# 1. ВВЕДЕНИЕ

## 1.1 Технико-экономическое обоснование проекта

Общее кризисное состояние всей экономики страны еще в боль­шей степени относится к технике СВЧ, так как она в основном питалась военными заказами. Поэтому в настоящее время основной задачей этой области техники является развитие применений ее в мирных целях. Эти применения могут быть связаны с переработкой информации (телевидение, связь, новые направления в медицине и биологии) и с преобразованием энергии (ускорители заряженных частиц, нагрев плазмы, диэлектриков, преобразование солнечной энергии). Наиболее важным в настоящий момент являются применения, направленные на развитие новых технологий и новых производств. Это прежде всего касается использование СВЧ для нагрева диэлектриков в различных целях.

Наиболее широкая область применения техники СВЧ - ее исполь­зование в бытовых целях, например производство магнетронов для бытовых микроволновых печей. Однако в этой области иностранные фирмы ушли далеко вперед и без серьезных вложений наша промыш­ленность не сможет с ними конкурировать.

В этих условиях более целесообразным представляется развитие технологических применений более мощных приборов СВЧ (более кВт), в создании и производстве которых наша страна занимает передовые позиции. Для разнообразных технологических процессов (сушки, размо­раживания, вулканизации, пастеризации, спекания, разрушения твердых веществ, обжига и многих других) требуется мощность от единиц до сотен киловатт в непрерывном режиме. Применение микроволн позво­ляет оптимизировать технологический процесс, достичь высокого ка­чества продукта при минимальных энергозатратах и меньшей металлоем­кости технологического устройства. Использование электроэнергии позволяет разумно и эффективно тратить природные энергоресурсы (газ, нефть, уголь), не нанося дополнительного экологического вреда. Наиболее экономично применение более коротковолнового диапазона, так как мощность, выделяемая при нагреве диэлектрика пропорциональна частоте.

Специфическим требованием к приборам для промышленного применения отвечают мощные магнетроны непрерывного действия. Они относительно дешевы, обладают высоким КПД, сравни­тельно просты в эксплуатации и устойчивы к изменениям согласования с нагрузкой. Однако в коротковолновом диапазоне (12.5см) и при мощно­стях свыше 1кВТ они обладают рядом недостатков, обусловленных особенностью их работы. В указанном диапазоне длин волн не выпускают магнетроны мощностью свыше 10 кВт. Ограничения по мощности в магне­тронах связаны с тем, что потери выделяются непосредственно на аноде и катоде, которые образуют пространство взаимодействия. Размеры пространства взаимодействия ограничены длиной волны. Вследствие обратной бомбардировки катода сокращается срок службы прибора. При мощностях свыше 1кВТ необходимо водяное охлаждение. Это создает неудобства в эксплуатации и сокращает срок службы из-за выхода из строя каналов охлаждения.

В связи с указанным недостатком магнетронов для технологиче­ских целей стали разрабатывать многорезонаторные клистроны. У кли­стронов продольный размер коллектора не связан с длиной волны. Поэтому при мощностях до 10 кВт может быть использовано воздушное охлаждение. Применение воздушного охлаждения предпочтительнее также в связи с тем, что горячий воздух используется для дополнитель­ного подогрева продукта. Разрабатываемые клистроны имеют мощность 25-50 кВт при КПД=45-50% в диапазоне 2450 МГц [1]. Наибольшие успехи достигнуты в создании многолучевых клистронов . Клистроны , разработанные отечественной промышленностью позволили достигнуть больших успехов в снижении ускоряющего напряжения и стоимости. По сравнению с магнетронами многолучевые клистроны позволяют значительно увели­чить долговечность и выходную мощность в коротковолновом диапазоне (12.5см) при тех же, что и у магнетронов, величинах КПД и напряжениях. Однако даже многолучевые многорезонаторные клистроны уступают магнетронам по габаритам, весу, стоимости. Эти недостатки связаны с большим количеством резонаторов. Во многом количество резонаторов определяется стремлением получить большие значения коэффициента усиления и полосы, а в случае автогенератора их число может быть уменьшено.

Для технологических целей возможно применение автогенерато­ров вместо усилителей. При этом требования полосы и усиления отпа­дают и становится целесообразной разработка автогенераторных кли­стронов с малым числом резонаторов и большим КПД. Также автогенера­торы будут лишены упомянутых недостатков по сравнению с магнетро­нами, а отмеченные выше преимущества клистронов тогда более ярко проявляются. Однако выпускаемые до сих пор одно- и двухрезонаторные клистроны имеют в лучшем случае КПД около 30%, а обычно значительно ниже.

В связи со сказанным возникает задача заменить применяемый в многорезонаторных клистронах процесс преобразования постоянного электрического тока в переменный с помощью каскадного группирования другим эффективным процессом, не требующим большого количества резонаторов.

Эффективное группирование может происходить в результате взаимодействия электронов с полем резонатора при больших углах полета и больших амплитудах напряжения. При этом вместо большого числа резонаторов может быть использовано всего два или даже один резонатор, что позволяет снизить габариты, массу и стоимость приборов.

До сих пор нет сведений о создании хотя бы экспериментальных приборов, использующих протяженные пространства взаимодействия в резонаторах. Для создания таких приборов, на кафедре электронных приборов в течении последних лет, были проведены расчет и анализ электронных процессов при больших углах пролета.

Основная задача этих работ состоит в повышении примерно в два раза (на 25-30%) КПД однорезонатарных и двухрезонаторных клистронов и доведения КПД примерно до 60%.

В соответствии со сказанным определяются следующие основные этапы настоящей работы:

Проведение аналитического обзора по опубликованным работам и проведенным на кафедре электронных приборов.

Ознакомление с методами расчета электронных электродинамических процессов, внесение уточнений при выборе вычислительных параметров и развитие этих методов в связи с возникающими задачами.

Расчет и анализ электронных процессов, что является основной задачей проекта.

Рассмотрение принципов построения генераторов и эскизное проектирование прибора.

В современных условиях разработка новых приборов должна вестись с использованием максимального числа уже разработанных узлов и деталей, поэтому проектирование прибора ведется на базе разработанной в НИИ "Исток" многолучевой электронно-оптической системы. Последние обстоятельство определило данные проектируемого прибора. Подводимая мощность определяется параметрами двадцатичетырехлучевой ЭОС с микропервеансом одного луча Рм=0.3 мкА/В3/2 и напряжением U0=8 кВ, Р0=41 кВт. При общем КПД не менее 55% выходная мощность составляет 22-25 кВт. Диаметр пролетного канала 3.5 мм, коэффициент заполнения 0.6 при идеализированных условиях в пролетном канале. Расчет проводился на частоте 2450 МГц.

Дипломный проект носит чисто исследовательский характер, поэтому количественно определить экономический эффект невозможно.

# 2. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

## 2.1. Взаимодействие электронного потока с входным резонатором.

Эффективность взаимодействия электронов с полем зазора резонатора принято характеризовать коэффициентом электронного взаимодействия M:



где θ - угол пролета электронов во входном зазоре.

Из этого выражения следует, что лучшее взаимодействие будет происходить при  близком к нулю. Рассмотрение процессов с точки зрения осуществления прибора в целом приводит к заключению, что желательно получение максимальной величины М2ρ, где - характеристическое сопротивление резонатора. Почти во всех приборах, в которых происходит взаимодействие электронов с полем зазора, используются углы пролета 1≤π/2, так как при этом величина М близка к 1, а М2ρ≈mах на рис.2.1 обозначена область I значений , обычно применяемых в приборах.



Но параметр М не является единственным, по которому следует определять рабочую область. Очень важна относительная величина первой гармоники конвекционного тока I1max/I0 . Надо стремиться получить это значение наибольшим для получения хорошего КПД прибора. Также важным фактором является КПД зазора, который пропорционален электронной проводимости с обратным знаком. Особенно это очевидно для схем автогенераторов, в которых первый резонатор самовозбуждается. В дальнейшем, вероятно, более целесообразно использовать другие параметры, характеризующие электронный ток и его взаимодействие с СВЧ полем. Можно использовать коэффициент качества, включающий относительную величину минимальной скорости электронов.



Рис.1. Зависимости электронного тока, коэффициента взаимодействия и электронной провидимости и КПД от угла пролета.

Также, сгруппированный поток можно характеризовать распределением тока I и скоростей электронов v внутри потока рис.2.2. Эта методика будет учитывать не только степень группирования электронов, но и скоростное распределение электронов в потоке. Это обстоятельство очень важно, так как эффективность торможения электронов в выходном зазоре лучше, если сначала идут медленные электроны, а затем быстрые. Такое распределение позволяет равномерно затормозить электроны без выбрасывания части электронов назад.

Еще в сороковых годах в ряде работ отмечалось возможность повышения электронного тока при наличии широкого входного зазора в сочетании с большой амплитудой напряжения на этом зазоре. Таким образом, кроме указанной области I на рис.2.1 возможно использовать еще области II и III перспективные для создания приборов. До сих пор эти области для создания приборов не использовались и задача настоящей работы состоит в исследовании электронных процессов в этих областях и проектирование новых приборов на их основе.

Увеличение I1max/I0 клистрона происходит при изменении формы кривой, по которой сообщается скоростная модуляция электронов. Если бы скорости изменялись не по синусоидальному закону, а линейно, то можно было бы собрать в одном сечении все электроны с периода и тогда КПД был бы близок к 100%. Однако получить пилообразное напряжение на зазоре резонатора нельзя. Можно приблизиться к этому закону, если одновременно на электронный поток воздействовать напряжением первой и второй гармоник. На рис.2.3 приведена диаграмма напряжения на зазоре первых двух гармоник и их суммы. Из рисунка видно, что область фаз эффективного группирования для двухчастотной модуляции значительно больше, чем при одночастотной модуляции. Эта идея может быть реализована различными способами.

Были созданы многорезонаторные клистроны, имеющие один или два резонатора, настроенных на вторую гармонику.



Рис.2.3. К описанию электронного потока с помощью распределения тока и скоростей.



Рис.2.3 Изменение скоростей электронов при взаимодействии с полями первой и второй гармоник и их суммы.

ψ - область фаз эффективного взаимодействия

Можно создать такой резонатор, у которого имелись бы две собственные частоты, равные первой и второй гармонике электронного тока.

Другой способ, исследуемый в данной работе пока не нашел практического применение основан на том, что при переменном напряжении на входном зазоре, большем постоянного напряжения, тогда скоростная модуляция будет уже несинусоидальная и содержит вторую гармонику.

