

# ПЕРСПЕКТИВЫ ГРАЖДАНСКОГО И СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКИ

Л.Раткин, к.т.н., ООО «АРГМ», rathkeen@bk.ru

На Общем собрании Российской академии наук (РАН) в Москве в декабре 2010 года «Лазеры: 50 лет в науке, технике и медицине» обсуждался широкий спектр вопросов, касающихся, в частности, затрагивающий проблематику гражданского и специального применения современной лазерной техники.

Доклад советника РАН академика С.Н.Багаева затрагивал проблематику использования лазерной техники в высокопрецизионной физике и метрологии. В частности, обсуждались особенности кооперации в научной сфере Франции и России по программе развития лазерных и оптических информационных технологий и нанотехнологий и гранта РФФИ – CNRS 05–02–19645–CNRS\_a. Участниками работ являются Лаборатория физики лазеров Университета Париж-Норд и Институт лазерной физики Сибирского отделения (СО) РАН соответственно.

Выступление академика-секретаря Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН академика Е.П.Велихова было посвящено истории развития лазерной техники. Немало способствовало ускорению работ по лазерному оружию создание первого лазера Т.Мейманом в 1960 году и первого CO<sub>2</sub>-лазера К.Пателом в 1964 году. Поскольку принципиальная возможность масштабирования параметров технологических лазеров и уникальные свойства лазерного излучения открывали пути к созданию лазерного оружия, для обеспечения безопасности государства и сохранения научного паритета на встречах Министра обороны СССР Д.Ф.Устинова и Президента АН СССР А.П.Александрова с веду-

щими экспертами в сфере физики мощных лазеров данная проблема обсуждалась неоднократно.

Среди первоочередных задач, требующих решения при создании отечественного лазерного оружия, можно отметить не только разработку технологий производства, в частности, спецоптики световых потоков высокой мощности, но и создание экспериментальных моделей лазеров с энергией порядка 10 МДж и мощностью от 1 МВт, совершенствование процессов взаимодействия с материалами лазерного излучения для повышения уровня значений ключевых поражающих факторов, а также конструирование систем для наведения лазерных пучков и определения местоположения быстроперемещающихся мишеней высокой степени точности [1, 2]. Были спроектированы необходимые элементы “силовой оптики”, в частности адаптивной, обеспечивающие высокую стабильность качества лазерного пучка резонаторов и систем вывода и управления излучением [3, 4], сконструированы надежные высокоэффективные опторезонаторы, обоснованы методы получения в больших объемах активной среды и описаны ее свойства, а также свойства электрического газового разряда и оптики резонаторов в соответствующих физико-математических моделях [5–7].

Выступление иллюстрировалось результатами фундаментальных исследований, в частности возрастания мощности генерации CO<sub>2</sub>-лазера под воздействием пучка быстрых протонов, наблюдения однородного разряда в быстром потоке лазерно-активного газа (Институт атомной энергии им. И.В.Курчатова, 1970 год) и проектирования электроионизационного лазера и газоразрядного CO<sub>2</sub>-лазера непрерывного действия с самостоятельным разрядом. Обращалось внимание на апертуру в 100 мм, большое значение порога разрушения отражающего покрытия порядка 3 ГВт/см<sup>2</sup> для импульсов 0,6 нс и возможность корректировки абберрации вплоть до 15-го порядка полиномов Цернике. Среди представленных в выступлении разработок можно отметить:

- импульсно-периодический CO<sub>2</sub>-лазер «ЛАНТАН» для обработки материалов (ИПМ АН СССР),
- технологический быстропоточный CO<sub>2</sub>-лазер ЛТ-1 с самостоятельным разрядом постоянного тока мощностью 3 кВт из Института атомной энергии (ИАЭ) им. И.В.Курчатова (1975),
- импульсно-периодический лазер «ДЯТЕЛ» для разделения изотопов ИАЭ им. И.В. Курчатова (1980),
- быстропоточный CO<sub>2</sub>-лазер мощностью 10 кВт «23Е» с про-



