

В. И. ВОЛКОВ, В. В. ОНИН, В. А. ХАНОВ

(Новосибирск)

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЕЛИЙ-НЕОНОВОГО ЛАЗЕРА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Лазеры, предназначенные для практического использования в интерферометрии, должны сохранять точностные характеристики излучения при воздействии значительного числа возмущающих факторов. Как показано в работах [1, 2], уровень вибраций, действующих на приборы для линейных и угловых измерений, достигает 30 мкм в полосе частот 1—15 Гц, а изменения температуры воздуха могут составить  $\pm 5^\circ\text{C}$ . В этих условиях лазеры должны иметь минимальное время готовности к работе, обеспечивать длительную (не менее 8 часов) и непрерывную работу интерферометров без контроля со стороны оператора. Конструкция резонаторов должна исключать как тепловые разбюстировки зеркал в процессе разогрева от активного элемента, так и разбюстировки в течение всего срока службы лазера. В предлагаемой работе сообщаются результаты исследования наиболее распространенной конструкции гелий-неонового лазера ЛГ-32, стабилизированного по провалу Лэмба и предназначенного для использования в лазерных интерферометрах. Несущая конструкция резонатора лазера (рис. 1) выполнена в виде инваровой трубы 1 с продольным пазом для введения активного элемента 2. Активный элемент 2 представляет собой двухэлектродную газоразрядную трубку постоянного тока с холодным катодом 3, наполненную смесью газов гелия и неона. В качестве анода 4 трубки используется газопоглотитель. Оптический резонатор образован плоским 5 и сферическим 6 ( $R=500$  мм) зеркалами, установленными на пьезокерамиках 7 и 8. Пьезокерамики укрепляются на фланцах 9, 10, которые через промежуточные упругие кольца 11 и 12 закреплены на торцах трубы 1. Расстояние между зеркалами лазера составляет 150 мм, длина активного участка разрядной трубки 100 мм, диаметр капилляра 1 мм. Резонатор вместе с фотоприемником схемы автоматической подстройки частоты (АПЧ) располагается на дюралевом уголке, закрываемом кожухом.

Изучение спектральных характеристик исследуемых лазеров [3] показало, что параметры резонаторов не оптимальны, так как надежной

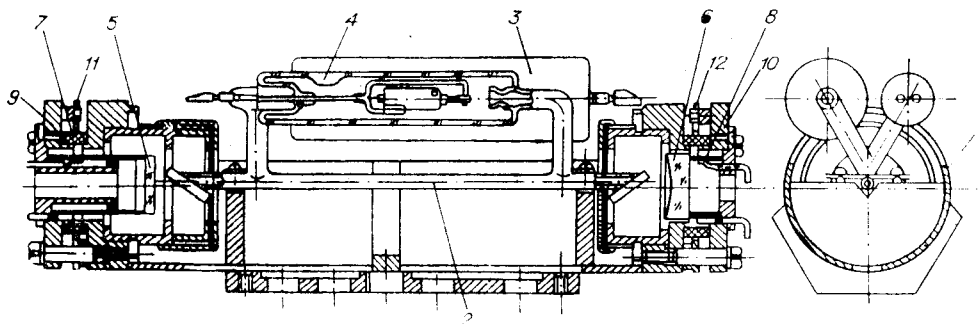


Рис. 1.

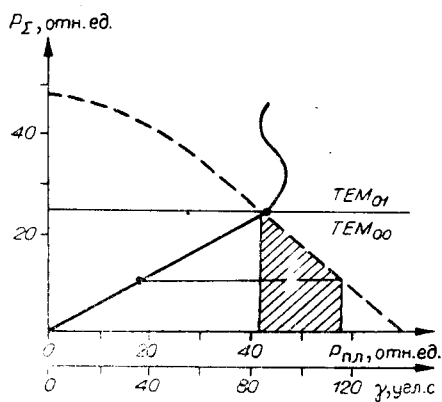


Рис. 2.

методу, предложенному в работе [4]. Для этого использовались два фотоприемника, один из которых регистрировал полный поток излучения  $P_Г$ , а другой — поток  $P_1$  после диафрагмы, выделяющей центральную часть пучка. Изменения сигналов фотоприемников при различных разъюстировках плоского зеркала регистрировались на двухкоординатном самописце ПДС-021 (сплошная кривая, см. рис. 2). Нарушение линейности изменений этих сигналов при наклоне зеркала на  $82''$  указывает на появление поперечной моды. При этом мощность излучения составляет около 50% от мощности при точной настройке зеркала ( $\gamma=0$ ). Диапазон допустимых разъюстировок (заштрихованная область) составляет  $33''$  и ограничен, с одной стороны, наклонами зеркал, при которых появляется поперечная мода, а с другой — уменьшением глубины провала Лэмба ниже критической, при которой не работает схема АПЧ.