Появление второй гармоники можно объяснить исходя из закона сохранения энергии :

eU = eUo + eUmMsinωt,

где Um - амплитуда переменного напряжения

U0 - ускоряющее напряжение

eUmM = eUoUm/UoM = eUo2*ν* ,

где - коэффициент скоростной модуляции.



Из закона сохранения энергии :



Таким образом, *ν* = *ν*o(1 + 2*v*sinωt)1/2

Раскладывая выражение в скобках в ряд получим :

(1 + 2*ν*sinωt1)1/2 = 1 + *ν*sinωt - 1/2*ν*2sin2ωt

При Um<<Uo - *ν* мало и третьим членом в формуле можно пренебречь. При Um≈Uo третьим членом уже пренебрегать нельзя, т.е. появляется вторая гармоника и скоростная модуляция не будет чисто синусоидальной.

В работах Гебауэра [2] теоретически обосновывалось повышение электронного КПД автогенераторных клистронов с одним двухзазорным коаксиальным резонатором до 50%. При этом предполагалось использовать коаксиальные резонаторы “π“-вида с широким входным зазором при больших амплитудах. Теоретически выводы основывались на кинематическом представлении процессов фазовой фокусировки 12 электронов на периоде, т.е. при весьма грубых приближениях.

Повышение относительного значения первой гармоники электрического тока I1max/I0 при времени пролета равным или большем половины периода отмечено в работе [3]. Когда время пролета через зазор равно или больше половины периода, скоростная модуляция становится несинусоидальной.

После упомянутых работ Гебауэра наиболее полное и систематическое исследование процессов при взаимодействии электронов с полем широкого зазора было дано Солимаром [4]. При этом он использовал аналитическую теорию, которая может давать и неточные результаты после перегона. Из многочисленных кривых приведенных Солимаром можно отметить следующие результаты, в которых значение I1max/I0 превышает соответствующие значения при узких зазорах.

при к=10 D=1800 α=0.9 βрZ=300 I1max/I0 =1.3

при к=10 D=1800 α=1.5 βрZ=200 I1max/I0 =1.4

при к=5 D=1800 α=1.5 βрZ=40-900 I1max/I0 =1.4

при к=10 D=2880 α=1.5 βрZ=70-800 I1max/I0 =1.45

при к=20 D=5400 α=0.9 βрZ=70-900 I1max/I0 =1.3

при к=20 D=5400 α=1.5 βрZ=360 I1max/I0 =1.36

где к=ω/ωp,

ωp - электронно-плазменная частота

D=ωd/vo - угол пролета, где

d - ширина зазора βр=ωp /vo

Z -текущая координата

α=v1/vo

На рис.2.4 приведены некоторые кривые из работ Л.Солимара, по которым можно проследить изменение I1max/I0 при изменении к,D,α, βр,Z.

Результаты исследований по рассматриваемой теме приводит в своей книге А.З.Хайков [5]. Он пишет, что используя достаточно протяженный зазор входного резонатора и большое напряжение на нем, можно добиться увеличения I1max/I0 по сравнению со значением, характерным для узких зазоров. Практически такую возможность повышения КПД целесообразно использовать в двухрезонаторных клистронах-автогенераторах, так как в усилителе на двухрезонаторном клистроне подобный режим привел бы наряду с ростом КПД к резкому уменьшению усиления . Графики на рис.2.5 показывают как изменяется величина максимальной относительной амплитуды первой гармоники тока I1max/I0 и расстояние между центрами зазоров L12 в зависимости от угла пролета во входном зазоре 1.

Первые расчеты для широких зазоров на основе дискретной модели электронного потока [6] показали лишь небольшое увеличение относительной величины тока первой гармоники I1max/I0 =1.26. Однако в последующие расчеты на основе дискретной модели подтвердили возможность увеличения I1max/I0 до 1.5 [7]. Кроме того было показано, что влияние пространственного заряда может улучшить качество группирования. Исследования, проводимые на кафедре ЭП, показали, что в сравнительно простом по конструкции клистроне можно получить КПД не менее 50% [8].

Среди работ посвященных исследованию электронных процессов в широком зазоре можно отметить статью А.И.Костиенко и Ю.А.Пирогова, опубликованную в 1962г [9], хотя авторы этой статьи решают поставленный вопрос с иных позиций. Рассмотрена возможность взаимодействия электронного потока с электромагнитным полем СВЧ волны в широком плоском зазоре с эффективностью не хуже чем в узком зазоре. Взаимодействие происходит в поле волны H11 (расстояние между сетками сравнимо с длиной волны). При достаточно большой плотности входящего в зазор тока в промежутке между сетками может возникнуть неотрицательный минимум потенциала, а следовательно, распределение статического потенциала вдоль зазора будет нелинейным (рассмотрен случай с квадратным распределением). Модуляция потока электронов по скорости будет близка к синусоидальной. Изменение скоростей электронов под действием поля СВЧ тем больше, чем больше нелинейность распределения. Мощность взаимодействия потока электронов с электромагнитным полем СВЧ может принимать как положительные так и отрицательные значения, т.е. такая система может быть использована для генерирования, усиления и детектирования колебаний



|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| N | 1 | 2 | 3 | 4 |
| k | **10** | **20** | **30** | **10** |
| α | **1.5** | **0.9** | **1.5** | **1.5** |
| D | **2880** | **5400** | **5400** | **1800** |

рис.2.4. Зависимости первой гармоники электронного тока от βрZ при различных парметрах.



Рис.2.5. Зависимость конвекционного тока и оптимального расстояния от угла пролета

СВЧ коротковолнового диапазона. Кроме того авторы работы делают вывод, что при использовании широких зазоров не требуется высокое ускоряющее напряжение. О реализации рассмотренного механизма не сообщалось.

С 1992г на кафедре ЭП проводились работы по двум грантам по созданию двухзазорного однорезонаторного клистрона с широким входным зазором и высоким КПД. Исследования электронных процессов на основе двухмерной многослойной модели и холодные измерения резонатора показали возможность осуществления двухзазорного однорезонаторного клистрона с электронным КПД 56%, общим КПД 50% при углах пролета во входном зазоре около 3π/2 в области II (рис.2.1.). На базе приборов, выпускаемых промышленностью, спроектированы два автогенераторных однорезонаторных клистрона мощностью 2-2.5 кВт при ускоряющем напряжении 4 кВ на частоте 2450 МГц для технологических целей [10] На рис.2.6 приведены зависимости максимальных относительных амплитуд первой гармоники тока от угла пролета во входном зазоре для различных *ξ1* , полученные при расчете электронных процессов.

Дальнейшие исследования проводились при =3π. На рис.2.7 приведены зависимости из работы [11], полученные для равномерного поля. Из рис.2.7 видно, что максимальный КПД получаемый при равномерном поле составляет 45%. В работах [10,11] все расчеты по исследованию электронных процессов проводились с использованием ЭВМ. Программа расчета основана на методе конечных разностей для расчета электрических полей и модели потока из деформирующихся элементов. Подробно эта программа описана в работе [11].

При расчете электронных процессов в реальных полях, проводимых на кафедре электронных приборов, было обнаружено значительное влияние структуры поля на эффективность электронных процессов. Эффективность процессов получалась выше при неравномерных полях.

Процессы при неравномерном поле практически не изучались и весьма сложны. Проведем качественные пояснения, объясняющие явления. Прежде всего надо отметить, что в соответствии с формулой



Рис.2.6. Завмсимость максимума конвекционного тока от угла пролета при различных амплитудах напряжения.



Рис.2.7. Зависимости I1max/I0 , L12 , Lopt , L' , ηе от ширины зазора d1



вблизи эффективного угла пролета =2.8π Ge=0 и коэффициент электронного взаимодействия М проходит через максимум (по абсолютному значению). Поэтому можно получить достаточно большие значения *ν*.

Для пояснения процесса скоростной модуляции рассмотрим случай с углом пролета 3π. Если электрон проходит через центр зазора в момент максимального напряжения, то он становится замедленным так как он ускоряется в течении одного полупериода, а тормозится в течении двух.

Для получения эффективного группирования важно не только иметь достаточно большие значения *ν* , но и получить распределение скоростей, близкое к пилообразным. При таком распределении область группирования увеличивается. Чтобы получить форму кривой скоростной модуляции близкую к пилообразной, надо увеличить значение vmax и уменьшить значение vmin см.рис 2.8. Это можно реализовать, если поле в начале и в конце пролета через промежуток сделать сильнее (рис.2.9 ). Различные кривые распределения напряжения в высокочастотном зазоре представлены на рис.2.10. Кривая 1 соответствует равномерному полю. Для других двух кривых эффективность группирования возрастает. Обратимся теперь к различным формам резонаторов, реализующих рассмотренное распределение напряжений. На рис.2.11 представлены различные конструкции резонаторов и соответствующие им распределение полей. Кривые на рис.2.11.б,в,г приведены без учета провисания поля в пролетном канале. Кривая 1 на рис.2.11.а соответствует полю по оси пролетного канала, а кривая 2 - у края пролетного канала. Более сильное поле слева на рис.2.11.в получено за счет небольшого выступа пролетной трубы. Кольцо на рис.2.11.г немного ослабляет поле в середине промежутка, кроме того, оно увеличивает емкость, что необходимо в приборе с одним двухзазорным резонатором для получения заданного отношения напряжений.

Анализ показывает, что достижение максимального I1max/I0 желательно при меньших значениях d1, особенно при d1, меньших того значения, при котором η1 =0.



Рис.2.8. Диаграмма изменения скоростей электронов при синусоидальной и пилообразной модуляции

а)б)в)



Рис.2.9. Картина распределения напряженности электрического поля во времени при θ≈3π для:

а) замедленного электрона в равномерном поле

б) замедленного электрона в неравномерном поле

в) ускоренного электрона в неравномерном поле



Рис.2.10. Кривые распределения напряжения в высокочастотном зазоре.

## 2.2. Взаимодействие сгруппированного электронного потока с полем выходного зазора .

В первой части данной главы были рассмотрены проблемы группирования электронного потока с входными зазорами. Не менее важной задачей, для получения высокого КПД, является подбор оптимальных параметров для выходного резонатора. Для предварительных оценок качества группирования Мираном был предложен показатель качества.