**Академик Е.П. Велихов**

качкой газа посредством турбины авиационного двигателя для термотехнологии и накачкой самостоятельным разрядом (ИАЭ им. И.В.Курчатова и НПО «Красная Звезда» (1980),

- многолучевой  $\text{CO}_2$ -лазер «МЛК», накачиваемый безэлектродным разрядом переменного тока с диффузионным охлаждением и мощностью 3 кВт (ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1980),

- экспериментальный технологический  $\text{CO}_2$ -лазер «СЛАВЯНКА» с быстрым потоком рабочей смеси мощностью 13 кВт (НИИЭФА, 1990),

- передвижной комплекс «МЛТК-50» с накачкой несамосто-

стоятельным разрядом на базе лазера мощностью 50 кВт (ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1998).

Благодаря появлению первых экспериментальных  $\text{CO}_2$ -лазеров на промышленных предприятиях были внедрены новые технологии, в т.ч. лазерной резки – например, стальных листов большой толщины или резки под водой излучением  $\text{CO}_2$ -лазера (ИПЛИТ РАН, 1996), локального лазерного термоупрочнения головки блока цилиндра автомобильного двигателя (ЗИЛ, 1981). В качестве примера применения лазерных технологий в энергогенерирующих отраслях были представлены результаты работ по сварке и резке топливных каналов на Курской АЭС и функционированию участка лазерного производства изотопа  $\text{C}^{13}$  (ИСАН, ИАЭ им. И.В. Курчатова, 1985).

Академик Е.П.Велихов подробно рассмотрел ретроспективу созданного в 1979 году как НИЦ по технологическим лазерам АН СССР Института проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН. Переименованный в



**Академик С.Н. Багаев**

ИПЛИТ РАН в 1998 году, институт был создан по инициативе АН СССР и при активной поддержке ее Президента академика А.П. Александрова. В ходе решения задач по организации выпуска комплексов на основе мощных  $\text{CO}_2$ -лазеров для обработки материалов и их внедрения в промышленность в 1991 году на базе ИПЛИТ АН СССР были созданы инновационные структуры, при активном участии которых в период с 1991 по 2010 год было произведено свыше 200 лазерных комплексов для отечественных и иностранных предприятий. В частности, были разработаны:



Академик В.Я. Панченко

- волноводный  $\text{CO}_2$ -лазер ТЛ-1000 для прецизионной резки материалов (ИПЛИТ РАН) габаритами  $2,2 \times 0,5 \times 1,2$  м, с волновой модой ЕН11, импульсно-периодическим режимом генерации от 0,5 до 2,5 кГц и мощностью излучения 1,4 кВт,

- $\text{CO}_2$ -лазер с поперечной прокачкой рабочей смеси мощностью 2,5 кВт из типоряда ИПЛИТ РАН «ТЛ-5/10/15»,

- многолучевой  $\text{CO}_2$ -лазер с диффузионным охлаждением рабочей смеси мощностью 4 кВт из типоряда ИПЛИТ РАН «МЛТ-2/4/6»,

- лазерный технологический комплекс на базе быстропроточного  $\text{CO}_2$ -лазера мощностью 6 кВт с применением самофильтрующего резонатора (ИТПМ СО РАН, 2010) для резки листовых материалов (например, стали толщиной до 25 мм),

- $\text{CO}_2$ -лазер с поперечной прокачкой рабочей смеси мощностью 5 кВт из типоряда ИПЛИТ РАН «ТЛ-1,5/2,5/4».

Применение лазерной литографии позволяет повысить качество изготовления технологической оснастки, а при резке металла излучением мощного лазера с использованием адаптивной оптики в ИПЛИТ РАН получено наивысшее оптическое качество излучения с точностью 1% сохранения размера фокального пятна (при отсутствии корректора точность составляет 15%). На базе волноводного  $\text{CO}_2$ -лазера с накачкой разрядом переменного тока в ИПЛИТ РАН разработана интеллектуальная медицинская система «ПЕРФОКОР» для трансмиокардиальной лазерной реваскуляризации, позволяющая лучом лазера формировать от 20 до 50 каналов диаметром

от 0,5 до 1 мм в стенке миокарда (2010).