В связи с малым диапазоном допустимых разъюстировок возникает вопрос об устойчивости настройки зеркал при тепловых деформациях резонатора, вызванных разогревом активного элемента. Характер этих деформаций изучался голографическим способом методом двух экспозиций [5]. На рис. 3 показано восстановленное изображение с голограммы при времени между экспозициями 15 мин. Интерференционные линии на фотографии являются линиями равных смещений, причем ширина интерференционной полосы составляет  $d = \lambda / \sin \Theta = 1$  мкм, где  $\lambda = 0,63$  мкм,  $\Theta$  — угол между предметной и восстановленной волнами. Характер и величина деформаций указывают на неравномерный нагрев резонатора активным элементом, причем баллоны анода и катода разрядной трубки затрудняют конвекцию воздуха и приводят к увеличению градиента температур. Измерения температурного режима резонатора показали, что наружная поверхность капилляра через 4—5 мин после включения лазера нагревается до  $61$ — $62^\circ\text{C}$ . При этом температура корпуса резонатора изменяется на  $4$ — $5^\circ\text{C}$ , но устанавливается по всему резонатору гораздо дольше (60—80 мин). При затрудненной конвекции (лазер закрыт кожухом) наружная поверхность капилляра нагревается до  $95^\circ\text{C}$  за 8—10 мин, а температура корпуса резонатора в средней части вблизи баллонов анода и катода увеличивается на  $10$ — $12^\circ\text{C}$  за 1,5 часа. Это приводит к тому, что характер деформаций

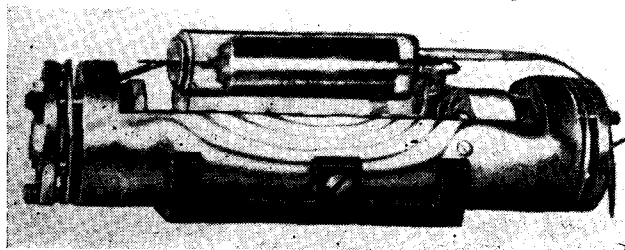


Рис. 3.

селекции поперечной моды  $TEM_{01}$  при точной настройке зеркал не происходит. Это, в свою очередь, приводит (при работе схемы АПЧ) к значительному сдвигу (до 90 МГц) частоты основной моды от номинального значения и делает лазеры непригодными для интерференционных измерений. Для подавления поперечной моды приходится увеличивать потери в резонаторе путем разъюстировки зеркал. На рис. 2 пунктирной линией показана зависимость мощности излучения  $P_Г$  от угла поворота  $\gamma$  плоского зеркала. Появление поперечной моды в спектре излучения контролировалось по

резонатора зависит от условий работы лазера. При свободной конвекции плоское зеркало за счет тепловых деформаций резонатора наклоняется на 5—6", а при затрудненной (лазер закрыт кожухом) — до 25".

Важной характеристикой резонатора является его эквивалентный коэффициент линейного расширения (ЭКЛР). Знание этого параметра необходимо для выбора диапазона рабочих температур воздуха, в котором обеспечивается работа лазера без его юстировки и подстройки схемы АПЧ. Для измерения ЭКЛР исследуемый лазер помещался в термостат, температура в котором повышалась на 20°C. Изменение мощности, вызванное расширением элементов резонатора, регистрировалось с помощью фотоприемника на самописце, причем изменение мощности на один контур соответствует удлинению резонатора  $\lambda/2 = 0,315$  мкм.

Для исследуемых лазеров ЭКЛР составило 0,83 мкм/град. При динамическом диапазоне выходного сигнала электронной схемы АПЧ  $BA-2 \pm 320$  В и чувствительности пьезокерамики ЦТС-19  $3,3 \cdot 10^{-3}$  мкм/В лазер сможет работать без контроля со стороны оператора в диапазоне изменений температуры воздуха всего  $\pm 1,25^\circ\text{C}$ .

Вибрационные испытания исследуемого лазера проводились на специальной установке [6], в которой в качестве критерия виброзащитности конструкции использовалась стабильность оптической длины резонатора. Процесс измерения заключался в регистрации уровня колебаний платформы вибростенда, на которой устанавливался лазер, при постоянном значении амплитуды колебаний резонансной частоты резонатора  $\Delta\nu_p$ .

Результаты измерений, пересчитанные для значения  $\Delta\nu_p = 50$  МГц, приведены на рис. 4 (кривая пунктирная). Сплошной линией на этом рисунке показан обобщенный уровень вибраций, действующих на приборы для линейных и угловых измерений [1]. Этот уровень в области низких частот 5—20 Гц более чем на два порядка выше уровня, допустимого для исследуемых лазеров.

В заключение следует отметить, что промышленные испытания установочной партии лазерных измерителей перемещений ФОУ-1, использующих в качестве источника света лазеры ЛГ-32, показали [7], что основной причиной отказов прибора является нарушение работоспособности лазеров из-за их разъюстировок и сбоев в схеме АПЧ.