,



где I1/I0 - относительная амплитуда первой гармоники тока

vmin/v0 - относительная скорость самого медленного электрона

Эти проблемы были исследованы на кафедре ЭП [12]. В этой работе даются графики, изображенные на рис.2.12,2.13. Эти зависимости были исследованы для реального сгустка электронов, имеющего I1max/I0=1.4 при ξn-1 =0.4. Расчеты проводились по пятислойной одномерной модели потока из деформирующихся элементов по программе описанной в [13,14]. На рис.2.12 показаны зависимости электронного КПД ηе от амплитуды напряжения на выходном зазоре ξn при различных углах пролета θ. Кривая 1 соединяет точки, в которых электроны начинают поворачивать назад. Кривая 2 соединяет точки, соответствующие выбросу части электронов из зазора. Максимум КПД достигается при больших значениях ξn (кривая 3) при этом от 4 до 6% электронов возвращается назад. Кривая 4 соединяет точки, в которых падает не более чем на 0.5%, по сравнению с максимальным значением. При этом количество выбрасываемых электронов уменьшается примерно на 2%. При ξn>1.35 КПД практически не увеличивается, даже при больших θ.

На рис.2.12 представлены кроме того результаты расчета взаимодействия этого же сгустка с полем зазора при θ=1.6 для различных ξn в кинематическом приближении (кривая 5).

На рис.2.13 приведены зависимости ξn и ηе от θ построенные по данным рис.2.12. Кривые 1-4 имеют тот же смысл. На этом рисунке нанесена кривая, соответствующая часто используемой оценке ξn=1/М, где М- коэффициент взаимодействия бессеточного зазора, которая расположена примерно на 0.1ниже кривой 4 при изменениях θ от 1 до 2. На рис.2.13 воспроизведены также взятые из книги Варнека и Генара кривая 5, выше которой появляются отраженные электроны и прямая 6, выше которой часть электронов выбрасывается из зазора назад. Заштрихованная между этими линиями область колеблющихся электронов совершенно не совпадает с соответствующей областью между кривыми 1 и 2. Это является следствием пренебрежения пространственным зазором и распределением скоростей. Учет распределения скоростей в рамках кинематического рассмотрения приводит к смещению вниз области колеблющихся электронов (кривые 7,8). Таким образом, часто применяемая оценка ξn=1/М близка к значениям, соответствующим ηеmax , однако физические причины, ограничивающие амплитуду напряжения на зазоре, другие. Это не первое появление колеблющихся или выбрасываемых назад электронов. Максимальная амплитуда устанавливается в режиме выбрасывания электронов из зазора назад в результате баланса энергии, отдаваемой быстрыми электронами и отбираемой электронами, получившими возвратное движение. С этой точки зрения о качестве группирования следует судить не по скорости самого медленного электрона, а по усредненному значению определенной части медленных электронов. Зависимость ηе от θ можно считать пропорциональной М3/2, отклонение при этом не превышает 1%. Выше сказанное позволяет предложить новое выражение показателя качества, позволяющего оценивать качество группирования и электронный КПД



где vmin - усредненное значение скоростей некоторой части самых медленных электронов.В качестве приближения можно считать vmin =ξn-1 /2

С помощью полученного коэффициента качества можно определять не только параметры выходного зазора, но и определять оптимальную амплитуду на предпоследнем резонаторе .



Рис.2.12. Зависимость электронного КПД ηе от амплитуды ξ при различных углах пролета θ.



Рис.2.13. Зависимость амплитуды ξ и КПД ηе от угла пролета θ.

## 2.3. Приборы, использующие широкие зазоры рассчитанные ранее

Как уже отмечалось на кафедре ЭП работы по созданию клистрона с широким зазором ведутся уже несколько лет. За это время было рассчитано три варианта конструкций. Они представлены на рис.2.14.

### 2.3.1. Однорезонаторный двухзазорный клистрон с θ1≈1.5π.

Достоинством однорезонаторного прибора в его компактности, а следовательно меньшей стоимости. Недостатком является влияние нагрузки на работу генератора. Нагрузка является частью колебательного контура и вносит свою активную и реактивную составляющие. Реактивная составляющая влияет на частоту генерируемых колебаний. Активная составляющая влияет на амплитуду колебаний и при больших флюктуациях проводимости нагрузки может произойти даже срыв колебаний.

Первым генератором был однорезонаторный двухзазорный клистрон на “π“- виде колебаний (см рис 14.а). Прибор расчитывался на первой зоне колебаний. Первый зазор был широким с θ1=1.5π. Мощность этого прибора Р=2-2.5 кВТ при напряжении U0=4 кВ. Электронный КПД ηе=56.3% при следующих параметрах: d1=11.3 мм., *ξ1*=1.75, *ξ2*=-1.75, L12=17.5 мм., В=2Ввр.

### 2.3.2. Однорезонаторный двухзазорный клистрон с θ1≈3π.

Следующий прибор это однорезонаторный двухзазорный автогенератор, работающий на “0”- типе колебаний (рис.2.14.б). Отличительной особенностью этого прибора является, то что входной зазор имеет ширину d1=18 мм., что соответствует углу пролета около 3π.. Поскольку при этом имеет место инверсия условий самовозбуждения т.е. они совпадают с условиями для "π" - вида при θ<2π. Осуществление однорезонаторного генератора наиболее целесообразно в области III (см. рис.2.1), из-за того что ηе не сильно отрицательно или даже положительно. Это важный момент, так как при большом отрицательном КПД первого зазора не удается сделать большой суммарный КПД, из-за того, что ηе1 будет вычитаться из ηе2 . Поле в первом зазоре является неравномерным.

а) Однорезонаторный клистрон с резонатором "π" - вида с θ1≈3/2π.

ооо

б) Однорезонаторный клистрон с резонатором "0" - вида с θ1≈3π.

в) Двухрезонаторный клистрон с θ1≈2π.

Рис.2.14. Клистроны с широкими входными зазорами, разработанные ранее

Мощность этого прибора Р=4 кВТ при напряжении U0=4 кВ. КПД прибора 52.4% при следующих параметрах d1=18 мм., *ξ1*=2.5, *ξ2*=1.5, L12=16.5 мм., В=2Вбр.

### 2.3.3. Двухрезонаторный двухзазорный клистрон с θ1≈3π.

Третий прибор является двухрезонаторным, но по прежнему с двумя пространствами взаимодействия (рис.2.14.в). Этот прибор отличается от предыдущих наличием глухой стенки между зазорами. Это приводит к тому, что первый зазор должен самовозбуждаться, т.е. работать в монотронном режиме. Вместе с тем наличие стенки позволяет практически исключить влияние нагрузки на генерацию колебаний. Как и в предыдущем случае поле в первом зазоре является неравномерным, что повышает эффективность работы.

Мощность этого прибора Р=20 кВТ при напряжении U0=8 кВ. Первый зазор имеет угол пролета θ1≈2.8π. Суммарный КПД двух зазоров ηе∑=57%, в выходном зазоре КПД ηе2=53%.

Отметим , что все приборы расcчитаны для различных многолучевых электронно-оптических систем, используемых в различных многорезонаторных клистронах.

### 2.3.4. Рассмотрение некоторых вариантов клистронов с “π“ - резонатором.

Схематическое изображение клистрона представлено на рис.3.16

Рассмотрим два лучших рассчитанных варианта.

Первый вариант имеет параметры:

*d1=26.75 мм., d2=11 мм., d3=4 мм., ξ1=1.7, ξ2=-1.7, ξ3=1.25, L12=26.75 мм., L23=15.25 мм., B2/U0=140, φ=-0.3253 .*

При этих параметрах получаем результаты представленные в таб.3.4 вариант 1. Расчет проводился по вычислительной модели **T.**

Таблица 3.4.

**Результаты расчета клистрона с "π"-резонатором**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Модель | I1max/I0 | Zopt | ηе12 | ηе3 | ηе∑ |
| 1 | **T** | **1.6566** | **58** | **0.03096** | **0.621** | **0.652** |
| 2 | **ST** | **1.5838** | **56** | **0.059** |  |  |



Рис.3.15. Иллюстрация к выбору угла между током и напряжением

Рис.3.16. Схематическое изображение двухрезонаторного клистрона с резонатором "π" - вида с θ1≈3/2π.

Это лучший результат из всех вариантов для “π“- вида резонатора. Но при пересчете по более точной модели результат снизился. Для вычислительной модели **ST** результат приведен в таб.3.4 вариант 2. Как видно результаты существенно снизились, поэтому расчет с выходным зазором не проводился. Более тщательное исследование в окрестностях этого варианта по модели **ST** не проводился из-за больших затрат машинного времени на один вариант и низкого тока I1max/I0 .

Второй вариант имеет параметры:

*d1=15.5 мм., d2=11.5 мм., d3=4 мм., ξ1=1.5, ξ2=-1.5, ξ3=1.3, L12=27.5 мм., L23=15.25 мм., B2/U0=140, φ=-0.2861.* При этих параметрах получаем результаты представленные в таб.3.5 вариант 1. Расчет проводился по вычислительной модели **T.** Для подтверждения корректности результатов оптимальная точка была пересчитана по более точной модели **ST** (таб.3.5 вариант 2)

Таблица 3.5.

**Результаты расчета клистрона с "π"-резонатором**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Модель | I1max/I0 | Zopt | ηе12 | ηе3 | ηе∑ |
| 1 | **T** | **1.6307** | **60** | **0.027** | **0.6162** | **0.643** |
| 2 | **ST** | **1.6159** | **56** | **0.020** | **0.6314** | **0.651** |

Это является окончательным результатом. На рис.3.17 и 3.11. представлены ряд зависимостей для разных параметров клистрона вокруг оптимальной точки.

С учетом потерь в выходном резонаторе выходной КПД будет меньше электронного КПД третьего зазора ηе3 .При КПД резонатора ηр=0.95 (см. приложение) выходной КПД будет равен

η3=ηе3\*ηр=0.6314\*0.95=0.59983.

