

В.В. Осипов, А.В. Никифоров, А.Н. Орлов, В.А. Садыков, Л.А. Исупова

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ РЕГЕНЕРАЦИИ ГАЗОВОЙ СМЕСИ CO₂-ЛАЗЕРА С ТВЕРДОТЕЛЬНЫМ КАТАЛИЗАТОРОМ

Описывается ТЕА CO₂-лазер замкнутого цикла с системой регенерации газовой смеси на базе относительно дешевых и не требующих нагрева до высокой температуры катализаторов типа ИК-12-11, ИКТ-12-9. Использование этих катализаторов позволило стабилизировать выходную мощность излучения лазера. Приводятся зависимости мощности излучения лазера от времени при различных температурах катализаторов и различных частотах следования импульсов накачки.

Для практического применения ТЕА CO₂-лазера замкнутого цикла важно постоянство выходной мощности. Как показано в [1], в ТЕА CO₂-лазере с течением времени концентрация CO₂ постепенно снижается и затем стабилизируется на определенном уровне. Аналогично падает и мощность излучения. Для компенсации уменьшения содержания CO₂ в газовой смеси применяют газообразные и твердотельные катализаторы. Известные до сих пор твердотельные катализаторы с высокими каталитическими свойствами изготавливались из дорогостоящих материалов (типа платины) и требовали нагрева до высокой температуры (до 400°C).

В данной статье рассмотрена возможность использования системы регенерации газовой смеси ТЕА CO₂-лазера замкнутого цикла на базе относительно дешевых и не требующих нагрева до высокой температуры катализаторов типа ИКТ-12-9, ИК-12-11. Эти катализаторы представляют собой оксидные композиции, содержащие оксид алюминия и оксиды меди и кобальта соответственно. ИК-12-11 содержит 15% оксида кобальта и получается смешением основной углекислой соли кобальта с переосажденным гидроксидом алюминия с последующей формовкой, сушкой и прокаливанием при 500°C. ИКТ-12-9 получается смешением порошка оксида меди (продукта терморазложения основного карбоната меди), подвергнутого механической активации в энергонапряженной шаровой мельнице, с гидроксидом алюминия с последующей формовкой, сушкой и прокаливанием при 500°C. Содержание оксида алюминия в катализаторе не более 10%. Удельные поверхности равны 30 (оксидномедный) и 180 м²/г (оксиднокобальтовый).

При испытаниях в стандартных условиях в проточно-циркуляционной установке в реакции каталитического окисления СО (смесь 1% СО в воздухе) при нагрузке порядка 10000 обратных часов (навеска 1 г, фракция 1–2 мм, скорость подачи смеси 10 л/ч) температура достижения 50%-го превращения составляет 119°C для ИКТ-12-9 и 84°C для ИК-12-11.

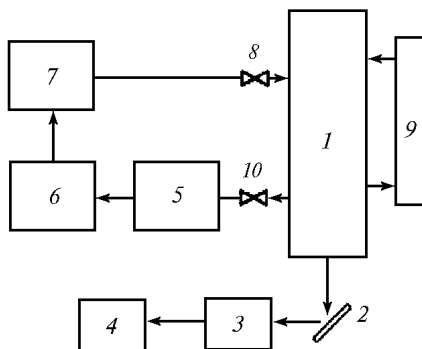


Рис. 1

На рис. 1 представлена блок-схема установки. Она состоит из CO_2 -лазера 1 [2], регенеративного патрона с нагревателем 5, холодильника 6, компрессора 7 и системы автономного водяного охлаждения. Основной разрядный промежуток лазера образован двумя электродами из нержавеющей стали, размер активной зоны составляет $1,2 \times 1,2 \times 72 \text{ см}^3$. Высоковольтный импульсный генератор собран по традиционной схеме на базе тиратрона «Экстра-2» [2]. Напряжение зажигания разряда составляло 20 кВ, удельный энерговклад 84,9 Дж/л. Прокачка газовой смеси осуществлялась двенадцатью малогабаритными вентиляторами типа ДВО-1-400. Рабочее давление газа равнялось 0,8 атм. Полный объем лазерной кюветы 50 л. Резонатор образован глухим медным зеркалом с радиусом кривизны $R = 11 \text{ м}$, контактирующим с рабочей средой, и выходным круглым медным зеркалом диаметром 6 мм с $R = 6 \text{ м}$. Регенератор содержал ~100 г катализатора на основе CuO и Al_2O_3 в виде гранул диаметром 3 и высотой 4 мм. Температура нагрева катализатора менялась в пределах от 20 до 200 °С. После восстановления перед возвращением в лазер газовая смесь пропусклась через холодильник 6, где охлаждалась до комнатной температуры. Прокачка газа через регенеративный патрон осуществлялась компрессором типа УК-25-1,6М. Вентили 8, 10 служили для отсекаания лазерной кюветы от системы регенерации. Мощность излучения лазера измерялась прибором ИМО-2Н 3 (аттенюатором служила пластинка из KCl 2, расположенная под углом $\sim 7^\circ$ к оптической оси) и фиксировалась самописцем ЛКС4-300 4.

На рис. 2 представлена временная зависимость мощности излучения лазера в смесях с содержанием $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1:4; 1:4:8; 1:10:25$ при включенном (а) и выключенном (б) регенераторе (температура нагрева катализатора -180°C , частота следования импульсов накачки лазера 50 Гц). Как видно из рис. 2, изменение мощности лазера с течением времени происходит нелинейно: в первые 15 мин происходит наиболее сильное снижение, затем спад замедляется и после $\sim 2 \text{ ч}$ мощность лазера либо стабилизируется (в смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1:4$) на уровне 0,55 от начальной величины, либо продолжает незначительно снижаться (в смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:4:8$).