Полученные результаты позволили сделать следующие выводы:

1. Исследуемые лазеры не пригодны для практического использования в интерферометрах, так как они критичны к разъюстировкам зеркал, работают в малом диапазоне изменений температуры воздуха, имеют большое время готовности к работе и низкую виброзащитность.
2. Предложенные методы исследования резонаторов могут быть использованы для совершенствования конструкций лазеров.

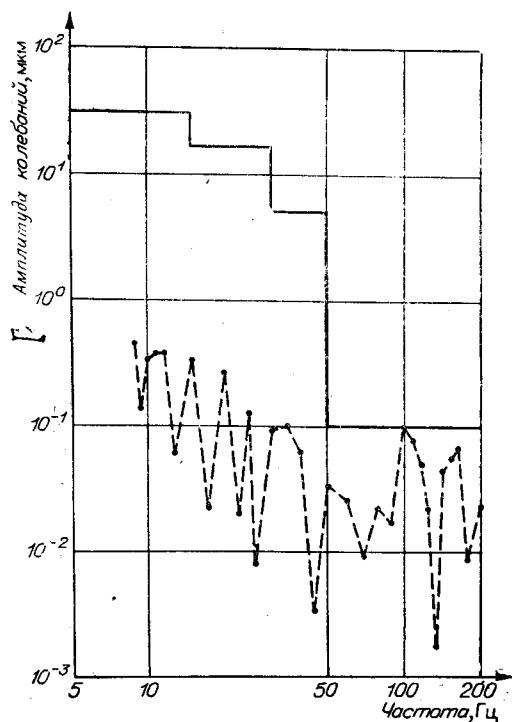


Рис. 4.

## ЛИТЕРАТУРА

1. С. Б. Тарасов. Исследование параметров возмущающих вибраций на приборы для линейных и угловых измерений. — «Измерительная техника», 1974, № 10, с. 25—26.
2. H. Wiele. Beeinflussung der temperaturbedingten Abweichungen an Werkzeugmaschinen durch die Betriebsbedingungen. — «Maschinenbautechnik», 1974, № 6, S. 249—255.
3. В. П. Коронкевич, В. А. Ханов. Изучение спектральных характеристик излучения гелий-неоновых лазеров, стабилизированных по провалу Лэмба. — «Автометрия», 1975, № 5, с. 73—80.
4. Ю. В. Троицкий. Осциллографическая регистрация появления внесосевых мод в газовом ОКГ. — «Приборы и техника эксперимента», 1973, № 2, с. 179—180.
5. Р. Кольер, К. Беркхарт, Л. Лин. Оптическая голография. М., «Мир», 1973, с. 200—205.
6. В. А. Ханов, В. А. Шаталов. Разработка и исследование He-Ne ОКГ для лазерных измерителей перемещений. — II Всесоюз. научно-техническая конференция «Проблемы теоретической и экспериментальной метрологии». (Тезисы). Л., ВНИИМ, 1975.
7. С. Я. Доброва, А. В. Золотов, Н. Е. Левандовская, В. П. Майоров, А. К. Мовшев, А. В. Попова, Е. И. Финкельштейн, В. И. Халимонов. Промышленный лазерный измеритель перемещений ФОРУ-1. — «Автометрия», 1975, № 5, с. 43—48.

Поступила в редакцию 2 декабря 1975 г.

УДК 621.375.826

**Н. К. БЕРГЕР, В. В. НОВОХАТСКИЙ**

(Хабаровск)

### **ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА УСИЛЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ГАЗОВОГО ЛАЗЕРА**

Коэффициент усиления активной среды — один из основных параметров оптических квантовых генераторов. Измерение коэффициента усиления производится обычно либо методом усилителя [1—3], либо методом максимальных потерь. Принцип последнего метода состоит в следующем. При стационарной генерации усиление всегда равно потерям в резонаторе. При отсутствии оптических элементов внутри резонатора насыщенный коэффициент усиления определяется потерями на зеркалах. При введении в резонатор калиброванных потерь, приводящих к срыву генерации, суммарные потери равны ненасыщенному коэффициенту усиления. Таким образом можно определить ненасыщенный коэффициент усиления, а также зависимость коэффициента усиления от мощности и параметр насыщения. В качестве калиброванного ослабителя обычно используется плоскопараллельная пластинка, ориентированная вблизи угла Брюстера [4]. Был предложен метод внесения потерь путем изменения эквивалентного коэффициента отражения в трехзеркальном резонаторе [5]. Однако метод с пластинкой трудно использовать в случае, когда лазер работает почти на пороге генерации, или в противоположном случае, когда большая мощность в резонаторе приводит к выходу из строя оптических элементов. Кроме того, метод не пригоден для лазеров с внутренними зеркалами. В последнем случае можно применять метод трехзеркального резонатора. Но здесь возникают сложности, связанные с юстировкой и согласованием третьего зеркала.