Нелинейная оптика была темой доклада профессора Макарова В.А. (МГУ им. М.В.Ломоносова) [8, 9]. В докладе были представлены примеры фундаментальных исследований в теории нелинейных электромагнитных волн академика Р.В. Хохлова (1961), решения уравнения Жарикова В.И. и Ахманова С.А. (1967) [10]. Публичным признанием выдающихся результатов в области нелинейной оптики в СССР явилось присуждение:

- Ахманову С.А. и Хохлову Р.В. Ленинской премии в 1970 году «за исследование нелинейных когерентных взаимодействий в оптике»,

- Летохову В.С. и Чеботареву В.П. Ленинской премии в 1978 году «за цикл работ по нелинейным узким резонансам в оптике и их применению»,

- Аскарьяну Г.А., Коробкину В.В., Луговому В.Н., Пилипецкому Н.Ф., Сухорукову А.П. и Таланову В.И. Ленинской премии в 1988 году «за открытие и исследование эффектов самофокусировки волновых пучков»,

- Воронину Э.С., Соломатину В.С., Матвееву И.Н., Ильинскому Ю.А. и Устинову Н.Д. Государственной премии СССР в 1970 году «за цикл исследований, направленных на создание нелинейно-оптических преобразователей ИК-сигналов и изображений в видимый диапазон»,

- Клышко Д.Н., Пенину А.Н. и Фадееву В.В. Государственной премии СССР в 1978 году «за открытие и исследование явления параметрического рассеяния света и его применение в спектроскопии и метрологии»,

- Апанасевичу П. А., Бродину М.С., Денисюку Ю.Н., Ивакину Е.В., Рубанову А.С., Соскину М.С., Степанову Б.И. и Соколовской А.И. Государственной премии в 1982 году «за разработку основ четырехволновой динамической голографии»,

- Зельдовичу Б. Я., Файзуллову Ф.С., Носачу О.Ю., Рагульскому В.В. и Зубареву И.Г. Государственной премии СССР в 1983 году «за цикл работ по са-

мообращению волнового фронта при вынужденном рассеянии на гиперзвуке»,

- Бокуть Б.В., Волосову В.Д., Дмитриеву В.Г., Ковригину А.И., Кулевскому А.А., Пискараску А.С., Рустамову С.Р., Сухорукову А.П., Усманову Т.М. и Фрейдману Г.И. Государственной премии СССР в 1984 году «за создание теории и разработку высокоэффективных нелинейно-оптических преобразователей нового поколения»,

- Акципетрову О.А., Аристову В.Ю., Ионову А.М., Кашкарову П. К., Лившицу В.Г., Овсянку В.Н. и Панову В.И. Государственной премии РФ в 2002 году за изучение электронных и атомных процессов на поверхностях твердых тел,

- Баранову В.Ю., Велихову Е.П., Баранову Г.А., Кучинскому А.А., Дядькину А.П., Пигульскому С.В., Летохову В.С. и Рябову Е.А. Государственной премии в 2002 году за исследование физико-химических основ лазерного разделения изотопов методом селективной многофотонной диссоциации молекул.

В лазерном центре МГУ им. М.В. Ломоносова в 2009 году Савельевым А.Б. и Косаревой О.Г. было проведено изучение филаментации фемтосекундных лазерных импульсов, Чиркиным А.С. – работы по параметрическому усилению при НЧ-накачке. Карабутовым А.А. были сформулированы задачи лазерной оптоакустической диагностики, Кандидовым В.П. и Чекалиным С.В. (ИС РАН) – проведены спектроскопические исследования конической эмиссии фемтосекундного филамента в плавленном кварце, при этом авторами было установлено, что при длительности импульсов от 40 до 80 фс с длиной волны в диапазоне от 400 до 2300 нм энергия составляла от 1 до 20 мкДж. В 2010 году профессором Макаровым В.А. рассматривались сингулярности поляризации в нелинейной оптике и проблемы генерации второй гармоники от поверхности нелинейной оптически активной среды при сингулярности поляризации С-типа в центре пучка на удвоенной частоте.

