

Стенд для изучения перспектив промышленного применения кислородно-иодного лазера

А.А.Адаменков, В.В.Бакшин, А.В.Богачев, Е.В.Буряк, Л.А.Вдовкин, С.Д.Великанов, Б.А.Выскубенко, С.Г.Гаранин, Е.В.Горбачева, С.В.Григорович, С.П.Ильин, Р.И.Илькаев, Ю.Н.Илюшин, А.М.Калашник, Ю.В.Колобянин, М.Л.Леонов, В.В.Свищев, М.В.Трошкин

Сообщается о создании и испытаниях стенда химического кислородно-иодного лазера на основе генератора синглетного кислорода с закрученным потоком газа и сверхзвуковой лазерной модели для изучения перспектив промышленного применения этого лазера. Получена максимальная мощность лазерного излучения ~ 65 кВт (средняя мощность равна ~ 50 кВт), что соответствует приведенной мощности излучения ~ 110 Вт/см². Максимальная химическая эффективность составила ~ 34 %.

Ключевые слова: химический кислородно-иодный лазер, генератор синглетного кислорода с закрученным потоком, мощность излучения, химическая эффективность.

Химический кислородно-иодный лазер (ХКИЛ) [1] благодаря высокой выходной мощности (30–50 кВт и более) и применению волоконной оптики с целью передачи излучения уникально подходит для использования в промышленности, включая дистанционную резку и сварку металлов, а также обработку поверхности [2–5]. Такой уровень мощности позволяет применять ХКИЛ для разборки отслужившего свой срок ядерного оборудования [2]. Малая длина волны (1.315 мкм) и превосходное оптическое качества лазерного пучка дают возможность с помощью этого лазера делать очень узкие разрезы, что уменьшает поток вторичных выбросов. Излучение ХКИЛ по световодам может быть доставлено в многочисленные удаленные рабочие места; управление излучением осуществляется с помощью робототехники, что снижает риск облучения персонала и сопутствующие затраты. ХКИЛ объединяет преимущества СО₂-лазеров с точки зрения получения высокой выходной мощности и Nd³⁺:YAG-лазеров с точки зрения возможности волоконной передачи энергии и эффективности резки [3].

В настоящей работе сообщается о результатах испытания сверхзвуковой модели химического кислородно-иодного лазера со средней мощностью излучения около 50 кВт на основе генератора синглетного кислорода (ГСК) с закрученным потоком газа на экспериментальном стенде, созданном для отработки узлов и систем промышленного ХКИЛ (рис. 1).

Использовалась сверхзвуковая схема смешения рабочих газов – энергонесущего (синглетный кислород (СК) с буферным газом азотом) и излучающего (смесь паров иода с азотом) [4, 5]. Иод в смеси с газом-носителем (азотом) подавался через трубчатый инжектор в сверхзвуко-

вую часть соплового блока с поперечными размерами 60 × 10 см, состоящего из 42 плоских сопел на расчетное число Маха $M = 3$, где смешивался с газами из ГСК с закрученным потоком газа.

Была принята концепция модульного блока реакторов СК, состоящего из 12 модулей такого ГСК [5]. Устройство единичного модуля ГСК с закрученным потоком газа подробно описано в работах [6, 7]. В экспериментах использовался щелочной раствор перекиси водорода с концентрациями $M_{\text{KOH}} = 6$ моль/л и $M_{\text{H}_2\text{O}_2} = 6$ моль/л. Система приготовления и подачи рабочего раствора в блок реакторов позволяла приготавливать и охлаждать ~ 200 л рабочего раствора примерно за три часа с помощью фреоновой холодильной машины. В экспериментах рабочий раствор под действием атмосферного давле-

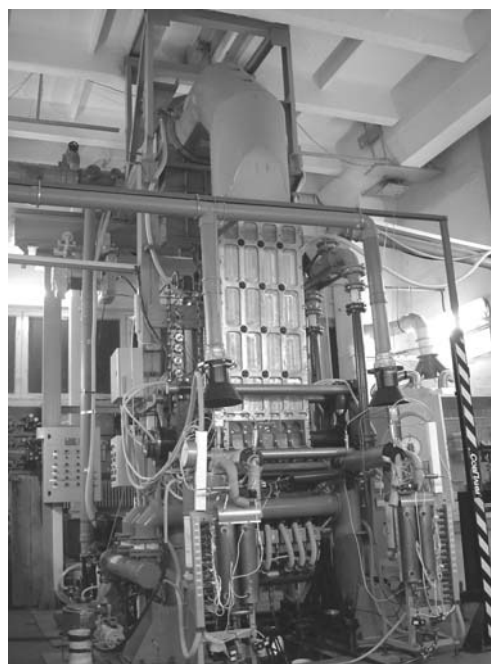


Рис.1. Стенд для исследования моделей химических кислородно-иодных лазеров.

