

УДК 621.373.826:621+339.14

**ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РЫНКА ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.
ЧАСТЬ 1. МИРОВОЙ ЛАЗЕРНЫЙ РЫНОК**

© 2014 В.С. Казакевич, С.И. Ярьско

Самарский филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Поступила в редакцию 10.04.2014

В статье представлен обзор развития рынка лазерных технологий за период 2001-2013гг.

Ключевые слова: лазерные технологии, CO₂ – лазеры, твердотельные лазеры, диодные лазеры, волоконные лазеры

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение и совершенствование лазерных технологий (ЛТ) в экономике наиболее развитых стран является глобальной тенденцией мирового развития. Использование ЛТ имеет решающее значение для повышения производительности труда и конкурентоспособности национальной экономики, расширения возможностей ее интеграции в мировую экономическую систему. Лазерная обработка материалов является одной из тех технологий, которые определяют современный уровень производства в промышленно развитых странах. Отличительные особенности применения лазеров в производстве – высокое качество получаемых изделий, высокая производительность процессов, экономия людских и материальных ресурсов, экологическая чистота.

Под отраслью ЛТ, интегрированной в мировую экономику, понимается совокупность четырех сегментов, функционирующих в тесном взаимодействии:

- это, прежде всего, производство и продажа лазерного технологического оборудования и технологий (лазеров и лазерных установок, комплектующих материалов и оборудования, программного обеспечения и пр.);
- разработка лазерных технологий;
- предоставление услуг, связанных с использованием ЛТ;

- подготовка кадров для отрасли ЛТ.
Рост отрасли ЛТ в мире определяется двумя основными движущими факторами:

- расширением проникновения ЛТ в промышленное производство и повседневную жизнь людей;

- тенденцией к передаче сторонним специализированным организациям части внутренних функций, связанных с использованием ЛТ. Этому способствует высокая эффективность применения ЛТ значительно сокращается время на проведение технологических операций, повышается производительность использования энергетических ресурсов и показатели качества продукции. Передача специализированным организациям части внутренних функций, связанных с использованием ЛТ и ЛТ-инфраструктуры (ЛТ-аутсорсинг) вызвана дефицитом квалифицированных кадров на рынке, стремлением предприятия или фирмы сократить затраты и сконцентрироваться на основных направлениях деятельности.

К основным тенденциям развития отрасли относится сохраняющаяся высокая доля стоимости оборудования в общем объеме рынка ЛТ, с сохранением ЛТ-бизнеса в странах Старого Света, что отражает необходимость использования высококвалифицированного персонала. Высокая цена лазерного технологического оборудования приводит к снижению спроса потребителей на технику с улучшенными техническими характеристиками, поскольку ее добавочные преимущества незначительны с точки зрения большинства покупателей. Увеличение доли услуг происходит и из-за возрастающей сложности лазерных технологических систем, что требует больших усилий и затрат на их установку, развитие и обслуживание, а также наличие персонала высокой

Казакевич Владимир Станиславович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по науке.

E-mail: kazakevich@fian.smr.ru

Ярьско Сергей Игоревич, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ученый секретарь.

E-mail: scisec@fian.smr.ru

квалификации. Тенденция к привлечению сторонних организаций для выполнения функций, связанных с ЛТ, также вносит свой вклад в опережающий рост сегмента услуг.

В качестве характерной особенности сегодняшнего положения в области ЛТ необходимо отметить свойственный динамично развивающимся отраслям дефицит кадров. Развитые страны концентрируют научные силы, создают специальные образовательные программы. Россия, к сожалению, располагает в этом вопросе меньшими возможностями. Другой особенностью является широкомасштабное разделение труда в сфере лазерного производства. Существует большое количество фирм по производству комплектующих. Крупные лазерные фирмы зачастую выступают как холдинги по отношению к своим оптическим, механическим, электротехническим производствам, оставляя за собой только разработку и сборку лазерных систем.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЛТ В МИРЕ

Отрасль ЛТ является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей в мире [1-7]. Так, общий объем рынка лазерных продаж в 2003 году составил 1,79 млрд. \$, с учетом продаж диодных лазеров – 4,9 млрд. \$, в 2005 г. - 2,21 млрд. \$, а с учетом лазерных диодов – 5,46 млрд. \$, в 2007 г – 3,0 млрд. \$, а с учетом диодных лазеров – 6,89 млрд. \$. Темпы прироста коммерческих продаж лазеров в 2006 году по сравнению с 2004 годом составили почти 16%, за этот же период объем продаж лазеров для обработки материалов вырос почти на 14,4 % с 1,47 млрд. \$ до 1,67 млрд. \$ (рис. 1). Стабильно высокими сохраняются темпы роста объема продаж лазеров для обработки материалов и в последующие годы: в 2011 году

