

77-308



ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

На правах рукописи

САРКАРОВ Ниджеф Экбербубевич

**НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
РЕЗОНАТОРОВ ОКГ**

/01.04.05 - оптика/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата физико-математических
наук

ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА · 1976

Работа выполнена на кафедре оптики физического факультета
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук,
профессор Ф.А.Королев

Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук,
профессор А.Р.Стриганов
кандидат физико-математических наук
С.С.Бейков

Ведущее предприятие - ОКБ при Московском заводе электровакуум-
ных приборов

Защита состоится " _____ " _____ 1976 года в _____ часов
в ауд. _____ на заседании специализированного совета № I отде-
ления экспериментальной и теоретической физики физического фа-
культета в Московском государственном университете имени
М.В.Ломоносова /Москва, В-234, Ленинские горы, физический факуль-
тет/.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке физического фа-
культета МГУ.

Автореферат разослан " _____ " _____ 1976 года

Ученый секретарь специализированного совета,
кандидат физико-математических наук

А.А.Соловьев



Резонаторы, являющиеся важнейшей составной частью оптиче-
ских квантовых генераторов /ОКГ/ во многом определяют их харак-
теристики - мощность генерации, КПД, угловую направленность из-
лучения, его частотный спектр и другие. Для получения требуемых
свойств генерации большое значение имеет правильный выбор типа
резонаторной системы и ее оптимальных параметров, таких, как
коэффициенты отражения и пропускания зеркал /в общем случае -
коэффициент связи резонатора по мощности/, радиусы кривизны зер-
кал и прочие геометрические размеры резонатора. В настоящее вре-
мя, в связи с интенсивной разработкой новых образцов ОКГ, в том
числе мощных лазеров ИК диапазона, и с все более широким исполь-
зованием их в технике и промышленности, вопросы оптимизации оп-
тических резонаторов лазеров приобретают особую актуальность.

Несмотря на то, что теоретическому и экспериментальному
исследованию оптических резонаторов посвящена весьма обширная
литература, лишь в довольно ограниченном числе работ непосред-
ственно рассматривается проблема оптимизации параметров резона-
торов с учетом свойств заполняющей их активной среды. Многие
вопросы в этой области остаются до настоящего времени нерешенны-
ми. Среди них важный для практики вопрос о влиянии пространст-
венного распределения усиливающих свойств активной среды, а так-
же структуры поперечных мод лазера на энергетические характери-
стики генерации. Для определения оптимального пропускания зер-
кал ОКГ чаще всего привлекается модель лазера с пространствен-
но однородными характеристиками активной среды и поля излучения.
При этом, как правило, игнорируется /или учитывается лишь при-
ближенным образом/ и такой фактор, как наличие распределенных
потерь в активной среде.

В мощных газовых ОКГ, в том числе в газодинамических лазе-
1-2511

рах, в которых используются значительные объемы активного вещества, поперечный размер активной среды нередко оказывается сравнимым с ее длиной. В этих условиях применение обычного "линейного" резонатора, состоящего из 2-х зеркал, по ряду причин оказывается невыгодным, и прибегают к резонаторам более сложной конфигурации, а также к различного рода многоходовым усилительным кюветам. Однако последовательный сравнительный анализ эффективности таких систем в литературе отсутствует.

Наряду с обеспечением эффективного съема энергии с активной среды в проблеме оптимизации резонаторов не менее важным является получение высокой направленности и пространственной однородности выходного пучка. Эта последняя задача является особенно сложной для мощных лазеров ИК-диапазона, в которых используются металлические непрозрачные зеркала. Применение неустойчивых резонаторов лишь частично и далеко не во всех случаях решает данную проблему. Резонаторы с отверстием связи в зеркале и резонаторы с "решетчатыми" зеркалами также имеют ряд недостатков, главный из которых заключается в сложном распределении амплитуды и фазы в выходном сечении пучка. Следует добавить, что свойства типов колебаний в таких резонаторах еще требуют дальнейшего изучения как теоретического, так и экспериментального.

В настоящей работе исследуются вопросы оптимизации характеристик резонаторов ОКГ с целью повышения эффективности энергосъема с активной среды лазеров и улучшения пространственной однородности и направленности лазерных пучков.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе дан обзор литературы, посвященный теоретическому и экспериментальному исследованию свойств наиболее распространенных резонаторных систем. Особое внимание уделено вопросам

оптимизации параметров резонаторов с точки зрения получения максимальной выходной мощности и улучшения пространственных характеристик выходных лазерных пучков. Рассмотрены свойства собственных типов колебаний различных оптических резонаторов, а также влияние активной среды и пространственной конфигурации поля излучения на параметры лазерных пучков.

