

УДК 621.373.826.038.823

В.В. Валуев, В.В. Морозов, О.А. Снитко, А.А. Васеленок, В.А. Гурашвили,  
В.Н. Кузьмин, Н.Э. Саркаров, Н.Г. Туркин

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО СЕЛЕКЦИИ ПОГЛОЩАЕМЫХ АТМОСФЕРОЙ ЛИНИЙ ИЗЛУЧЕНИЯ СО-ЛАЗЕРА

На основе сравнительного анализа результатов измерений спектра генерации СО-лазера по схемам «генератор» с неустойчивым резонатором и «задающий генератор–усилитель» показано, что введенный атмосферный участок в резонатор задающего генератора может служить эффективным селектором поглощаемых атмосферой линий излучения.

### 1. Введение

Электроразрядные СО-лазеры обладают преимуществами по сравнению с другими мощными технологическими лазерами: более высокий КПД  $\approx 40\%$ , малые массогабаритные характеристики, возможность работы на оберitone. Однако такие лазеры не нашли широкого применения из-за существенного молекулярного поглощения излучения в атмосфере. Это требовало создания дорогостоящих систем осушки воздуха и поперечного продува им трассы распространения излучения.

Исследования оптических характеристик активной среды электроионизационного СО-лазера [1] позволили прийти к выводу, что наиболее эффективным методом снижения расходимости выходного излучения является применение схемы «задающий генератор–усилитель» (ЗГ–У). Кроме того, если в ЗГ применен «длинный» резонатор, обеспечивающий работу на одной моде, основная часть длины которого размещена вне газоразрядной камеры (ГРК) в атмосфере воздуха, то возникает возможность улучшения «качества» излучения в смысле избирательной генерации колебательно-вращательных линий, слабо поглощаемых в атмосфере, если выполнено условие

$$\beta_v \leq [(\sqrt{\alpha_0 \sigma_0} - \sigma_0) L_{a.c} - 1/2 \ln(1/R)]/L_v, \quad (1)$$

где  $\beta_v$  – коэффициент молекулярного поглощения воздуха;  $\alpha_0$  – ненасыщенный коэффициент усиления активной среды;  $\sigma_0$  – неселективные потери в активной среде;  $L_{a.c}$  – длина активной среды;  $L_v$  – длина атмосферного участка в резонаторе ЗГ;  $R$  – коэффициент отражения выходного зеркала резонатора ЗГ.

Как видно из формулы (1), выбирая  $R$  и  $L_v$ , можно, учитывая каскадный характер генерации СО-лазера, реализовать работу на слабопоглощаемых в атмосфере линиях, так как на всех переходах в поло-

сах имеются линии с малым (близким к аэрозольному) коэффициентом поглощения в атмосфере [2].

### 2. Экспериментальные методики и материалы

В наших исследованиях использовался быстропроточный дозвуковой электроразрядный лазер, работающий на смеси с соотношением  $\text{CO:N}_2 = 1:9$  при давлении рабочей смеси 100 Торр и температуре на входе в ГРК, равной 100 К. Накачка рабочей смеси производилась несамостоятельным разрядом, зона резонатора совмещалась с газоразрядной камерой.

В схеме «генератор» применен телескопический резонатор с угольным отражателем в середине. Коэффициент увеличения резонатора равен двум. Активная среда внутри резонатора экспериментальной установки фактически состояла из двух равных по длине областей усиления, расположенных друг за другом по потоку газа.

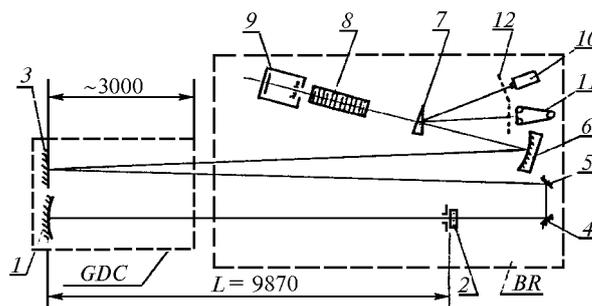


Рис. 1. Оптическая схема «задающий генератор – двухпроводный усилитель» с аппаратурой регистрации характеристик излучения: 1 – глухое зеркало ( $R_1 = 43,3$  м); 2 – выходное зеркало ( $R_2 = \infty$ ,  $R = 0,5$ ); 3 – зеркало ( $R_3 = \infty$ ); 4 – поворотное зеркало ( $R_4 = \infty$ ); 5 – поворотное зеркало ( $R_5 = \infty$ ); 6 – сферическое зеркало ( $R_6 = 6$  м); 7 – оптический клин  $\sigma = 6^\circ$ ; 8 – измеритель каустики; 9 – анализатор спектра (ПАС); 10 – измеритель мощности (ИМО-2); 11 – лентопротяжная механическая развертка  $V = 6000$  мм/с; 12 – экраны (текстолит); GDC – ГРК; BR – измерительный бокс

В схеме «ЗГ–У» задающий генератор и двух-проходный усилитель размещены в одной ГРК (рис. 1). Резонатор задающего генератора устойчивый,  $L = 9,87$  м;  $L_{a.c} = 2$  м;  $L_b = 6,87$  м, радиус кривизны глухого зеркала  $R_1 = 43,3$  м, выходное зеркало плоское, коэффициент отражения  $R = 0,5$ .