Рис.3.167(а). Зависимость максимума тока от амплитуды   
на втором зазоре



Рис.3.17.(б). Зависимости максимума тока I1max/I0 и КПД первого резонатора ηе12 от расстояния между зазорами L12



Рис.3.17.(в). Зависимость выходного КПД ηе3 от амплитуды на выходном зазоре *ξ3*



## 2.4. Описание программы и выбор вычислительных параметров

Расчет клистрона в данном дипломном проекте проводился по программе разработанной на кафедре ЭП. В ней используется модель потока из дефформированных элементов и конечно-разностная схема расчета всех электрических полей. В приближении аксиальной симметрии электрических и магнитных полей программа позволяет:

* Моделировать реальное условие работы клистронов в динамическом режиме;
* Исследовать движение электронов от катода до их оседания на коллектор;
* Рассчитывать внешние статические электрические поля и поле пространственного заряда в системе электродов произвольной формы;
* Вычислять переменные электрические поля одно- и многозазорных резонаторов с произвольной формой поперечного сечения зазоров;
* Моделировать процесс возбуждения резонаторов электронным потоком и скоростную модуляцию электронов полями этих резонаторов;
* Исследовать работу клистрона в режиме заданных амплитуд и в самосогласованном режиме;
* Моделировать процессы в клистронах, имеющих резонаторы, настроенные на частоты, кратные входной частоте;
* Анализировать динамические процессы в многоступенчатых коллекторах с рекуперацией остаточной энергии электронов.

Уравнение движения контрольных электронов по продольной Z и радиальной R координатам решаются методами Рунге-Кутта. Скорость азимутального вращения v0  рассчитывается с использованием теоремы Буша. Поля высокочастотных зазоров определяются один раз в квазистатическом приближении при единичной разности потенциалов и при хранятся в отдельных массивах. Эти поля используются при вычислении наведенных токов в резонаторе по теореме Шокли-Рамо. Напряженности высокочастотных полей при подстановке в уравнения движения умножаются на амплитудные и временные множители. Амплитуды и фазы напряжений в самосогласованном режиме рассчитываются через наведенные токи и параметры холодных резонаторов. Составляющие внешнего неоднородного магнитного поля определяются по экспериментальным данным. Подробно программа описана в [13,14].

Для того чтобы любой вычислительный эксперимент давал бы корректные результаты необходимо подобрать вычислительные параметры, которые обеспечивали бы приемлемую точность вычислений. В данной программе есть несколько вычислительных параметров, которые влияют на точность выдаваемых результатов. Рассмотрим наиболее важные из них.

1.**ЕТ** - критерий установления значения скоростей электронов при расчете уравнения движения на каждом шаге интегрирования. Для определения влияния критерия ЕТ на точность эксперимента было проведено несколько расчетов двухзазорного резонатора с неизменными параметрами для разных значений ЕТ. Влияние ЕТ оценивалось по стабильности значений I1max/I0 и ηе12 при изменении ЕТ от 0.001 до 0.00001. График зависимости представлен на рис.3.1. Как видно из графика влияние ЕТ на точность мало и уже при ЕТ=0.0005 практически полностью отсутствует. Поэтому точные расчеты можно проводить при ЕТ=0.0005, а грубые можно делать и при ЕТ=0.001.

2.**ЕF** - критерий установления значений потенциала в узлах разностной сетки при расчете поля. Для определения влияния на точность этого параметра были проведены расчеты, аналогичные предыдущему пункту. Результаты представлены на рис.3.2. Кривая тока становится пологой при ЕF=0.00005 и дальнейшее уменьшение ЕF не имеет смысла. Кривая КПД при ЕF=0.00005 тоже приемлемо пологая.

3.**FPER** - число рядов электронов на дискретном участке электронного потока длиной в период. Зависимость точности от FPER представлена на рис.3.3. Видно, что влияние FPER на точность достаточно большое и не стабильное. Для точных расчетов надо использовать FPER = 30÷42.

4.**FBUF** - число начальных буферных периодов. Результат практически не зависит от этого параметра (рис.3.4.). Поэтому можно брать параметр FBUF=2.

5.**FHR** - число разностных клеток по оси. Оказывает наиболее сильное влияние на результат (рис.3.5.). Поэтому желательно брать большие значения. Но при больших значениях очень резко увеличивается время расчета.

6.**FL -** число слоев электронов в потоке в потоке. этот параметр не менялся и был равен FL=5.

На основании изложенных соображений было сформировано несколько групп вычислительных параметров , именуемых в дальнейшем вычислительными моделями (см. таблицу 3.1). Самая грубая модель G использовалась для прикидочных расчетов. С ее помощью искались наиболее перспективные области для дальнейших расчетов. С помощью модели Т исследовались найденные области и искались экстремальные точки. Все экспериментальные результаты приведенные в дипломе были получены с помощью модели Т, если не оговорено другое Для большой достоверности результатов точки с максимальными показателями пересчитывались по самой точной модели ST.

Расчеты проводились на IBM совместимых машинах с процессорами 80386, 80486 и PENTIUM. Среднее время расчета одного варианта на машине с процессором 80486 составляет:

по модели G - 4 мин.

по модели Т - 10 мин.

по модели ST - 35 мин.

Таблица 3.1.

**Описание вычислительных моделей**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Модель | ЕТ  Критерий установления скоростей электронов | EF  критерий установления потенциала в узлах разностной сетки | FPER  число рядов электронов на периоде | FBUF  число начальных буферных электронов | FHR  число разностныхклеток по радиусу |
| G | **0.0005** | **0.0001** | **18** | **2** | **19** |
| T | **0.0005** | **0.0001** | **24** | **2** | **28** |
| ST | **0.0001** | **0.00005** | **32** | **2** | **56** |



Рис.3.1. Зависимости ηе и I1max/I0 от вычислительного параметра ЕТ

Рис.3.2. Зависимости ηе и I1max/I0 от вычислительного параметра ЕF



Рис.3.3. Зависимости ηе и I1max/I0 от вычислительного параметра FPER



Рис.3.4. Зависимости ηе и I1max/I0 от вычислительного параметра FHR



Рис.3.5. Зависимости ηе и I1max/I0 от вычислительного параметра FBUF



# 3. ВЫВОДЫ

Таким образом в предыдущих работах, проведенных на кафедре ЭП исследованы электронные процессы, происходящие при взаимодействии электронов с полями резонаторов при больших углах пролета, соответствующих областям II и III на рис.2.1. При этом во второй области получены значения I1max/I0=1.53, а в третьей области I1max/I0=1.42 при равномерном поле и I1max/I0=1.6 при неравномерном. Проведенные расчеты различных вариантов клистронов, содержащих два высокочастотных зазора , показали ,что электронный КПД составляет от 52 до 57%. При этом общий КПД клистронов можно ожидать около 50%, т.е. примерно в 2 раза выше, чем у клистронов с двумя обычными зазорами. Достигнутая величина КПД уже находится на уровне разрабатываемых многорезонаторных клистронов (45-50%) [1].

Вместе с тем желательно дальнейшее повышение общего КПД до уровня 60%. В связи с этим возникает задача рассчитать и спроектировать двухрезонаторный клистрон с тремя пространствами взаимодействия. Первый резонатор двухзазорный "0" или "π" типа с широкими зазорами. Он будет самовозбуждаться что обеспечит стабильность работы при изменении нагрузки. Для этого у него должен быть КПД не хуже 2-3 %.

Выходной резонатор является простым однозазорным. В выходном резонаторе часть энергии будет расходоваться на потери в самом резонаторе. При КПД резонатора около 95 % это будет снижать выходной КПД по сравнению с электронным еще на 3-4 %.

Таким образом, с учетом потерь в выходном резонаторе и потерь на самовозбуждение во входном резонаторе, необходимо спроектировать клистрон со следующими данными :

КПД прибора 60-65 %

электронный КПД выходного зазора 63 %

КПД контура выходного резонатора 94-95%

входного резонатора 2-3 %

При этом общий электронный КПД преобразования мощности электронного потока в СВЧ мощность ( в дальнейшем общий электронный КПД) должен быть ηе∑=65-66%

# 4. ДВУХРЕЗОНАТОРНЫЙ КЛИСТРОН С РЕЗОНАТОРОМ "0" ВИДА И С θ1≈3π

# 5. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ШИРОКОМ ЗАЗОРЕ

Электронные процессы в зазоре рассчитываются с помощью ЭВМ . Однако целесообразно эти расчеты сравнить с аналитическими формулами, что бы в дальнейшем:

1) Ввести поправки к указанным формулам для проведения предварительных оценочных расчетов

2) Анализируя проведенные расчеты глубже понять физические процессы

Были исследованы электронные процессы во входном широком зазоре протяженностью d1 =6÷18 мм при параметрах ЭОС: U0=8 кВ, Рμ=0.30 мкА/В3/2 , 2а=3.5 мм., b=1.05 мм., b/a=0.6. Переменное напряжение на резонаторе изменялось в пределах *ξ1*=1.1÷2.4.

Как известно при широких зазорах и больших амплитудах взаимодействие поля с электронами имеет свои особенности. В частности электронная проводимость и коэффициент электронного взаимодействия обращаются в нуль при некоторых углах пролета. В [15] активная составляющая электронной проводимости описывается выражением:



где



Решение уравнения: Ge/Go=0 дает корни θ1=2π, θ2=2.86π

Проведем расчет соответствия между шириной зазора и углом пролета для данной ЭОС:



где d измеряется в метрах.

Таким образом углу пролета равному θ=2π соответствует ширина зазора, равная 21.6 мм.

Расчеты проведенные на ЭВМ дают значение, при котором электронные КПД и ток I1max/I0 обращается в ноль, равное примерно 19 мм рис.3.6. При этом видно, что ширина зазора d1 при которой ηе = 0 при увеличении амплитуды *ξ1* смещается вправо. Но амплитуда смещения небольшая и равна 0.4 мм. Это составляет 2.1% от ширины зазора при изменении амплитуды *ξ1* от 0.5 до 2.4. Поэтому в первом приближении можно пренебречь этой зависимостью и принять, что углу пролета равному 2π соответствует ширина зазора равная 19 мм.

Также было замечено, что при увеличении диаметра канала точка нулевого КПД смещается влево. На рис.3.6 представлена одна кривая соответствующая диаметру пролетного канала 2а=5.5 при *ξ1* = 0.5 и прочих равных условиях. Это смещение можно объяснить, тем, что при более широком канале увеличивается провисание поля в канале и электроны взаимодействуют с полем на большем протяжении.

На этом же рисунке представлены кривые КПД еще для двух значений микропервианса Рμ=0.2 мкА/В3/2 и Рμ=0.4 мкА/В3/2 . Большему значению первианса соответствует семейство смещенное влево. Это смещение можно объяснить, вероятно влиянием плотности тока и провисания напряжения в канал на эффективный угол пролета. При небольшом первеансе такое сокращение угла определяется тем, что действующая величина зазора больше расстояния между краями пролетных труб на два участка , соответствующих провисанию поля в каналы. При увеличении первеанса увеличивается провисание потенциала в зазоре вследствии увеличения пространственного заряда. Поэтому эффективный угол пролета увеличивается. Увеличение первеанса на 0.1мкА/В3/2  вызывает смещение точки соответствующей Gе=0 при θ≈2π на 0.8 мм. Повышение ξ от 1.2 до 2 сдвигает указанную точку вправо примерно на 0.3 , т.е. влияет в меньшей степени.