Во второй главе диссертации проведен сравнительный анализ эффективности различных способов съема энергии с больших объемов активной среды. Рассмотрены следующие системы: линейный двухзеркальный резонатор, резонатор с ломаной траекторией луча, различные типы оптических квантовых усилителей. В качестве критерия для сравнения лазерных систем использован коэффициент полезного съема энергии η , определяемый как отношение полезно выводимой мощности к полной мощности, запасенной активной средой. Коэффициент полезного съема энергии в линейном резонаторе рассчитан с учетом распределенных потерь и потерь энергии в зеркалах. Найдено, что существует оптимальная длина активной среды, при которой величина η максимальна. Однако при отношении распределенных потерь к усилению $\frac{a}{k_0} = 0,01 + 0,1$ выбор длины лазера не является строго критичным по отношению к коэффициенту полезного съема. Установлено, что с увеличением длины лазера радиационная нагрузка на "глухое" зеркало остается практически постоянной, в то время как поток мощности на выходное зеркало возрастает. В мощных лазерах это обстоятельство может сыграть положительную роль с точки зрения уменьшения радиационных нагрузок на "глухое" зеркало.

Расчет показал, что лазерные системы, в которых с помощью дополнительных зеркал осуществляется траектория луча в виде ломаной линии и тем самым увеличивается эффективная длина усиле-

ния, не позволяют достичь существенного выигрыша в энергосъеме по сравнению с обычным линейным резонатором /при условии одинакового поглощения в зеркалах/. Преимуществом таких систем в случае активных сред с большими поперечными размерами является уменьшение эффективных чисел Френеля резонаторов. Анализ усилительных систем показал, что на основе многоходовых квант возможно создание усилителей бегущей волны /УБВ/, по эффективности съема энергии не уступающих резонаторным системам. При этом коэффициент усиления УБВ может быть высоким $G = 10 + 100\%$, что дает возможность применять задающий генератор с низким уровнем выходного сигнала.

В третьей главе диссертации с целью оптимизации параметров лазерного резонатора проведено исследование энергетических характеристик генерации лазера с учетом радиального профиля инверсии активной среды и пространственного распределения поля. Принимается, что генерация происходит на нижней поперечной моде TEM_{00} , в зависимости коэффициента усиления $K_0(z)$ от радиуса аппроксимируется гауссовой кривой.

Рассматривается стационарная одночастотная генерация при различном характере уширения линии рабочего перехода /однородное, неоднородное и смешанное/. Найдены соотношения, связывающие плотность мощности внутри резонатора β с величиной потерь резонатора на проход A . В случае однородного уширения линии

$$\frac{A}{K_0(0)L} = \frac{1}{(\gamma+1)(2\beta+1)} \cdot F\left(1,1; \gamma+2; \frac{2\beta}{2\beta+1}\right), \quad (11)$$

где F - гипергеометрическая функция Гаусса, L - длина активной среды, γ - параметр, характеризующий степень заполнения

активной среды лазерным пучком. На основе указанных соотношений рассчитывался коэффициент полезного съема энергии с активной среды η . Коэффициент полезного съема является функцией величин

$$\eta = \eta\left(\gamma, \frac{\epsilon}{K_0(0)L}, \frac{\alpha}{K_0(0)L}\right), \quad (12)$$

где ϵ - коэффициент пропускания выходного зеркала /2-ое зеркало предполагается "глухим"/, α - величина паразитных потерь на проход. Путем совместного варьирования γ и ϵ в /2/ при фиксированных значениях $\alpha/K_0(0)L$ рассчитывались с помощью ЭВМ оптимальные величины степени заполнения γ_{opt} и пропускания ϵ_{opt} , при которых η достигает максимума. В отличие от пространственно однородной среды оптимальное пропускание выходного зеркала ϵ_{opt} зависит от геометрии резонатора, которая определяет ширину лазерного пучка. Расчет показал, что неоднородность среды и поля излучения приводят к заметному снижению эффективности съема энергии с активной среды. Одновременно уменьшаются оптимальные значения коэффициента пропускания выходного зеркала. Эксперименты, выполненные с He-Ne лазером $\lambda = 0,63$ мк/, подтвердили применимость предложенного метода расчета для определения оптимальной ширины лазерного пучка в среде и оптимального пропускания выходного зеркала.

Четвертая глава посвящена изучению пространственных характеристик лазерного излучения. Исследование проведено для устойчивых резонаторов как с полупрозрачными зеркалами, так и с отверстиями для вывода излучения. Дано описание экспериментального стенда и методики измерений энергетических и пространственных

ных характеристик излучения He-Ne лазеров $\lambda = 0,63 \text{ мк}$ и лазеров на CO_2 $\lambda = 10,6 \text{ мк}$.

Приведены результаты экспериментального исследования характеристик собственных типов колебаний, возбуждаемых в резонаторах различной конфигурации, в том числе с вырожденными собственными частотами. Найдено, что в лазерах на CO_2 , в которых для вывода излучения используются отверстия связи, нарушение однородности выходного излучения, нестабильность его пространственной структуры происходит главным образом вследствие многомодового характера генерации и конкуренции поперечных типов колебаний. Вырождение собственных частот возбуждаемых типов колебаний в таких лазерах приводит к уменьшению выводимой из резонатора мощности.