А.А.Адаменков, В.В.Бакшин, А.В.Богачев, Е.В.Буряк, Л.А.Вдовкин, С.Д.Великанов, Б.А.Выскубенко, С.Г.Гаранин, Е.В.Горбачева, С.В.Григорович, С.П.Ильин, Р.И.Илькаев, Ю.Н.Илюшин, А.М.Калашник, Ю.В.Колобянин, М.Л.Леонов, В.В.Свищев, М.В.Трошкин.
Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, Россия, 607188 Саров, Нижегородская обл., просп.Мира, 37;
e-mail: vyskub@otd13.vniief.ru, kolob@otd13.vniief.ru

Поступило в редакцию 14 мая 2007 г.

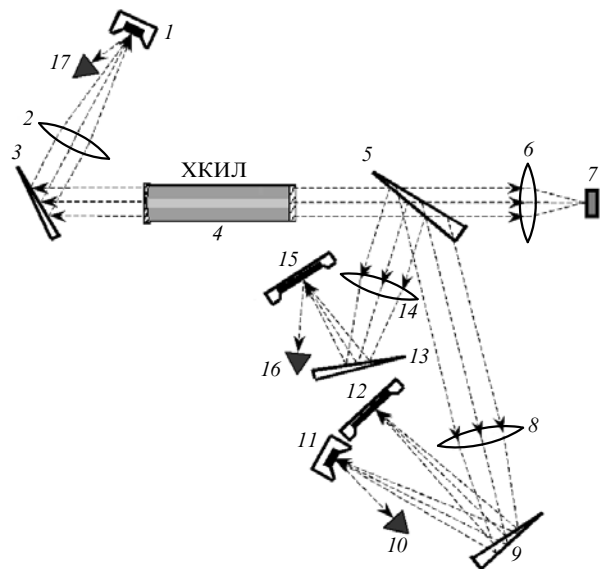


Рис.2. Оптическая схема измерений энергетических характеристик ХКИЛ:

1, 11 – калориметры; 2, 6, 8, 14 – фокусирующие линзы; 3, 5, 9, 13 – оптические клинья; 4 – модель ХКИЛ; 7 – исследуемый образец; 10, 16, 17 – фотодетекторы; 12, 15 – измерители мощности.

ния вытеснялся из расходного бака через блок реакторов в приемный бак. Время пуска составляло ~ 7 с. В блоке реакторов рабочий раствор взаимодействовал с газообразным хлором, поступающим из хлорной системы. Она представляла собой вертикально расположенные трубчатые ресиверы, из которых необходимое количество газообразного хлора газовым поршнем вытеснялось в блок реакторов.

В испарителе иодной системы кристаллический иод нагревался до температуры $100\text{--}150^\circ\text{C}$, пары иода смешивались с азотом и подавались в инжектор соплового блока. Отработанные газы через вакуумпровод удалялись в вакуумный ресивер объемом около 110 м^3 и после нейтрализации сбрасывались в атмосферу.

Стенд по заданной программе управлялся автоматизированной системой, связанной с промышленным компьютером. Эта система позволяет управлять исполнительными устройствами стенда, контролировать их состояние, а также регистрировать и обрабатывать сигналы датчиков, устройств защиты и контроля. Во время работы программы и после завершения эксперимента система формирует файлы данных, содержащие исчерпывающую информацию о ее состоянии и параметрах проведенного эксперимента.

Давление газа в различных точках газодинамического тракта лазера измерялось датчиками типа ИКД и МИДА. Числа Маха в сверхзвуковом потоке в лазерной модели определялись из известного соотношения для изэнтропического течения газа [8].

Исследование энергетических характеристик сверхзвуковой модели ХКИЛ проводилось с использованием устойчивого резонатора плоскость–сфера с зеркалами диаметром 160 мм и коэффициентами отражения 99.9 % и 85 % для глухого и выходного зеркал соответственно.