Второй раз электронный КПД обращается в ноль при d1 =23 мм, что соответствует углу пролета θ=2.86π . Видно что как и в предыдущем случае величина d1 при которой КПД=0 слабо зависит от *ξ1* и этим в первом приближении можно пренебречь.

Учитывая, что электронная проводимость однозначно связана с электронным КПД формулой :



то очевидно, что зависимости ηе(θ) и Ge/Go(θ) имеют одинаковую форму, но с учетом минуса перевернуты. Поэтому точки в которых Ge/Go=0, соответствуют точкам в которых ηе =0.

Кроме выше названных двух точек θ1=0 и θ1=2.86π на рис.2.1 видны еще две характерные точки. Это точки экстремумов электронной проводимости Ge/Go. Первая точка лежит в районе θ=π, вторая в районе θ=2.5π. Для нахождения этих точек надо продифференцировать Ge/Go.

Воспользуемся выражением, приведенным в [16].

отсюда:



Для нахождения экстремума приравняем производную к нулю .Решением этого уравнения являются корни : *θ=1.116π и θ=2.394π*

Теперь можно соотнести теоретически рассчитанные точки с результатами численных расчетов на рис.3.7(а,б). Точке θ=1.116π соответствует зазор шириной d =10 мм, а точке θ=2.394π соответствует зазор с d =21.5 мм. Результаты сведены в таблице 3.2. В первом столбике

Таблица 3.2.

## 5.1. Расчет клистрона с резонатором “π"-типа

### 5.1.1. Расчет входного резонатора

Формулирование цели расчета

Расчет клистрона в целом целесообразно разделить на два этапа:

Расчет процессов связанных с входным резонатором

Расчет прибора в целом

Такой подход позволяет сократить время расчетов и лучше понять суть происходящих физических процессов.

Функцией цели при расчете входного резонатора является максимум первой гармоники конвекционного тока I1max/I0 , при электронном КПД первого резонатора ηе12 не менее 2-3%. Из опыта известно , что для получения электронного КПД в выходном зазоре ηе3 около 60-65% необходимо иметь максимум тока I1max/I0 ≥1.65.

Это условие является необходимым , но недостаточным. При больших амплитудах, с которыми работает данный резонатор большую роль играет неоднородность электронного потока. В первой приближении эта неоднородность тем выше, чем выше переменные скорости электронов. Переменные скорости электронов в первом приближении связаны с координатой Zopt, где ток I1max/I0 становится максимальным. Чем больше Zopt , тем меньше переменные скорости электронов, а значит меньше неравномерность скоростей электронов. Как дальше будет видно приемлемые результаты по ηе3 для резонатора "π"-вида получаются при Zopt ≥ 56 мм. Кроме того при Zopt<54 мм расстояние между первым и вторым зазором становится малым и появляется взаимное проникновение полей между резонаторами. Особенно хорошие результаты получаются при Zopt ≥60 мм . При Zopt ≤ 54 даже при очень большом значении I1max/I0 большой выходной КПД получить не удается. Результаты подобных расчетов приведены в табл.3.3.

Таблица 3.3.

**Зависимость КПД от Zopt .**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| I1max/I0 | Zopt | ηе3 |
| **1.7108** | **54** | **0.601** |
| **1.6566** | **58** | **0.6209** |
| **1.6307** | **60** | **0.6314** |

Влияние различных факторов на группирование электронного потока

Для первоначального определения области оптимизации резонатора можно воспользоваться графиками на рис.3.7. Процесс выбора области оптимизации является эмпирическим, но можно сформулировать несколько советов, которые могут помочь при выборе зазоров:

Первый зазор должен иметь по возможности больший ток I1max/I0 при наименьшем отрицательном КПД. Максимум тока I1max/I0 должен приходится на Zopt =56-60 мм. При этом надо учитывать, что расстояние L ( см.рис.3.7(б)) отличается от Zopt на расстояние на котором находится середина первого зазора. Надо также учитывать искажающее действие второго зазора на электронный поток, поэтому итоговое значение L может отличаться от рассчитанного по рисунку.

Максимум тока от второго зазора должен совпадать в пространстве с максимумом от первого зазора. Расстояние от центра первого до центра второго зазора составляет для первой зоны колебаний "π"-резонатора около (1.25÷1.5)2π, что составляет L12=26÷28 мм. С учетом этого сгусток от второго резонатора должен группироваться на 26÷28 мм ближе.

Амплитуда переменного напряжения ξ12 должна быть больше 1.5 , так как при меньших амплитудах исчезает фактор больших амплитуд и модуляция приближается к синусоидальной. Но при очень больший амплитудах возрастает разброс скоростей электронов.

Теперь рассмотрим подробнее влияние различных факторов на работу резонатора:

**Протяженность и амплитуда напряжения первого зазора.** Графики на рис.3.7 иллюстрируют зависимости параметров характеризующих электронный поток от первого зазора**.** Рабочей является область с d1 =15±1 мм. Это определяется необходимостью иметь Zopt > 56 мм, что не достигается при d1 < 14 мм. При больших значениях d1 зазор не обеспечивает достаточна большого тока I1max/I0 . Недостатком этой области является большая крутизна тока I1max/I0 и КПД по ширине зазора d1 .Фактически ток зависит не от самой ширины зазора , а от угла пролета в зазоре. Поэтому при флюктуациях ускоряющего напряжения U0 будет происходить изменение тока и КПД. Поэтому необходимо делать жесткую схему стабилизации ускоряющего потенциала.

**Расстояние между центрами зазоров.** График отражающий влияние L12 на ток I1max/I0 и КПД второго зазора представлен на рис.3.9. На этом рисунке представлена зависимость для резонатора “0” - типа. Но поскольку физические принципы взаимодействия одинаковы для резонаторов “0” и “π“ - вида, то основные закономерности можно рассмотреть и поэтому графику. С увеличением L12 растет конвекционный ток I1max/I0 и уменьшается положительное КПД второго зазора . Объяснить это явление можно , если обратиться к рис.3.10. На этом рисунке представлены два крайних случая. Рис.3.10(а). соответствует короткой пролетной трубе, т.е. малому L12 . При этом электроны попадают в максимум тормозящего поля второго зазора. Они сильно тормозятся, отдают много энергии и поэтому КПД второго зазора высок. Но при этом сгусток становится более рыхлым и разваливается. В результате конвекционный ток на выходе из резонатора становится маленьким. Рис.3.10(б). соответствует длинной пролетной трубе. Сгусток попадает на прямолинейный участок синусоиды. Это способствует дальнейшему группированию электронов и повышению конвекционного тока. При этом Рис.3.10.К объяснению влияния L12 на I1max/I0 и ηе12



электроны отдают только малую часть своей энергии полю резонатора и поэтому КПД второго зазора становится маленьким.

Это два крайних случая. При расчетах они не встречаются, но с их помощью можно наглядно объяснить влияние L12 на ток и КПД. Но надо отметить, что подобный механизм не всегда оказывается справедливым, в частности, в дальнейшем будет исследована одна из точек, где ток I1max/I0 будет уменьшаться и при увеличении, и при уменьшении L12 .

**Протяженность и амплитуда напряжения второго зазора.** Наиболее сложным для изучения влияния на группирование является второй зазор. Очень сложно выделить влияние этого фактора в чистом виде. Этому препятствует то обстоятельство. что при изменении входного зазора во второй зазор поступает измененный электронный поток и поэтому взаимодействие с ним будет носить иные результаты.

Поэтому влияние ширины второго зазора на электронный поток , выходящий из первого резонатора, будем рассматривать при неизменных параметрах первого зазора и расстояния между первым и вторым зазорами. Результаты исследований приведены на рис.3.11. При больших d2 уменьшение ширины зазора приводит к увеличению электронного КПД ηе12 и максимума тока I1max/I0 , а также к уменьшению Zopt . Это можно объяснить лучшим взаимодействием электронного потока при уменьшении зазора .При больших d2 электронный поток группируется далеко, что хорошо по причинам ,описанным выше.

При дальнейшем уменьшении ширины зазора d2 уменьшается сначала ток I1max/I0 , а затем и электронный КПД ηе12 . Уменьшение тока можно объяснить, тем что сгусток от второго зазора группируется ближе, чем сгусток от первого. Поэтому происходит размывание максимума тока и он снижается.

Снижение электронного КПД происходит при меньших значениях d2 , чем снижение тока I1max/I0 . Это объясняется тем, что КПД зависит от того какую часть энергии отдадут электроны с зазор. Она тем больше, чем больше коэффициент взаимодействия, т.е. чем меньше зазор. Поэтому при уменьшении d2 электронный КПД возрастает. Причиной его падения при дальнейшем уменьшении d2 является появление колеблющихся электронов во втором зазоре , но это происходит при малых d2, которые не имеют практического применения.

Влияние амплитуды на втором зазоре ξ2  аналогично влиянию ширины зазора d2 . В первом приближении увеличение амплитуды схоже по своему действию с уменьшением зазора. Влияние амплитуды ξ2  лучше рассмотреть на примере резонатора “0” - типа, так как в резонаторе “π“ - типа изменять амплитуду только на втором зазоре невозможно. Зависимости параметров электронного потока от ξ2  представлены на рис.3.12. Видно ,что изменение амплитуды значительно меньше меньше влияет на электронные процессы, чем изменение ширины зазора, поэтому может служить для окончательной оптимизации прибора.

Суммируя вышесказанное о втором зазоре надо еще раз подчеркнуть, что его параметры надо выбирать не только из соображений высокого тока I1max/I0 и приемлемого КПД ηе12 =2÷3%, но и подбирая Zopt > 56 мм. для клистрона с резонатором “π“ - типа.



Рис.3.11. Зависимость I1max/I0 и ηе12 от ширины второго зазора d2

Рис.3.12. Зависимость I1max/I0 и ηе12 от амплитуды на втором зазоре *ξ2*



### 5.1.2. Расчет процессов в выходном резонаторе

Выходной резонатор должен обеспечить максимально эффективное, равномерное торможение всех электронов. При этом не желательно иметь обратно выброшенные электроны.

