества КСМ. Отмечено хорошее совпадение известных экспериментальных данных и результатов расчета для низших собственных частот, что подтверждает корректность используемых физической и математической моделей.

В заключении диссертационной работы содержатся основные выводы, обобщающие результаты численного эксперимента и аналитических исследований. Очерчен круг задач, перспективных для дальнейших исследований и представляющихся важными для дальнейшего развития магнетронов миллиметрового диапазона.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

В настоящей работе проведено теоретическое исследование колебательных систем магнетронов миллиметрового диапазона длин волн, выполненных в виде отрезка магнетронного волновода с идеально магнитными торцевыми стенками.

На основе анализа результатов численного моделирования получены количественные оценки границ применимости приближенных методов расчета спектра собственных частот, основанных на использовании приближения нулевой гармоники и метода малого параметра.

Приближенные решения, полученные для собственных частот, собственной и внешней добротностей, позволили определить основные закономерности их изменения при варьировании геометрических параметров колебательной системы и оценить границы интервалов локализации собственных частот. Анализ закономерностей взаимного расположения собственных частот, соответствующих различным значениям азимутального и радиального индексов, а также анализ влияния на точность расчетов числа учитываемых пространственных гармоник позволили разработать высокоэффективные алгоритмы и программы, пригодные для проведения систематических численных экспериментов. Численные и аналитические результаты, полученные с помощью развитого в настоящей работе математического аппарата и разработанных вычислительных процедур, позволили провести детальный анализ влияния геометрии КСМ на комплексный спектр собственных частот. При этом основной акцент был сделан на анализе возможностей

снижения потерь для аксиально-однородных колебаний, представляющих наибольший практический интерес.

В результате проведенных исследований установлено:

1. Для первой группы резонансов КСМ высокочастотное электромагнитное поле в пространстве взаимодействия сконцентрировано вблизи сегментов анодного блока и является в некотором смысле аналогом волн шепчущей галереи. С увеличением радиального индекса происходит постепенное преобразование поверхностных волн в объемные. Это приводит, как правило, к существенному увеличению собственной добротности при переходе от первой ко второй группе резонансов. Более ярко этот эффект проявляется в случае сравнительно большой глубины резонаторов.

2. В нагруженных КСМ при определенном соотношении геометрических параметров имеет место режим аномального увеличения добротности. Этот режим может быть реализован практически для произвольной КСМ путем выбора глубины резонаторов анодного блока. Его признаком является малость амплитуды высокочастотного магнитного поля в месте сопряжения пространства взаимодействия и резонаторов анодного блока. Этот эффект наблюдается в основном для резонансов высших групп. Для нагруженной КСМ с учетом потерь в стенках эффект аномального увеличения добротности при $k\rho_a \leq 8.0$ выражен сравнительно слабо в силу того обстоятельства, что углы падения бриллюэновских парциальных волн недостаточно близки к скользящим.

3. Характер влияния радиуса катода на спектр собственных частот в широком диапазоне изменения параметров КСМ аналогичен случаю коаксиального волновода, несмотря на тот факт, что абсолютные значения собственных частот, соответствующих одним и тем же видам колебаний, могут заметно отличаться. Если

радиус катода меньше, чем радиус каустики, изменение радиуса катода в большинстве случаев практически не влияет ни на действительные, ни на мнимые части собственных частот.

4. Параметры анодного блока оказывают существенно различное влияние на комплексный спектр собственных частот. Наиболее существенным является влияние глубины резонаторов. Этот параметр оказывает сильное влияние как на действительные части собственных частот, так и на мнимые. Число резонаторов анодного блока заметно влияет на потери и слабо влияет на действительные части собственных частот (по крайней мере при достаточно больших N). Изменение суммарного раскрыва резонаторов мало сказывается на величине действительных частей собственных частот, но оказывает существенное влияние на потери в стенках по крайней мере при достаточно большой глубине резонаторов. В большинстве практических случаев раскрыв не влияет явно на величину нагруженной добротности.