Теоретически и экспериментально исследована работа лазера с пространственно неоднородным зеркалом при селекции в нем одного поперечного типа колебаний. Практически это осуществлялось помещением внутрь резонатора специальной селектирующей маски. Результаты расчета показали, что в резонаторе, где селектируется одна поперечная мода, часть отрезанной от неоднородного зеркала энергии рассеивается по другим /паразитным/ модам, которые подавляются селектирующей системой. Указанный эффект, возникающий вследствие искажения поля моды пространственно неоднородным зеркалом, является дополнительным источником потерь в рассматриваемом резонаторе. Для частного случая зеркала со сквозным отверстием получено, что полные потери рабочей моды приблизительно в два раза превышают величину полезного выхода. Теоретические результаты сопоставлены с экспериментальными данными, полученными при селективном возбуждении в резонаторе лазера на CO_2 TEM_{01} и TEM_{02} типов колебаний. Эксперименты показали, что

лазеры с селекцией одного поперечного типа колебаний при выводе излучения с одного из сегментов поперечной структуры поля позволяют обеспечить высокую однородность выходного излучения и его угловую расходимость до дифракционного предела.

Исследовался и другой способ стабилизации поперечной структуры лазерного поля, основанный на использовании наклонного интерферометра Фабри-Перо, помещаемого внутрь вырожденного резонатора. В экспериментах в качестве эталона использовалась плоскопараллельная пластинка из AsGa . Экспериментальное исследование свойств резонатора CO_2 лазера с наклонным эталоном показало, что с помощью эталона можно достичь стабилизации генерируемого поля, обеспечивая при этом селекцию одной из вращательных линий спектра генерации лазера.

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Проведен сравнительный анализ эффективности различных способов съема энергии с активной лазерной среды. Определены оптимальные характеристики линейных и многоходовых резонаторных и усилительных систем с учетом распределенных потерь энергии и поглощения в зеркалах. Показано, что многоходовые усилители бегущей волны позволяют даже в случае активных сред с небольшим линейным усилением обеспечить достаточный энергосъем, приближающийся к съему в лазерном резонаторе.

2. Исследовано влияние пространственной неоднородности усиливающей среды и поля излучения на энергетические характеристики лазера и выбор оптимальных параметров резонатора ОКГ с различным характером уширения линии рабочего перехода. Рассчитаны величины оптимального заполнения активной среды полем излучения и коэффициента пропускания выходного зеркала. Теоретические выводы подтверждены экспериментально.

3. Экспериментально изучена структура собственных типов колебаний в резонаторе с отверстием в зеркале. Установлено, что неустойчивость пространственной структуры выходного излучения и ухудшение амплитудно-фазовых характеристик происходит главным образом из-за многомодового характера генерации и конкуренции поперечных типов колебаний. Обнаружено, что вырождение собственных частот возбуждаемых типов колебаний приводит к уменьшению выводимой из резонатора мощности.

4. Теоретически и экспериментально исследована возможность улучшения пространственных характеристик выходного пучка CO_2 лазера, основанная на селекции в резонаторе с пространственно неоднородным зеркалом одного из поперечных типов колебаний. Выполнен расчет потерь типов колебаний в таких резонаторах. Полученные результаты показывают, что несмотря на энергетические потери, связанные с селекцией высших поперечных мод в резонаторе с неоднородным зеркалом, подобные системы могут представлять интерес для лазеров ИК диапазона вследствие таких их преимуществ, как уменьшение угловой расходимости выходного пучка и улучшение его пространственных характеристик.

5. Исследован способ стабилизации пространственной структуры излучения лазера, основанный на использовании неклонного эталона Фабри-Перо, помещенного в вырожденный резонатор. Эксперименты показали, что эталон приводит к заметной стабилизации генерируемого поля, обеспечивая при этом частотную селекцию генерации.

Основные результаты диссертации изложены в работах:

1. П.В.Короленко, Н.Э.Саркяров. ЖПС, 16, 3, 430, 1972.
2. Г.В.Абросимов, Ф.А.Королев, П.В.Короленко, А.И.Одинцов, Н.Э.Саркяров, В.Ф.Шарков, ЖПС, 25, 1, 50, 1976.
3. Д.А.Козырев, П.В.Короленко, Н.Э.Саркяров, ПТЭ, № 2, 168, 1976.

Подп. к печати 5/8-76г. Л-57324 Ф.
 Физ. п. л. 0,5 Уч.-изд. л. Заказ 2511
 Тираж 200

Изд-во Московского университета, Москва, К-9,
 ул. Герцена, 5/7.
 Типография Изд-ва МГУ, Москва, Ленгоры