Обратные задачи нелинейной оптики связаны с восстановлением параметров нелинейной оптической системы по отклику на внешнее воздействие. Особое внимание уделяется нелинейной томографии неоднородных в двух или трех направлениях систем, спектроскопии одномерно неоднородных сред и традиционной спектроскопии однородных сред. Важно отметить, что при решении обратных задач, в частности в нелинейной оптике, основными проблемами являются определение точности измерения исходных данных, неустойчивость алгоритмов восстановления и обеспечение единственности решения. По-прежнему перспективно освоение методами терагерцевого диапазона частот методами нелинейной оптики, изучение нелинейной оптики метаматериалов, в т.ч. хиральных, и генерация второй гармоники – в этом направлении проводит исследования ряд коллективов ученых, в частности, Жаров А.В., Кившарь Ю.С., Шадриков И.В. (2005), Акципетров О.А., Мурзина Т.В. (2009).

Доклад лауреата Государственной премии РФ в области науки и технологий за 2009 год, директора ИПЛИТ РАН, академика Панченко В.Я. затрагивал проблематику лазерно-информационных технологий в биомедицине. Были представлены лазерные технологии быстрого прототипирования и стереолитографии, адаптивные оптические системы для офтальмологии, интеллектуальные лазерные системы для медицины, сверхкритические флюидные технологии

создания биоматериалов и матриц для тканевой инженерии, лазерно-информационные технологии дистанционного биомоделирования, лазерные технологии в отоларингологии и технологии поверхностно-селективного лазерного спекания (ПСАС). Первые модели были получены в 1991 году методом прямого лазерного рисования HeCd-лазером. Точность изготовления стереолитографической модели на установках лазерной стереолитографии ИПЛИТ РАН LS-350/500, LS-250 и LS-120 составляла от 20 до 100 мкм. Современные лазерно-информационные технологии дистанционного биомоделирования обеспечивают более 3500 операций в более, чем 30 клиниках. Первая стереолитографическая модель черепа человека была создана в ИПЛИТ РАН в 1995 году в рамках научной кооперации с Центром судебно-медицинской экспертизы Министерства здравоохранения РФ. На ПЭВМ с процессором Intel 486 с операционной системой MS DOS функционировало программное обеспечение для получения STL-представления модели черепа (процесс занимал несколько часов) и обработки томограмм. Получаемые биосовместимые имплантаты используются в Институте нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко, Московской клинической больнице № 31, Российском онкологическом центре им. Н.Н. Блохина, Московском научно-исследовательском онкологическом институте им. П. А. Герцена, Самарской областной клинической больнице им. М.И. Калинина,

Центре сердечнососудистой хирургии им. А.Н. Бакулева.

Технология ПСАС основана на расплаве поверхностей полимерных частиц, прозрачных для лазерного излучения, при его поглощении равномерно распределенными по поверхности порошка наночастицами золота и углерода. Возможно использование свойств сверхкритических сред, среди которых можно отметить пластифицирующую способность, низкую вязкость, высокие коэффициенты диффузии и растворяющую способность. Применение порошков биосовместимых полимеров для формирования сложных трехмерных объектов и их комбинаций с биоорганическими (ферменты, протеины и т.д.) и минеральными (в частности, гидроксипатит) добавками является преимуществом метода.

Метод автодинного детектирования базируется на выделении автодинного сигнала рассеянного излучения CO<sub>2</sub>-лазера, что предполагает вычитание из каждого импульса исходного сигнала усредненной формы импульса за 10 мс. Перспективно применение интеллектуальных лазерных медицинских установок для прецизионного малотравматичного органосохраняющего удаления злокачественных новообразований – их удаление и диагностика их испарения проводится одним и тем же лазерным пучком, что позволяет использовать технологии в дерматологии, нейрохирургии и онкологии. Другой пример – процедура трансмиокардиальной реваскуляризации

одиноким лазерным импульсом, позволяющая не использовать аппарат искусственного кровообращения при операции на работающем сердце и синхронизировать лазерный импульс с ЭКГ пациента (время “лазерной части” операции не превышает, как правило, получаса).