5. Различная степень влияния геометрических параметров КСМ на отдельные критерии ее качества позволяет определить последовательность выбора конструктивных параметров колебательной системы. Для КСМ с типичными для миллиметрового диапазона параметрами продемонстрирована возможность существенного увеличения нагруженной добротности за счет выбора оптимальных параметров резонаторов.

СПИСОК РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Ваврив Д.М., Серебрянников А.Э. К анализу колебательной системы магнетрона // Радиотехника и электроника.- 1995. - Т.40, N.1.- сс.97-101.

2. Аврамов К.В., Серебрянников А.Э. Интерполяционно-итерационный подход к численному моделированию задач нестационарной электродинамики // Изв. вузов. Радиоэлектроника.- 1995.- Т.38, N.9.- сс.3-11.
3. Serebryannikov A.E., Vavriv D.M. The potentialities of hybrid model used for analysis of oscillatory systems for millimeter-wave magnetrons // Int. Journ. of Infrared and Millimeter Waves.- 1996.- Vol.17, N.2.- pp.351-363.
4. Vavriv D.M., Serebryannikov A.E. Modeling of resonance oscillating systems for millimeter-waves magnetrons // Digest of International Conference on Millimeter and Submillimeter Waves and Applications, San Diego, California, USA, 10-14 January 1994.- p.202.
5. Vavriv D.M., Serebryannikov A.E. Oscillating system for millimeter-waves magnetron with optimal Q-factor // Abstracts of 1994 URSI Radio Science Meeting, Seattle, USA, 19-24 June, 1994.- p.337.
6. Serebryannikov A.E., Vavriv D.M. Full-wave analysis of loaded magnetron oscillating system // Digest of IEEE AP-S Symp. on Antennas and Propagation, Newport Beach, USA, 18-23 June, 1995. - Vol.2.- pp.1325-1327.



Серебрянников А.Е. Дослідження коливальних систем магнетронів міліметрового діапазону.

Дисертація у вигляді рукопису на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.03 - радіофізика, Харківський державний університет, Харків, 1996.

Основні положення дисертації викладено у 6 наукових працях. Приведені результати теоретичних досліджень електродинаміки коливальних систем магнетронів міліметрового діапазону. На основі оригінального програмного забезпечення здійснено обчислювальний експеримент щодо вивчення впливу геометричних параметрів коливальної системи на комплексні спектри властивих частот. Досліджено можливості зниження втрат за рахунок вибору геометрії й робочого виду коливань. Отримані аналітичні розв'язки дозволяють провести якісний аналіз КСМ.

Serebryannikov A.E. Investigation of oscillatory systems of millimeter-wave magnetrons.

The manuscript-type thesis to obtain scientific degree of candidate of science (Physics and Mathematics) on speciality 01.04.03 - Radio Physics, Kharkov State University, Kharkov, 1996.

The essentials of the thesis are given in 6 papers. The results of theoretical investigation of electrodynamics of oscillatory systems used for millimeter-wave magnetrons are stated. The computational experiment concerned with the studying of influence of geometric parameters of oscillatory system on the complex eigen frequencies spectra has been carried out on the basis of developed computer-aided procedures. The possibilities of decreasing losses due to choice of both geometry and operation mode have been investigated. The analytical solutions obtained allow to carry out qualitative analysis of oscillatory system.

Ключові слова: магнетрон, катод, анод, властива частота, добротність, просторова гармоніка.

Подписано в печать 25.04.96. Формат 60x84/16 Отпечатано на дупликаторе.
Усл.п.л. 2,0. Уч.-изд.л. 2,0. Тираж 100. Заказ 196.

Харьков

ООО-КиПи-ПРИНТ

496637

Содержание

ВВЕДЕНИЕ
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
2. МЕТОДИКА
3. РЕЗУЛЬТАТЫ
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
2. МЕТОДИКА
3. РЕЗУЛЬТАТЫ
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
2. МЕТОДИКА
3. РЕЗУЛЬТАТЫ
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Содержание

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ
2. МЕТОДИКА
3. РЕЗУЛЬТАТЫ
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