Второй резонатор надо располагать на 1÷4 мм. ближе максимума тока I1max/I0 . При этом достигается максимальный КПД. Типичное взаимное расположение тока и КПД в пространстве представлено на рис.13. Необходимость ставить резонатор в месте где ток не достигает максимума, объясняется тем , что в максимуме происходит перегон. При перегоне быстрые электроны догоняют и перегоняют медленные. До перегона медленные электроны шли впереди быстрых и поэтому входили в зазор когда напряжение на нем не достигало минимума, а быстрые попадали в минимум напряжения. Это позволяло равномерно затормозить все электроны. При перегоне и быстрые, и медленные электроны тормозятся одним напряжением. Поэтому либо медленные выбросятся их зазора, либо быстрые затормозятся не достаточно эффективно.

Выходной резонатор является обычным узким с углом пролета меньше π/2. С точки зрения эффективности взаимодействия лучше брать, как можно более узкий зазор. Но минимальная ширина зазора ограничивается величиной емкости зазора. Исходя из этих противоречивых требований в данном дипломе используется выходной зазор шириной 4 мм.

Амплитуда напряжения на выходном зазоре подбирается в каждом случае эмпирически по наибольшему КПД. Надо стараться сделать максимальную амплитуду, но чтобы не было обратных электронов. Увеличение амплитуды на 0.1 увеличивает выходной КПД примерно на 0.5% ( рис.3.14 ) до тех пор пока не появятся обратновыброшенные электроны. На рис.3.14 точка А соответствует появлению обратновыброшенных электронов.

Рис.3.13. Взаимное расположение тока I1max/I0 и КПД выходного зазора ηе3 в пространстве.



Рис.3.14. Зависимость выходного КПД ηе3 от амплитуды *ξ3*

Очень большое значение для процессов в выходном резонаторе играет соотношение фаз тока и напряжения . Электронный КПД третьего зазора определяется по формуле:



где **ξ**3- амплитуда напряжения третьего зазора

Iн3 = Iн3 / Io -наведенный ток третьего зазора

*φ* - угол между током и напряжением

Исходя из формулы, можно решить, что нужно стремиться к φ = 0, при этом cos *φ* = 1 и ηе3=max . На самом деле при *φ*=0 наведенный ток небольшой и растет с уменьшением *φ* ( рис.3.15). Поэтому произведение Iн3 и cos *φ* становится наибольшим при *φ* = -(0.3÷0.4).

## 5.2. Электронные процессы в резонаторе "0" типа

## 5.3. Влияние магнитного поля на процессы в клистроне

Как известно магнитное поле используется для ограничения поперечного размера электронного пучка, что позволяет увеличить токопрохождение, и как следствие снизить нагрев и потери мощности. Вместе с этим сильное магнитное поле ухудшает характеристики клистрона. Было замечено, уменьшение напряжения магнитного поля увеличивает конвекционный ток первой гармоники I1max/I0 и расстояние на котором этот ток становится максимальным Zopt . На рис.3.19 представлены зависимости I1max/I0 и Zopt от магнитного поля B2/U0 . Увеличение тока I1max/I0 и расстояния Zopt позволяет увеличить КПД прибора. Из вышесказанного понятно что для получения оптимальных параметров прибора магнитное поле должно быть минимальным, но обеспечивать приемлемое токопрохождение.

Рис.3.19. Зависимость I1max/I0 и Zopt от магнитного поля B2/U0



В процессе разработки прибора использовалось поле величиной B2/U0=70-180. Это достаточно сильное поле особенно при B2/U0>100. Оно очень сильно влияет на электронный поток. Достаточно сказать, что при начальном радиусе пучка 1.05 мм через 10 мм пролета в резонаторе его радиус становится равным 0.1 мм. При этом коэффициент пульсаций достигает 10.5.

Величина поля необходимого для фокусировки зависит в основном от двух факторов: напряженности поля и силы расталкивания пространственного заряда. Напряженность электрического поля в выходном зазоре в выходном зазоре в несколько раз больше чем во входном, т.к. входные зазоры широкие, а выходные узкие.

Исходя из этого можно в начале прибора использовать меньшее магнитное поле, а затем увеличить его до номинального. Было рассчитано несколько вариантов такой схемы. Наиболее хороший результат дал вариант с резонатором "π"-вида с параметрами: d1=15.5 мм, d2=10 мм, L12=27 мм, *ξ1*=1.5, *ξ2*=-1.5, на интервале 0-30 мм поле равно B2/U0 =84, а дальше поле равно B2/U0=140. Полученные результаты приведены в табл.3.11. Для сравнения там же приведены результаты для такого же клистрона , но с равномерным магнитным полем. Полученный I1max/I0 является лучшим за весь период расчета. Видно, что с равномерным полем результат хуже как по току так и по расстоянию Zopt .

Таблица 3.11.

**Сравнительные результаты при неравномерном и равномерном магнитном поле**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Маг.поле** | **I1max/I0** | **Zopt** | **ηе12** | **ηе3** | **ηе∑** |
| **Неравномер.** | **1.7523** | **58** | **0.091** | **0.6185** | **0.708** |
| **Равномерное** | **1.6623** | **54** | **0.089** |  |  |

Полученные результаты надо рассматривать, как прикидочные, т.к. малый объем расчетов не позволяет говорить о том, что был достигнут максимум. Вероятнее всего можно получить еще больший ток. Но поскольку получение неоднородного магнитного поля вызовет усложнение конструкции было решено пока остановиться на варианте с рвномерным магнитным полем. К тому же рассматриваемое неравномерное магнитное поле имеет нереальное распределение по Z в виде ступеньки. Поэтому полученные результаты лишь показывают возможность улучшения параметров клистрона за счет применения неоднородного магнитного поля.

В

1

0.6

0

30 Z

Рис.3.20. Схематическое изображение двухрезонаторного клистрона  
с резонатором "π" - вида с θ1≈3/2π, с неоднородным магнитным полем

**Зависимость угла пролета от ширины зазора.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Угол пролета θ | Ширина реального зазора, мм | Теоретическая ширина зазора, мм | Отклонение, % |
| 0 | **0** | **0** | **0** |
| 1.116π | **10** | **12.05** | **20.5** |
| 2π | **19** | **21.6** | **13.7** |
| 2.394π | **21.5** | **25.86** | **20.3** |
| 2.86π | **23** | **30.89** | **34.3** |

угол пролета зазора для характерных точек; во втором столбике ширина реального зазора, соответствующего данному углу пролета; и в третьем столбике ширина зазора, соответствующая данному углу пролета, рассчитанная теоретически по формуле: d=θv/ω

На рис.3.8. изображен график зависимости эквивалентного угла пролета от ширины зазора, построенный по данным таблицы 3.2. Пользуясь этим графиком можно ориентировочно определять угол пролета и электронный КПД зазора. Для этого для исходной ширины зазора определяется эквивалентный угол по графику на рис.3.8 . Затем по формуле:



определяется электронная проводимость, а по формуле:



определяется электронный КПД зазора. На рис.3.7(б) пунктиром нанесена линия КПД, рассчитанная по такой методике для *ξ1* =1. Погрешность составляет 1-2%, что говорит о возможности применения данной методики для оценочных расчетов.

Аналогично по формуле:



можно оценить значение коэффициента взаимодействия.

# 6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ КЛИСТРОНА

Клистрон выполняется многолучевым, использует разработанную на предприятии ЭОС с 24 лучами, сосредоточенными в центре резонатора, в котором используется основной вид колебаний.

Прибор состоит из четырех основных узлов: резонаторная система, катодный узел, коллекторный узел и вывод энергии.

Резонаторная система клистрона представляет собой два резонатора. Первый резонатор имеет два высокочастотных зазора. Трубка дрейфа поддерживается металлическим стержнем. На внутренней стенке резонатора располагаются выступы, для получения заданной структуры поля. Они образуются подбором размеров пролетных труб. Второй резонатор однорезонаторный с узким зазором. Для эффективного отвода тепла корпус резонатора, трубка дрейфа и держатель изготавливаются из меди типа МБ. Выходной резонатор имеет отверстие для соединения с выводом энергии баночного типа, который вакуумно уплотнен диэлектрической пластиной из керамики марки 22ХС. Входной резонатор имеет вывод энергии с небольшой связью в виде петли связи. Это позволяет контролировать работу генератора. Для фокусировки электронного потока в приборе применена фокусирующая система из постоянных магнитов. Для этого на входе и выходе резонаторного блока припаиваются магнитные полюса из стали, на которые одеваются кольцевые постоянные магниты.

Катодный и коллекторный узлы и вывод энергии взяты от готового прибора, разрабатываемого промышленностью. Катодный узел имеет многолучевую пушку с импергированным катодом, выполненным в виде отдельных спрессованных таблеток, фокусирующий электрод и ножку. Фокусирующий электрод имеет свой вывод. Подогреватель пушки изготавливается из вольфрама, остальные детали из никеля и сплава марки 47НКД. Все диэлектрические детали изготавливаются из керамики марки .

Размеры резонаторов (протяженность первого и второго зазоров, длина трубки дрейфа, выступы) выбираются по расчетным данным, исходя из оптимального КПД.

Коллектор, используемый в данном приборе предназначен для отвода 40 кВт мощности потерь с водяным охлаждением.

Катодный узел, коллектор и вывод энергии соединяются с резонатором с помощью аргоно-дуговой сварки, что позволяет легко менять данные узлы при выходе из строя без замены остальных узлов резонатора.

# 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## 7.1. Календарный план разработки

Планирование исследовательской работы заключается в составлении календарного плана проведения исследовательской работы. Он отражает перечень работ по этапам, строгую очередность в выполнении отдельных этапов работы, сроки выполнения, количество и квалификацию лиц, занятых при разработке темы.

В качестве метода календарного планирования выбран ленточный график, приведенный на рис.5.1. Шифр проводимых работ дан в таблице 5.1.

Все работы, проводимые в ходе выполнения НИР можно разделить на три периода:

подготовительный период.

экспериментальное исследование электронных процессов в приборе.

подведение итогов.

В данном дипломном проекте проводится численный эксперимент, то есть расчет электронных процессов на ЭВМ.