Для измерения спектрального состава излучения использовался панорамный анализатор спектра с дифракционной решеткой – эшелетом ( $N \approx 100$  штр/мм), работающий во втором порядке. При исследовании интегрального спектра его визуализация происходила в результате гашения люминесцентного свечения экрана под действием ИК-излучения. При исследовании поведения отдельных спектральных линий во времени перед люминесцентным экраном устанавливался цилиндрический отражатель, направляющий пучки излучения отдельных линий генерации на отдельные элементы линейки пироэлектрических приемников. Для исследования распределения плотности мощности отдельных спектральных линий во времени в фокальном пятне перед входной щелью спектрографа устанавливалась плоскопараллельная пластина из KRS-6. При вращении пластины происходило поступательное перемещение пучка излучения в горизонтальном направлении. Скорость вращения пластины 5 об/с (частота сканирования 10 Гц). Сигналы с определенных элементов линейки пироприемников регистрировались на ленте светолучевого осциллографа. Для увеличения пространственного разрешения по спектральным линиям применялась тепловизионная система регистрации, аналогичная [3].

### 3. Результаты

В результате экспериментального исследования колебательно-вращательного спектра излучения мощного непрерывного СО-лазера по схеме «генератор» обнаружено следующее:

- генерация происходит на многих (более 10 одновременно) линиях; из них можно выделить  $4 \div 5$  наиболее мощных, в которых содержится более 80% всей энергии;
- зарегистрированные линии генерации лежат в диапазоне  $5,03 \div 5,8$  мкм;
- за время  $\sim 0,1$  с генерация отдельных линий выходит на стационарный режим как по полной мощности (рис. 2), так и по распределению плотности мощности в фокальном пятне (рис. 3);
- колебательно-вращательные линии генерации образуют каскады; одновременно существовало несколько каскадов генерации;
- в начале генерации  $t < 0,1$  с наблюдалась малая расходимость во всех линиях спектра СО-

лазера, затем фокальное пятно расплывалось, расходимость излучения увеличивалась в  $3 \div 4$  раза.

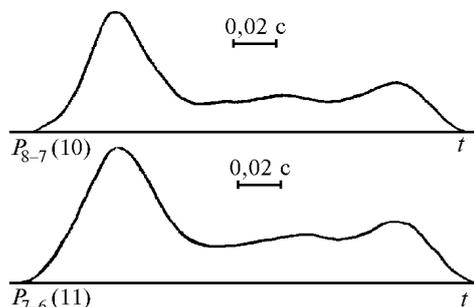


Рис. 2. Колебательно-вращательный спектр СО-лазера по полной мощности в зависимости от времени

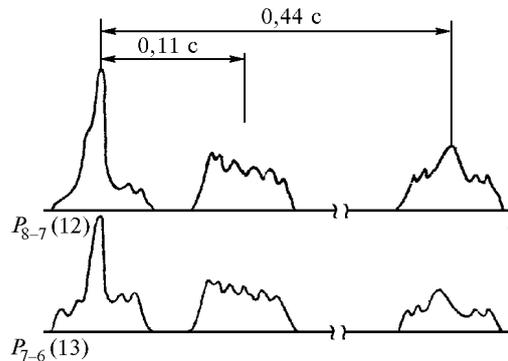


Рис. 3. Распределение плотности мощности в фокальном пятне в спектре СО-лазера в зависимости от времени

В таблице представлены экспериментально зарегистрированные линии генерации для двух оптических схем работы лазера, с которыми сопоставлены рассчитанные коэффициенты молекулярного поглощения в воздухе [2].

Как видно, измеренные спектральные линии генерации (по схеме «генератор») обладают значительным молекулярным поглощением в атмосфере воздуха  $\beta_b \approx 10^{-3} \text{ см}^{-1}$  (см. таблицу, 1-ю оптическую схему).

Переход к схеме «ЗГ–У» показал (см. таблицу, 2-ю оптическую схему), что сильно поглощаемые воздухом линии отсутствуют, подтверждается также каскадность линий генерации. Коэффициент молекулярного поглощения наблюдаемых линий находится в диапазоне  $\beta_b = 0,7 \cdot 10^{-4} \div 10^{-5} \text{ см}^{-1}$ , что согласуется с оценкой, выполненной по формуле (1), для  $\alpha_0 = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$ ,  $\sigma_0 = 0,08 \cdot 10^{-2} \text{ см}^{-1}$  и указанных выше параметров  $L_{a.c}$ ,  $L_b$ ,  $R$ .