### Выводы:

1. Высокое оптическое усиление лазера обуславливает рост мощности в непрерывном режиме и внешней дифференциальной эффективности до 90%. Очевидна эволюция лазерного спектра генерации на квантовых точках с током накачки вследствие безошибочной оптической передачи на скорости до 10 Гб/с в выделенной спектральной области и сверхшироких (более 70 нм) спектрах генерации при комнатной температуре.

2. В условиях всевозрастающей конкуренции на мировом рынке вооружения и военной техники (ВВТ) применение лазерных гражданских технологий в военной сфере позволило создать оборонительные системы нового поколения, конкурентоспособные на внешнем рынке. Необходим законодательный контроль экспорта соответствующих технологий.

3. Целесообразно внесение изменений в российскую нормативно-правовую базу, регламентирующую норму отчислений

предприятий ОПК, инвестирующих в НИОКР. В частности, необходимо предоставление налоговых льгот для инвестирования в фундаментальные и прикладные научные разработки, что создаст дополнительные стимулы для развития производства и социальной инфраструктуры [11].

4. Одним из важнейших направлений развития современной науки и техники является совершенствование лазерных технологий, приборов и систем, предназначенных для решения широкого класса задач в гражданском производстве и ВВТ. Бюджетное недофинансирование соответствующих программ при полномасштабном развертывании аналогичных исследований за рубежом создает угрозу национальной безопасности и препятствует укреплению обороноспособности государства.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Андряхин В.М., Велихов Е.П., Ковалев Л.С. и др.** Квazистационарный CO<sub>2</sub>-лазер атмосферного давления с несамостоятельным разрядом, контролируемым потоком нейтронов. – Письма в ЖЭТФ, т. 18, вып. 1, с. 15.
2. **Напартович А.П., Старостин А.Н.** Механизмы неустойчивости тлеющего разряда повышенного давления. – Химия плазмы, 1979, вып. 6, с. 153.
3. **Бондаренко А.В., Голубев В.С., Лебедев Ф.В. и др.** Перспекти-

вы использования разряда переменного тока для накачки CO<sub>2</sub>-лазера. – Квантовая электроника, 1980, т. 7, № 4, с. 775.

4. **Велихов Е.П., Голубев В.С., Пашкин С.В.** Тлеющий разряд в потоке газа. – Успехи физических наук, т. 137, № 1, с. 117.
5. **Осипов А.И., Панченко В.Я.** Тепловые эффекты при резонансном взаимодействии лазерного излучения с молекулярными газами. – М.: Издательство МГУ, 1984.
6. **Баранов В.Ю., Напартович А.П., Старостин А.Н.** Тлеющий разряд в газах повышенного давления. – Итоги науки и техники. Физика плазмы, 1984, т. 5, с. 90.
7. **Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Т.** Физические явления в газоразрядной плазме. – М.: Наука, 1987.
8. **Vavilov S.I., Levshin V.L.** Zeitschrift für Physik, 1926, 35, 932.
9. **Вавилов С.И.** Микроструктура света. Исследования и очерки – М.: АН СССР, 1950.
10. **Ахманов С.А., Коротеев Р.И.** Методы нелинейной оптики в спектроскопии рассеянного света – М.: Наука, 1981.
11. **Раткин Л.С.** Банк данных инвестиционных проектов предприятий оборонно-промышленного комплекса: его участие в процессе реформирования отрасли и место на рынке информационных продуктов. – Вопросы оборонной техники, 2002, № 5 (312), с. 32.



