

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 535: 621.375

Е.П. Гордов, А.З. Фазлиев

### ОТКЛИК НА ЭХОСИГНАЛ ГИБРИДНОГО СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА

Численным расчетом в рамках известной модели гибридного лазера определено изменение интенсивности импульсного лазера при приеме эхосигнала гибридным СО<sub>2</sub>-лазером.

Изучение отклика лазера на собственное излучение, отраженное или рассеянное вне резонатора (эхосигнал), проводится с двумя целями. С одной стороны, при проведении прецизионных измерений длины или перемещений, в стандартах частоты необходима информация о величине искажений, внесенных эхосигналом [1]. С другой – по отклику лазера на эхосигнал можно восстанавливать характеристики отражателя или зондируемой трассы, пройденной сигналом [2–4].

В представленном сообщении рассмотрена задача, относящаяся ко второму типу, и продолжено исследование проблемы возможного увеличения отклика лазера на эхосигнал. Как известно, решение задачи существенно зависит от того, какие измеряемые характеристики определяются. Ниже мы ограничились лишь анализом поведения интенсивности излучения гибридного СО<sub>2</sub>-лазера при приеме сигнала.

Традиционно используемые для исследования характеристик атмосферы методом внутррезонаторного приема эхосигнала непрерывные лазеры позволяют создать высокочувствительные лидары, имеющие ряд достоинств. Однако в таких лидарах увеличение отклика лазерного излучения на эхосигнал может привести к значительному искажению пробного излучения, что делает извлечение характеристик зондируемой трассы почти нерешаемой задачей. Для устранения этого препятствия было предложено использовать в качестве источника и приемника гибридный СО<sub>2</sub>-лазер [5]. Проведенные лабораторные эксперименты выявили аномально высокую чувствительность генерируемого излучения к инжектируемому в резонатор эхосигналу. Эти эксперименты стали поводом для проведения численного расчета в рамках известной модели импульсного СО<sub>2</sub>-лазера.

В вычислениях использовано несколько приближений: во-первых, поскольку роль непрерывной секции лазера сводится к выделению одной моды на начальном этапе генерации импульса и сказывается на форме переднего фронта, то в расчете не принималось во внимание влияние непрерывной секции на процесс принятия эхосигнала, во-вторых, пренебрежено изменением во времени фаз как сигнала, так и генерируемого излучения. Последнее неприемлемо при зондировании трасс с турбулентностью и в измерениях скорости ветра или отражателя.

Для решения сформулированной задачи использовалась система уравнений, описывающая импульсный СО<sub>2</sub>-лазер [6]:

$$\frac{di}{dt} = -\frac{i}{T_0} + \sigma c i (n_a - n_b) + \frac{n_a \sigma c}{V} + T^2 \Delta v \sqrt{i(t-\tau)} i(t), \quad (1)$$

$$\frac{dn_a}{dt} = -\sigma c i (n_a - n_b) + \gamma_c n_c - (\gamma_a + \gamma_c) n_a + W_a, \quad (2)$$

$$\frac{dn_b}{dt} = \sigma c i (n_a - n_b) + \gamma_a n_a - \gamma_b n_b + W_b, \quad (3)$$

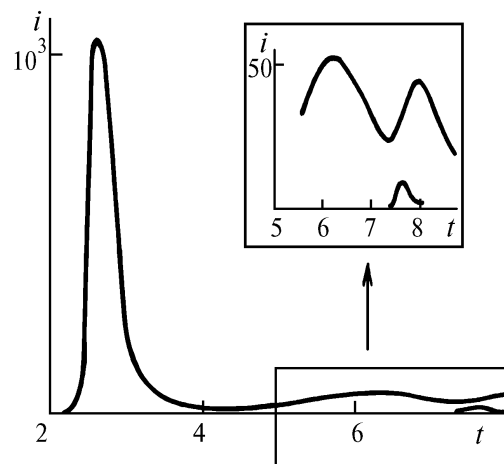
$$\frac{dn_c}{dt} = \gamma_c n_a - (\gamma_c + \gamma_{c_0}) n_c + W_c, \quad (4)$$