На первом этапе были проведены следующие работы: - составление и согласование ТЗ - подбор и изучение литературы - изучение особенностей программы расчета электронных процессов

Во время второго этапа: - подготовка исходных данных - расчет электронных процессов на ЭВМ - построение графиков - анализ полученных результатов - оптимизация параметров на ЭВМ

Во время третьего этапа: - изучение конструкции прибора - изучение технологии изготовления прибора - оформление графической части - оформление, согласование и сдача отчета

## 7.2. Смета затрат на разработку

В затраты на проектирование входят:

1. заработная плата ИТР - дополнительная плата ИТР (15% от основной ЗП)
2. отчисления на социальные нужды (40.5% от суммы ЗП)
3. затраты на эксплуатацию ЭВМ в расчете 5000 рублей за 1 час машинного времени
4. накладные расходы, составляющие 100% от суммы заработной платы, социальных отчислений, затрат на эксплуатацию ЭВМ
5. прибыль составляет 20% от суммы предыдущих статей
6. НДС составляет 20% от суммы предыдущих статей

Заработная плата рассчитывается по формуле:

ЗП = ti \* Tдн \* q,

где ti - трудоемкость в днях

Tдн- дневная тарифная ставка

q - количество исполнителей.

Дневная ЗП инженера = 9397 руб.

Дневная ЗП старшего инженера = 17417 руб.

Дополнительная ЗП = Основная ЗП \* 0.15

Затраты на ЗП приведены в таблице 5.2.

Отчисления на социальные нужды = (ЗПосн+ЗПдоп) \* 0.405 = (638672+95801) \* 0.405 = 297462 руб.

Затраты на машинное время = количество отработанных часов \* стоимость одного часа машинного времени = 160 \* 5000 = 800000 руб. Затраты на эксплуатацию ЭВМ приведены в таблице 5.3.

Накладные расходы = (ЗПосн + ЗПдоп + СОЦотч + МАШвр) \* 1.00 =366387

Прибыль = (ЗПосн + ЗПдоп + СОЦотч + МАШвр + НАКЛрас) \* 0.2

НДС = (ЗПосн + ЗПдоп + СОЦотч + МАШвр + НАКЛрас + ПРИБ) \* 0.2

Смета затрат - в таблице 5.4.

## 7.3. Выводы по эффективности дипломного проекта

Так как тема данного дипломного проекта имеет теоретически-исследовательский характер, то посчитать в денежном выражении и в окончательном виде экономический эффект не представляется возможным. Но можно дать предварительную оценку.

Проведение расчетов на ЭВМ позволяет сократить срок разработки приборов, число разработчиков. Расчет геометрии на ЭВМ позволило свести к минимуму количество экспериментальных макетов и значительно уменьшить трудоемкость экспериментальных исследований.

Таким образом, использование ЭВМ в процессе проектирования приборов дает основание ожидать высокую эффективность работ из-за сокращения затрат на стадии разработки.

Затраты на эксплуатацию ЭВМ можно снизить за счет более детальной подготовки исходных данных для расчета, тщательного продумывания направления дальнейшего расчета и за счет использования ЭВМ с большим быстродействием.

# 8. БЕЗОПАСНОСТЬ И ЭКОЛОГИЧНОСТЬ ПРОЕКТА

Анализ условий труда оператора вычислительной техники  
с оценкой тяжести и напряженности труда

Согласно ГОСТ 12.0.002-74 опасным производственным фактором считается фактор, воздействие которого приводит к травме. Вредный производственный фактор - фактор, воздействие которого на работающего приводит к заболеванию.

Операторы ЭВМ, операторы по подготовке данных, программисты и другие работники ВЦ (вычислительного центра) сталкиваются с воздействием таких опасных и вредных производственных факторов, как электрический ток, повышенный уровень шума, повышенная температура окружающей среды, отсутствие или недостаток естественного света, недостаточная освещенность рабочей зоны, психофизические факторы (напряжение зрительных и слуховых анализаторов, умственное напряжение) и др.

В ГОСТ 12.0.003-74 дается классификация опасных и вредных производственных факторов, которые по природе воздействия делятся на следующие:

физические;

химические;

биологические;

психофизиологические.

К первым трем относится ряд опасных факторов.

а) Высокое значение напряжения в электрической цепи.

Эксплуатация оборудования машинного зала связана с применением переменного электрического тока напряжением 220В,частотой 50Гц. Ток именно такой частоты наиболее опасен для жизни человека. Электрический ток, проходя через организм, оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействие, вызывая местные и общие электротравмы. Местные травмы подразделяются на: электрические ожоги, электрические знаки, металлизацию кожи, механические повреждения, электро-офтальмию. Общие электротравмы или электрические удары по тяжести делятся на четыре степени:

1 степень - судорожное сокращение мышц без потери созна-ния;

2 степень - сокращение мышц с потерей сознания, но с сохранившемся дыханием и работой сердца;

3 степень - потеря сознания и нарушение сердечной деятельности или дыхания (или того и другого сразу);

4 степень - клиническая смерть.

б) Повышенный уровень статического электричества.

Электризация - это комплекс физических и химических процессов, приводящих к разделению в пространстве зарядов противоположных знаков или к накоплению зарядов одного знака. Суть электризации заключается в том, что нейтральные тела, не проявляющие в нормальном состоянии электрических свойств, в условиях отрицательного контакта или взаимодействия становятся электрозаряженными. На рассматриваемом рабочем месте оператора ЭВМ электризация (повышенный уровень статического электричества) возникает на поверхности экранов видеомониторов при длительной их работе и на анодном электроде электронно-лучевых трубок этих устройств. Статическое напряжение на них может достигать 11 кВ. Статическое электричество оказывает вредное воздействие на организм человека, причем не только при непосредственном контакте с зарядом, но и за счет действия электрического поля, возникающего вокруг заряженных поверхностей.

в) Повышенный уровень шума на рабочем месте.

Шумом называется всякий неблагоприятно действующий на человека звук. Обычно шум является сочетанием звуков различной частоты и интенсивности. Требования к шуму определяются СНиП 11-12-77 и СН-512-78. В помещениях программистов и операторов видеотерминалов уровень звука не должен превышать 50дБа. Многочисленными исследованиями установлено, что шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на все органы и системы организма человека. Исследованиями последних лет установлено, что под влиянием шума наступают изменения в органах зрения человека(снижается устойчивость ясного видения и острота зрения, изменяется чувствительность к различным цветам и др.) и вестибулярном аппарате; нарушаются функции желудочно-кишечного тракта; повышается внутричерепное давление; происходят нарушения в обменных процессах организма и т.п. На рассматриваемом месте работы оператора ЭВМ на него действует непостоянный прерывистый шум, производимый следующими устройствами: кондиционеры воздуха, вентиляторы систем охлаждения аппаратуры, принтеры. Такой шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и восприятие информации (слежение, сбор информации, мышление).

г) Повышенная температура окружающей среды, влажность.

Система кондиционирования, вентиляции и отопления должна соответствовать ГОСТ 12.1.005-88, СНиП 11-33-75 и СН-512-78.Система кондиционирования машинного зала ВЦ должна быть рассчитана на обеспечение в теплый период года температуры23-25 градуса, влажности 40-60 процентов и скорости движения воздуха 0,1-0,2 м/с. В холодный период года температура не должна быть меньше 22-24 градуса. Повышенная температура воздуха и влажность может привести к нагреву тела человека, как следствие этого возникает быстрая утомленность, головокружение. Источником повышенной температуры является разнообразная аппаратура.

д) Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны.

Система освещения на ВЦ должна удовлетворять требованиям СНиП 11-4-79. Рекомендуется применять систему комбинированного искусственного освещения с использованием люминесцентных ламп типа ЛБ и светильников отраженного или рассеянного светораспределения (тип УСП-5.2х40, УСП-35-2х40, ЛВ003-2х40-002), расположенных в равномерном прямоугольном порядке. Аномальное освещение рабочего места может привести к снижению зрения, головной боли, преждевременному утомлению. Источником этого является неправильное расположение источников света.

## 8.1. Последствия психофизических перегрузок оператора

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы по характеру их действия подразделяются на физические и нервно-психические перегрузки. На рабочем месте оператора ЭВМ действуют в основном только нервно-психические перегрузки.

а) Умственные и эмоциональные перегрузки. Обусловлены спецификой труда оператора ЭВМ. При умственной работе, по сравнению с физической, потребление кислорода мозгом увеличивается в 15-20 раз. Если для умственной работы требуется значительное нервно-эмоциональное напряжение, то возможны изменения кровяного давления, пульса. Длительная работа такого характера может привести к заболеваниям, в частности сердечно-сосудистым и некоторым другим.

б) Перенапряжение анализаторов. На рабочем месте оператора ЭВМ возможно перенапряжение органов зрения, вызываемое применением дисплеев с низким разрешением, не отрегулированных по яркости и контрастности, а также неправильной их установкой относительно окон и осветительных приборов. В связи с этим, немаловажное значение имеет задача планирования процесса труда, с целью не допустить перенапряжения органов чувств, которое может привести к стрессам.

Таблица

Матрица опасности для выявленных опасных и вредных производственных факторов представлена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| источник опасности | Повыш. Напряжение | статич. Эл-во | Шум | умств. и эмоц-ные перегруз. | Перенапр. органов чувств |
| сеть электропитания | # |  |  |  |  |
| Принтеры |  |  | # |  |  |
| Кондиционеры |  |  | # |  |  |
| Вентиляторы |  |  | # |  |  |
| Видиомониторы |  | # |  |  | # |
| Специфика труда |  |  |  | # |  |

## 8.2. Пожарная безопасность в вычислительных центрах

Источником пожара в помещении, где находится ПЭВМ, может быть короткое замыкание, перегрузка соединительных проводов сети, возникновение больших переходных сопротивлений. При коротком замыкании и перегрузке температура перехода тока с одного провода на другой повышается и происходит воспламенение изоляции. Пределы огнестойкости строительных конструкций, эвакуационные пути, конструктивно-планировочные решения регламентированы в СН и П 2-01.02-85. Исключительно важное значение для предотвращения электротравматизма имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок, четкое и своевременное проведение ремонтных и профилактических работ.

## 8.3. Выбор системы кондиционирования и расчет числа кондиционеров

Дипломный проект был написан в помещении 4 ПЭВМ. Около входной двери находится углекислый огнетушитель. Для отопления помещения в холодный период года предусмотрена водяная система отопления. Наряду с естественным освещением в темное время суток применяется люминесцентная система освещения. Для кондиционирования в помещении с ПЭВМ необходимы кондиционеры.

Для кондиционирования используются бытовые кондиционеры БК. Их устанавливают в окнах и воздух подается непосредственно в помещение.

Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого в помещение, должно быть не менее необходимого по санитарным нормам подачи на 1 час, что составляет 30 кг/ч. В связи с этим минимальное необходимое количество наружного воздуха GHmin=30\*n кг/ч, n-число рабочих (n=4).

Ghmin = 30\*4 = 120 кг/ч.

В рассмотренной схеме организации воздухообмена весь воздух, проходящий через кондиционер, считается наружным. Наружный воздух с расчетной температурой tн=28.50С охлаждает кондиционером до tк, а затем нагревается до tвн - температуры помещения. При расчете числа кондиционеров следует решить систему уравнений:

3600\*Qэвм=N\*r\*Gк\*Cк\*(tвн-tк)

3600\*Qк=r\*Gк\*Cк\*(tн-tк)

где N-число кондиционеров, r-средний расчетный удельный вес воздуха, r=1.2 кг/м3 Gк - производительность кондиционера по воздуху, м3/ч Ск - средняя теплоемкость охлаждающегося воздуха, кДж/кг\*0С

Ск=1.005+1.8d

где d=623\*fк\*рк/(В-fк\*рк), рк - упругость насыщенного пара при температуре tк.

Зависимость р от t приведена в таблице, где fк - относительная влажность в долях, В=993 Гпа - полное барометрическое давление, Сн выбирается аналогично Ск при рн и fн.

Выбираем по таблице кондиционер БК-1500. Для него Gк=400 м/ч, Qк=1.74 кВт. QЭВМ - результирующее тепловыделение в машинном зале. Мощность средств вычислительной техники по технической документации составляет 7.5 кВт. Тепловыделение человека 75 Вт. Общее тепловыделение n\*75=300 Вт. Тепловыделение от источников освещения составляет n\*65 Вт, где n-количество источников освещения, n=16, общее тепловыделение 65\*16=1040 Вт. Находим QЭВМ:

QЭВМ=7.5+0.3+1.04=8.34 кВт.

Параметры tвн, fвн определяются на основе ГОСТ 12.1.005-88.

Примем tвн=240C, fвн=50%, tк задается с учетом того, что перепад температур ЭВМ не должен превышать 150С. Относительная влажность fк должна быть порядка 75-80% . Расчетная температура наружного воздуха для теплого периода года составляет tн=28.50С.

Расчет числа кондиционеров выполняется для трех значений относительной влажности наружного воздуха fн-40, 60, 80%.

По формулам (7.3) и (7.4) определяется Ск:

Ск=1.005+1.8\*(623\*0.75\*23.38/993-0.75\*23.38)=21.16 кДж/кг\*0C

Аналогично определяется значение Сн.

Для f=40% :

Cн=1.005+1.8\*(623\*0.4\*38.91/993-0.4\*38.91)=18.86 кДж/кг\*0C

Для f=60% Cн=28.004 кДж/кг\*0C.

Для f=80% Cн=37.29 кДж/кг\*0C.

Требуемое число кондиционеров

N=int{3600\*Qэвм/1.2Gк\*Cк(tвн-tк)}+1

При tн=28.50C принимаем tк=200C, tвн=240C, fк=75%, fк=50%

Cк=1.005+1.8(623\*0.75\*23.38/993-0.75\*23.38)=21.16 кДж/кг\*0C

N=int{3600\*Qэвм/1.2Gк\*(tвн-tк)}+1=1.73,

следовательно, N=1.

Число кондиционеров должно обеспечить необходимую производительность по холоду Qк

Qк=r\*Gк\*Cн(tн-tк)/3600

Определяем Qк: fн=40% , Сн=18.86

Qк=12\*400\*18.861(28.5-20)/3600=21.375 кВт,

fн=60% ,Cн=28.004 Qк=31.73 кВт

fн=80% ,Cн=37.28 Qк=42.26 кВт

Во всех трех случаях выполняется условие Qк>Qктабл Qктабл=1.74 кВт. Проверим соответствие количества наружного воздуха санитарным нормам. Производительность по воздуху

Gн=N\*Gк=1\*400=400 м3/ч

Условие Gн>Gн мин (Gн мин=240 кг/ч) выполняется, следовательно, число БК-1500 можно принять равным 1

Бытовой кондиционер БК-1500 используется для ПЭВМ и СМЭВМ. Устанавливается в окнах и подает обработанный наружный воздух непосредственно в зал.

В процессе выполнения НИР необходимо, чтобы деятельность человека не сопровождалась вредным воздействием на среду обитания. Для этой цели необходимо избежать попадания во внешнюю среду отходов производства и вредных веществ. Для этого необходимо обеспечить герметичное хранение вредных веществ. Отходы производства собирать в специальные контейнеры и вывозить к месту переработки или уничтожения. При наличии большого количества вредных паров, образующихся при пайке, вентиляционные отверстия и шахты должны быть снабжены специальными фильтрами, задерживающими проникновение паров во внешнюю среду. В особых случаях следует применять химические нейтрализаторы.

В заключении следует отметить, что данный дипломный проект является безопасным в экологическом плане и при соблюдении требуемых норм безопасности при работе с ПЭВМ и периферийными устройствами не представляет опасности для жизни оператора ЭВМ. Кроме того используемые при проектировании технические средства не приводят к загрязнению окружающей среды и обострению экологической обстановки. Важное значение для предупреждения потенциально опасных для жизни человека факторов заключается в правильной организации работы на ЭВМ, в своевременном обслуживании действующих электроустановок.

# 9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассчитан и спроектирован автогенераторный клистрон с электронным КПД в выходном зазоре равным ηе3=0.62 и общим электронным КПД ηе∑=0.65. Для двухрезонаторного клистрона с тремя зазорами это является хорошим результатом. Это на 30-35% больше, чем у приборов выпускаемых промышленностью. Вместе с тем еще остаются возможности для последующего повышения КПД.

Вероятнее всего они связаны с исследованиями широкого зазора с θ1≈3π с неравномерным электрическим полем. Результаты полученные при расчете электронного тока позволяют надеяться на повышение КПД

Интересные перспективы открываются при использовании неоднородного магнитного поля. Уже рассчитан прибор с I1max/I0=1.75 и общим КПД ηе∑=0.7. Но усложнение конструкции вызванное неоднородным магнитным полем вынудило пока не считать ее в качестве основного варианта . В дальнейшем упомянутые конструкции будут дорабатываться.

# 10. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артюх И. Г. Мощные микроволновые электровакуумные приборы для систем связи и промышленного применения // Электронная промышленность - 1991. - №6 - 57 c.
2. Gebauer R. Wiss. Voroff. d.Texhnixhen Hochxhule Darmstadt. - 1, 65 (1947); 1, 97, 1949
3. Клистроны. Перевод с английского - М: Советское радио. - 1952. - 129 c.
4. Solimar L. Extension on the one-dimension (klistron) Solution to finite gaps // J. Electron Contr. - 1961. - V11, №5. - p.361-383; 1962. - V12, №4. - p.313-314.
5. Хайков А. З. Клистронные усилители. - М.: Связь , 1974. - 392 с.
6. Федяев В. К. Расчет группирования электронов в клистронах с длинными зазорами // Известия ЛЭТИ - 1966 - Вып. 62. с.287-300
7. Канавец В. И., Лопухин В. П., Сандалов А. П. Нелинейные процессы в мощных тногорезонаторных клистронах и оптимизация их порпметров // Лекции по электронике СВЧ. Книга 7. Изд. Саратовского университета, 1974.
8. Панов В. П., Сметанина Л. Ю., Юркин В. И. Расчет электронных процессов в двухрезонаторном клистроне с широким входным зазором // Электроника. Рязань: РРТИ , 1978. с.3-6.
9. Костиенко А. И., Пирогов Ю. А. Взаимодействие электронного потока с полем СВЧ в широком плоском зазоре , возбужденном на высшем типе колебаний // Радиотехника и электроника. 1962 - Вып. 2 - с. 332-338
10. Исследование процессов , связанных с взаимодействием электронов с СВЧ полем широкого входного зазора при больших амплитудах. Научн.рук. Панов В.П. Отчет / РГРТА. - Рязань. - 1994. - 36 с.
11. Исследование процессов взаимодействия электронов с полем резонатора при временах пролета, превышающих период колебаний и возможности создания новых генераторов СВЧ. Науч. рук. Панов В. П. Отчет / РГРТА. - Рязань. - 1994. - 22 с.
12. Взаимодействие сгруппированного электронного потока с полем высокочастотного зазора // Панов В.П., Буланкин В.А., Кутузова И.В., Юркин В.И.
13. Федяев В. К. Двухмерная модель электронного потока из деформируемых элементов // Вакуумная и плазменная электроника: Межвуз. сб. / Рязань: РРТИ - 1986 - с. 96-100
14. Федяев В. К., Юркин В. И. Программа анализа двухмерных динамических процессов в клистронах // Вакуумная и плазменная электроника: Межвуз. сб. / Рязань: РРТИ - 1986 - с. 101-105
15. Кацман Ю. А. Приборы СВЧ. - М.: Высш. шк., 1983. - 368 c.
16. Панов В. П. Направления развития и особенности клистронов // Методические указания. Рязань: РРТИ - 1991. - 36 с.
17. Лебедев Н. В. Техника и приборы СВЧ, т. 2. - М.: Энергия , 1964. - 375 с.
18. Панов В. П. Пространственный заряд в клистронах // Методические указания. Рязань: РРТИ - 1990. - 24 с.
19. Панов В. П., Кутузова И. В. Взаимодействие несгруппированного электронного потока с ВЧ полем зазора // Электронные приборы : Межвуз. сб. / Рязань: РРТИ - 1992 с. 93-96
20. Панов В. П., Кутузова И. В., Юркин В. И. Коэффициент электронного взаимодействия выходного зазора клистрона // Электронные приборы : Межвуз. сб. / Рязань: РРТИ - 1992 - с. 91-93
21. Панов В. П., Соломенников Г. В., Погорельский М. М. Дипломное проектирование // Методические указания. Рязань: РРТИ - 1989. - 28 с.
22. Панов В. П., Федяев В. К., Шишков А. А. Разработка новых конструкций , методов и программ расчета клистронов // Электросвязь 1992- № 4 - с. 39-40
23. Расчет и исследованиелектронных процессов в динамическом режиме работы приборов: Отчет о НИР / РРТИ ; Руководитель В. П. Панов. - № 423834. УДК 621.385.624. - Рязань, 1975. - 87 c.