Оптическая схема измерения энергетических характеристик ХКИЛ представлена на рис.2. Для измерения энергии генерации использовались аттестованные измерители энергии и мощности лазерного излучения L1500W-LP фирмы Ophir Optronics (США) и калориметры типа

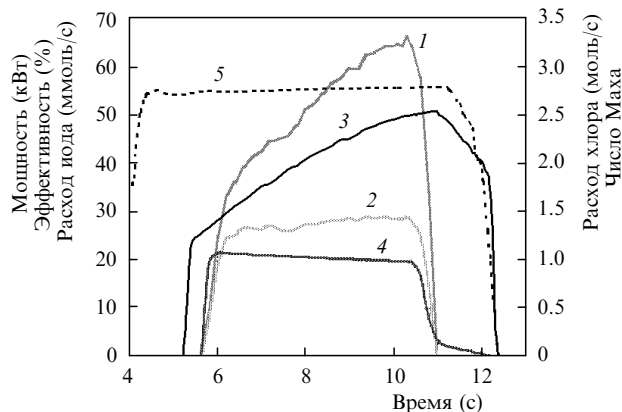


Рис.3. Экспериментальные зависимости мощности излучения (1), химической эффективности (2), расходов хлора (3) и иода (4), числа Маха (5) сверхзвукового потока ХКИЛ от времени.

ТПИ-2А. Форма импульсов генерации во времени измерялась InGaAs-фотодиодами, регистрировавшими рассеянное приемными элементами калориметров излучение.

На рис.3 приведены зависимости мощности излучения, химической эффективности, расходов хлора и иода и числа Маха сверхзвукового потока ХКИЛ от времени, полученные в одном из экспериментов. Число Маха сверхзвукового потока составляло 2.7–2.8. Рост мощности генерации во времени отвечал соответствующему увеличению расхода хлора. Максимальная мощность излучения лазера при полном давлении газа на входе в сопловой блок ~ 75 Тор составляла ~ 65 кВт (средняя мощность равна ~ 50 кВт), что соответствует приведенной мощности излучения ~ 110 Вт/см² и химической эффективности ~ 30 %. При уменьшении давления газа до 55–60 Тор химическая эффективность лазера увеличивалась до 33 %–34 %.

Авторы выражают глубокую признательность Н.В.Жидкову, Г.А.Кириллову, С.Г.Лапину и Е.Д.Яковлеву за постоянный интерес и внимание к работе, А.В.Яковлеву и Л.С.Прошину за оперативное изготовление узлов и участие в монтаже стенда, Л.М.Виноградскому и Е.А.Кудряшову за полезные обсуждения, Ю.А.Адаменкову, В.А.Багрецову, М.В.Белухину, И.А.Булаткину, Л.В.Горячеву, В.И.Ефремову, Н.А.Конкиной, А.И.Круковскому, В.Б.Моисееву, А.В.Селезневу и А.Ю.Шарову за участие в пусконаладочных работах и в проведении экспериментов.

1. Truesdell K.A., Helms C.A., Hager G.D. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **2502**, 217 (1994).
2. Hallada M.R., Seiffert S.L., Walter R.F., Vetrovec J. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **3931**, 149 (2000).
3. Fujii H., Atsuta T. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **3092**, 700 (1996).
4. Adamenkov A.A., Buzoverya V.V., Bulkin Yu.N., Ilyin S.P., Kirillov G.A., Kolobyenin Yu.V., Kudryashov E.A., Savin Yu.V., Vyskubenko B.A. *Proc. Intern. Conf. «Lasers'96»* (McLean, VA: STS Press, 1997, p. 175).
5. Vyskubenko B.A., Adamenkov A.A., Bakshin V.V., Efremov V.I., Ilyin S.P., Kolobyenin Yu.V., Troshkin M.V. *Proc. Intern. Conf. HPLB'2006* (Inst. Appl. Phys. RAS, Nizhniy Novgorod, 2006, p. 113).
6. Krukovsky I.M., Adamenkov A.A., Vyskubenko B.A., Deryugin Yu.N., Ilyin S.P., Kudryashov E.A. *Proc. SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **3931**, 99 (2000).
7. Адаменков А.А., Выхкубенко Б.А., Ильин С.П., Круковский И.М. *Квантовая электроника*, **32** (6), 490 (2002).
8. Емцев Б.Т. *Техническая гидромеханика* (М.: Машиностроение, 1987, с. 416).