где  $i$  – интенсивность излучения лазера;  $n_a, n_b, n_c$  – заселенности верхнего и нижнего уровней молекулы  $\text{CO}_2$ , соответственно и молекулы  $\text{N}_2$ ;  $\sigma$  – сечение стимулированного излучения;  $\gamma_a, \gamma_b, \gamma_c, \gamma_{c_0}$  – константы релаксации молекул  $\text{CO}_2$  и  $\text{N}_2$ ;  $W_a, W_b, W_c$  – накачка соответствующих уровней;  $V = 100 \text{ см}^3$  – объем резонатора;  $T_0$  – время жизни фотона в резонаторе;  $T = 0,1$  – коэффициент пропускания выходного зеркала;  $\Delta\nu$  – межмодовая частота;  $c$  – скорость света;  $\tau$  – время задержки эхосигнала. Количественные значения введенных констант и параметров выбраны такими же, как в [6–8]. В качестве начальных условий взяли

$$i(0) = 0, \quad n_i(0) = n_i^0, \quad i = a, b, c,$$

где  $n_i^0$  – заселенности уровней молекул при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Решение системы уравнений (1)–(4) без учета влияния эхосигнала, полученное нами, совпадает с результатами работ [6–8]. При расчете с учетом эхосигнала рассматривались времена задержки, не превышающие длительности импульса (около 10 мкс), но такие, чтобы сигнал влиял на «хвост» импульса. При таком условии измерения в генерируемом импульсе сводились к двум качественным чертам: в «хвосте» импульса появлялся колоколоподобный максимум, не повторяющий по форме эхосигнал. Интенсивность отклика значительно превышала интенсивность эха. Один из типичных результатов расчета представлен на рисунке. Выбор малых времен задержек сигнала не ограничивает малыми расстояниями применение подобной процедуры фиксации эха, так как при больших временах задержки можно принимать эхо на импульсы, периодически генерируемые лазером. Это означает, что ограничение на дальность при зондировании гибридным  $\text{CO}_2$ -лазером определено только отношением сигнал-шум для регистрируемого эхосигнала. Но эта задача требует отдельного рассмотрения.



Форма импульса гибридного  $\text{CO}_2$ -лазера при приеме эхосигнала. Одному делению шкалы времени соответствует 400 мкс. Интенсивность определена в отн. ед. Для сравнения масштабов на вставке показан эхосигнал

1. Бергер Д. Применение лазерной техники в геодезии и геофизике. М.: Недра, 1977.
2. Годлевский А.П., Гордов Е.П., Понуровский Я.Я. и др. // Квантовая электроника, 1986. Т. 13, N 4, С. 863–865.
3. Шарин П.П. Исследование возможностей зондирования характеристик атмосферы на основе внутррезонаторных эффектов в  $\text{CO}_2$ -лазере. Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. Томск: ИОА СО РАН, 1992.
4. Churnside J. H. // Appl. Optics. 1984. V. 23. P. 66.
5. Churnside J. H. et al. // Technical Digest on Coherent Laser Radar: Technology and Application, 1991 (Optical society of America, Washington, D.C., 1991). V. 12. P. 198.

6. Gondhalekar A., Heckenberg N.R., Holzhauser E. // IEEE J. Quant. Electr. QE-11. 1975. N 3. P. 103.
7. Gilbert J., Lachambre J.L., Rheault F., Fortin R. // Can. J. Phys. 1972. V. 50. N 20. P. 2523.
8. Lachambre J.L. et al. // IEEE J. Quant. Electr. 1978. QE-14. N 3. P. 170.

Институт оптики атмосферы СО РАН,  
Томск

Поступило в редакцию  
11 декабря 1992 г.

**E. P. Gordov, A. Z. Fazliev. The Echo-signal Action on Hybrid CO<sub>2</sub>-Laser Intensity.**

The TEA laser intensity transformations caused by echo-signal returned to hybrid CO<sub>2</sub>-laser is determined by simulation on the base of conventional hybrid laser model.