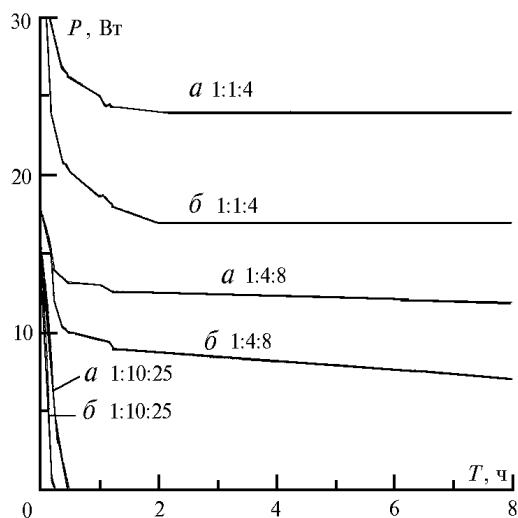


Рис. 2

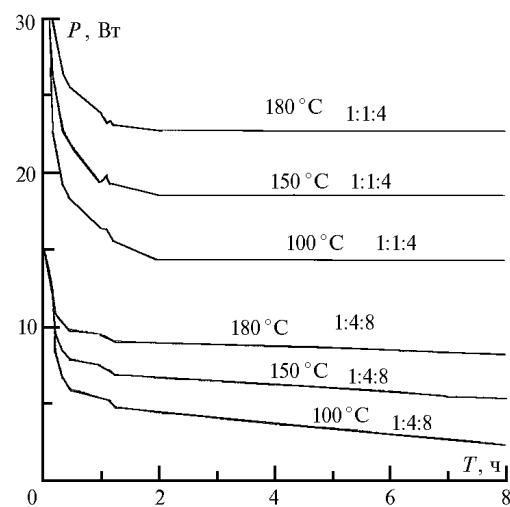


Рис. 3

Использование регенератора позволяет обеспечить продолжительную работу лазера со смесью 1:1:4 на уровне 0,85 от начальной мощности. На рис. 3 представлена зависимость мощности излучения лазера от времени при различной температуре нагрева катализатора при составах газовой смеси $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1:4$ и 1:4:8.

Следует отметить, что при снижении температуры нагрева катализатора ниже 100°C эффект восстановления CO_2 практически исчезает. Максимальная восстановительная способность катализатора реализуется при температуре нагрева 180°C , при дальнейшем повышении температуры до 400°C восстановительная способность сохраняется на прежнем уровне.

На рис. 4 представлена зависимость мощности излучения лазера от времени для газовых смесей $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:1:4$ и 1:4:8 при частотах следования 80 и 30 Гц соответственно. Во время экспериментов расход газа через регенеративный патрон составлял 5 л/мин. Как видно из рис. 4, при частоте следования импульсов (ЧСИ) накачки 30 Гц мощность излучения сохраня-

ется на первоначальном уровне в течение продолжительного периода времени. Очевидно, что для получения аналогичного результата на более высоких ЧСИ необходимо соответствующим образом увеличить либо объем катализатора в регенеративном патроне, либо расход газа через регенеративный патрон.

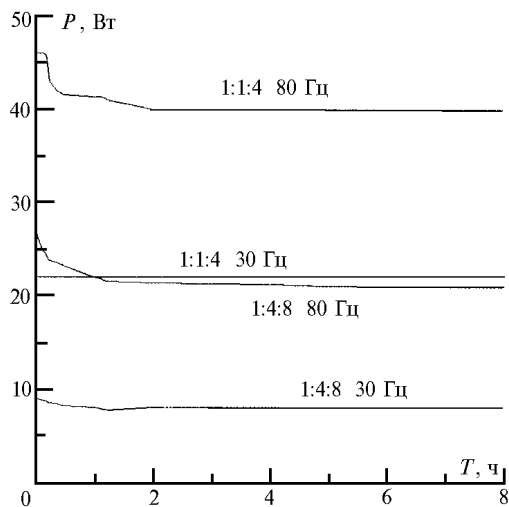


Рис. 4

Аналогичные результаты были получены при использовании катализатора ИК-12-11. Восстановительная способность регенератора достигает насыщения при температуре 150°C.

Проведенные эксперименты показали высокую эффективность твердотельных катализаторов ИКТ-12-9 и ИК-12-11. Их применение позволяет стабилизировать мощность излучения лазера.

1. Беляков И.И., Богданов П.И., Осипов В.В., Тельнов В.А. Изменение характеристик импульсно-периодического лазера в процессе работы // *Лазерная техника и оптоэлектроника*. 1991. N 3(59). Сер. 11. С. 78–81.
2. Никифоров А.В., Орлов А.Н., Осипов В.В. Импульсно-периодический ТЕ CO₂-лазер с перестраиваемыми длительностью и энергией излучения // *ПТЭ*. 1995. N 6. С. 99–102.

Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург
Институт катализа СО РАН им. Г.К. Борескова, г. Новосибирск

Поступила в редакцию
2 июня 1997 г.

V.V. Osipov, A.V. Nikiforov, A.N. Orlov, V. A. Sadykov, L.A. Isupova. **Investigation of Characteristics of CO₂-Laser Gas Mixture Regeneration System with a Solid State Catalisator.**

Closed-cycle transversely excited CO₂-laser with a system for the gas mixture regeneration, using relatively inexpensive low-temperature catalisators ИК-12-11, ИКТ-12-9 is described. The use of these catalisators allows maintaining of the output radiation power. The time dependencies of the output radiation power for different catalisator's temperatures and frequencies of the pump pulses are reported.