Важно отметить, что уровень плотности мощности  $\approx 3 \cdot 10^3 \text{ Вт/см}^2$  по сравнению с «генераторной» схемой не снизился, а расходимость излучения уменьшилась в 5 раз.

Полоса	$P_{v,v-1}(J)$		$K_0$ волновое число, см <sup>-1</sup>	$\lambda$ длина волны, мкм	$\beta$ , мол·см <sup>-1</sup> , зима $H = 0$ км
	Линия генерации				
1-я оптическая схема					
7-6		$P(12)$	1924,2610	5,1968	0,4557 -02
7-6		$P(13)$	1935,5088	5,1666*	0,2156 -05
8-7		$P(11)$	1917,8765	5,2141	0,2380 -02
8-7		$P(12)$	1913,8755	5,2250*	0,1412 -04
8-7		$P(13)$	1909,8548	5,2360	0,1468 -02
9-8		$P(10)$	1896,1659	5,2738	0,2588 -04
9-8		$P(11)$	1892,2191	5,2847*	0,1423 -04
9-8		$P(12)$	1888,3244	5,2957	0,4825 -04
9-8		$P(13)$	1884,3392	5,3069	0,1198 -03
10-9		$P(10)$	1870,5924	5,3459*	0,1858 -03
10-9		$P(11)$	1866,7512	5,3369	0,2280 -03
2-я оптическая схема					
6-5		$P(7)$	1985,13	5,03800	0,120 -05
7-6		$P(5)$	1966,89	5,08280	0,598 -04
7-6		$P(6)$	1963,08	5,09409*	0,212 -05
8-7		$P(5)$	1941,00	5,15016*	0,223 -04
9-8		$P(5)$	1915,19	5,22025*	0,485 -04
9-8		$P(9)$	1900,04	5,27912*	0,289 -05
10-9		$P(12)$	1862,83	5,36380	0,121 -04
11-10		$P(11)$	1841,30	5,42507*	0,419 -04
11-10		$P(16)$	1821,61	5,49104	0,277 -04
12-11		$P(5)$	1838,24	5,43876	0,336 -04
12-11		$P(10)$	1819,73	5,49104	0,101 -04
12-11		$P(11)$	1815,93	5,51215	0,170 -04
13-12		$P(9)$	1798,15	5,56121	0,950 -04
14-13		$P(11)$	1765,46	5,64936	0,748 -04
16-15		$P(8)$	1726,19	5,79140*	0,640 -04

\* Наиболее сильно выраженные линии.

#### 4. Заключение

При работе мощного СО-лазера по схеме «задающий генератор–усилитель» имеется принципиальная возможность эффективной селекции поглощаемых атмосферой линий излучения. Для этого в задающем генераторе необходимо применить «длинный» устойчивый резонатор, большая часть длины которого находится вне газоразрядной камеры в атмосфере здания, где размещен стенд.

При этом получена генерация на колебательно-вращательных переходах, имеющих коэффициенты молекулярного поглощения в воздухе  $10^{-4} \div 10^{-5}$  см<sup>-1</sup>. Этот результат позволяет значительно расширить области технологического применения СО-лазера.

В заключение авторы выражают благодарность А.Б. Тихомирову и В.В. Чернавкину за помощь в работе и полезные обсуждения.

1. Валуев В.В., Меркушенков В.Н., Морозов В.В., Снитко О.А., Васеленок А.А., Серов В.В. Самовоздействие излучения в активной среде непрерывного СО-лазера // Известия АН РФ. Сер. Физ. 1995. Т. 59(12). С. 160–161.
2. Долина В.Н., Иванов С.В., Кови И.В., Кучеров А.И., Макашов Н.К., Пеньков Б.А., Урин Б.М., Шустов А.В. Моделирование генерационных характеристик и распространение излучения СО-лазера с селектирующей ячейкой // Квантовая электроника. 1996. Т. 23. № 6. С. 521–526.
3. Морозов В.В., Петренко А.Г., Рейно В.В., Цвык Р.Ш. Измерение спектрального состава излучения ИК-лазеров тепловизионным методом // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 9. № 9. С. 1023–1029.

НПЦ «Система», Москва  
ТРИНИТИ, г. Троицк Московской обл.

Поступила в редакцию  
26 августа 1998 г.

*V.V. Valuev, V.V. Morozov, O.A. Snitko, A.A. Vaselenok, V.A. Gurashvili, V.N. Kuz'min, N.E. Sarkarov, N.G. Turkin. Experimental Results on Selection of CO-Laser Emission Lines Absorbed by Atmosphere.*

It is shown on the basis of comparative analysis of the CO-laser oscillation spectrum measurements by the schemes «oscillator with unstable cavity» and «master oscillator–amplifier» that the atmospheric area inserted into the cavity of the master oscillator can be an efficient selector of the emission lines absorbed by the atmosphere.