## КОНФЕРЕНЦИЯ «ЛАЗЕРЫ В НАУКЕ, ТЕХНИКЕ, МЕДИЦИНЕ»



Оргкомитет XXII Международной научно-технической конференции «Лазеры – 2011», посвященной промышленным, медицинским и научным лазерным системам, приглашает специалистов принять участие в пленарных и секционных заседаниях или выступить со стендовыми доклада-

ми в рамках проводимого 19–24 сентября 2011 года в Геленджике форума. Основные направления работы конференции:

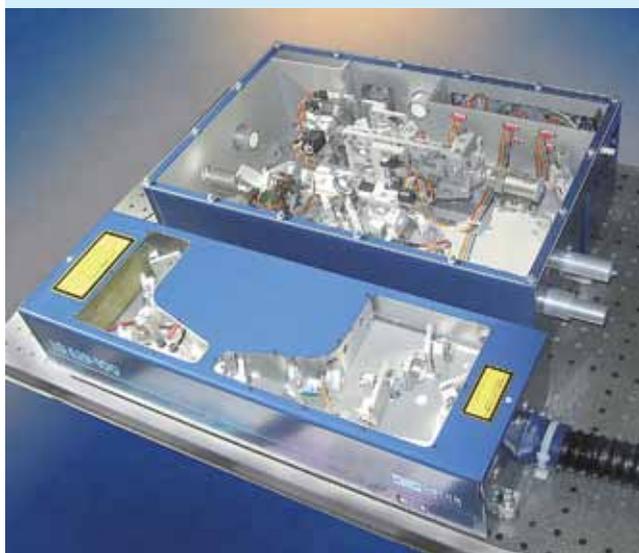
- лазеры в системах локации, навигации, связи;
- биомедицинские применения лазеров;
- лазерные технологические системы;
- лазерные и оптико-электронные приборы;
- лазеры в ядерных технологиях;
- функциональные материалы для лазерной техники.

Планируется опубликовать материалы докладов, представленных в Оргкомитет к 1 августа 2011 года, в виде отдельного сборника научных трудов конференции «Лазеры – 2011». С требованиями к оформлению материалов и регистрации заявки на участие в форуме можно ознакомиться на сайте конференции «Лазеры – 2011» [www.mntores.inlife.ru](http://www.mntores.inlife.ru).

*Н.Смольская, [mntores@mail.ru](mailto:mntores@mail.ru)*

## ИСТОЧНИКИ ИК-ДИАПАЗОНА INFRATUNE

Компания СОЛАР ЛС (Минск, Республика Беларусь) представляет новое семейство лазерных источников ИК-диапазона **InfraTune** с перестраиваемой длиной волны выходного излучения. Модельный ряд приборов **InfraTune** представляет собой полностью твердотельную лазерную систему, включающую в себя: YAG лазер, параметрические генераторы света (ОРО) и генератор разностной частоты (DFG). Благодаря такой архитектуре и использованию отработанных и проверенных схемотехнических решений **InfraTune** демонстрирует недостижимое ранее для приборов этого спектрального диапазона сочетание высочайшей надежности, компактности и эффективности.



ИК-лазерная система с диапазоном перестройки длин волн от 1,5 до 20 мкм

Платформа **InfraTune** в своей максимальной комплектации позволяет реализовать практически непрерывный диапазон перестройки в диапазоне длин волн от 1,5 до 20 мкм с шириной линии генерации от 10 до 30 см<sup>-1</sup> и максимальной энергией генерации до 25 мДж в указанном спектральном диапазоне. Для повышения надежности при ежедневной эксплуатации и предотвращения повреждений оптических компонентов, связанных с поглощением рабочего излучения парами воды, в приборах предусмотрена пылезащита и прокачка всех оптических полостей азотом. Все модули лазерной системы закреплены на единой оптической плите, не допускающей механических деформаций и обеспечивающей долговременную стабильность выходных параметров.

**InfraTune** имеет встроенный оригинальный нелинейный спектрометр, который позволяет не только контролировать фактическую длину волны выходного излучения во всем спектральном диапазоне, но и обеспечивает режим автокалибровки для точного соответствия установленной длины волны ее реальному значению.

Платформа **InfraTune** обеспечивает полностью автоматизированный режим управления длиной волны выходного излучения. Специально разработанное программное обеспечение позволяет оператору не только выходить на заданную длину волны, но также выполнять тонкую подстройку длины волны и работать в режимах сканирования по индивидуально задаваемой программе. С помощью модульного дизайна разработанной лазерной системы можно изменять диапазон перестройки, частоту следования импульсов и выходную энергию, конфигурируя лазерную систему под специфические задачи пользователей.