объем продаж вырос на ~ 15% отношению к 2010 году, а в 2012 году почти на 6% по сравнению с 2011 годом. При этом глобальные колебания мирового финансового рынка (2009 год – кредитный кризис) оказывают существенное влияние на объем продаж лазеров, как и на другие сектора экономики (рис. 1) По прогнозу журнала «Three-Fives Review» [8] спрос на лазеры, используемые в качестве оборудования для резки и сварки в промышленном производстве и операционного оборудования в хирургии, постоянно увеличивается. Общий объем продаж лазерных систем возрос с 6,4 млрд. евро в 2005 г. до 10,2 млрд. евро в 2010 г. в сравнении с его небольшим увеличением от 3,2 млрд. евро в 1999г. до 4,0 млрд. евро в 2002 г. В 2011 году мировой объем лазерных источников излучения составил 7,46 млрд. \$, что на 14% больше, чем было в 2010 году [9]. Корреляция рынка ЛТ с потребительским рынком определяет его перепады в различных секторах экономики, в частности, в 2007 году на подъеме оказался спрос на лазеры для обрабатывающей промышленности – в результате появления новых быстро развивающихся рынков для них в Китае и Индии. Годовые объемы продаж (в шт.) всех лазеров, наиболее широко используемых для обработки материалов, постоянно растут. Как правило, это обусловлено состоянием экономики в секторе обрабатывающей промышленности, где определяющими являются мало подверженные рецессиям такие отрасли как энергетика, авиакосмическая промышленность, транспорт, производство медтехники, изготовление металлопродукции. Например, 2011 год характеризуется ростом объемов продаж волоконных лазеров (особенно мощных, применяемых для резки листового металла) на 38%, CO₂-лазеров – на 14%, твердотельных лазеров

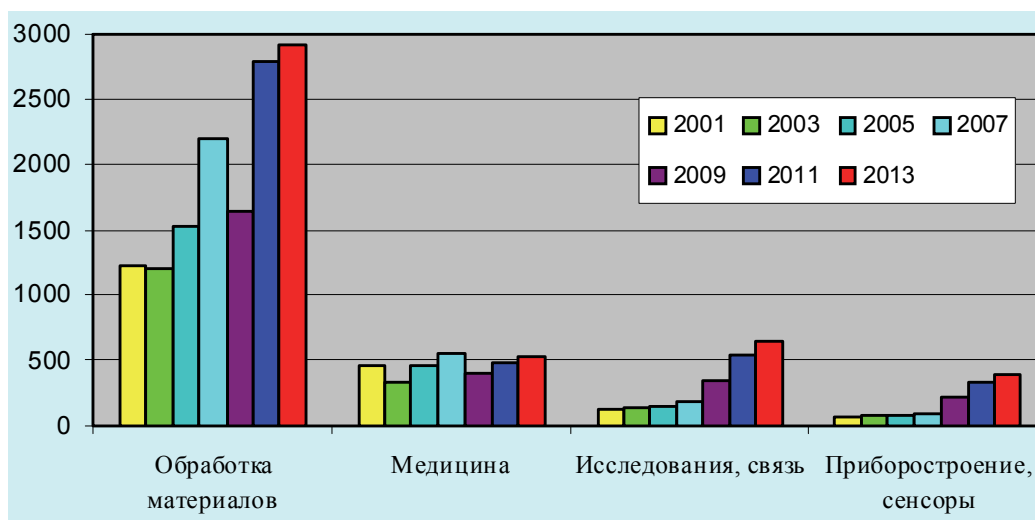


Рис. 1. Объемы коммерческих продаж недиодных лазеров на мировом рынке по видам применений, млн. \$

(ТТЛ), работающих в режиме генерации ультракоротких импульсов – на 16% [9]. Мощный толчок сектору рынка, включающему лазерную обработку материалов, дали именно волоконные лазеры, как малой, так и высокой мощности. В 2012 году на рынок вышли 4 новые компании – поставщика таких источников излучения, которые пытаются конкурировать с признанным лидером в этой области – «IPG Photonics».

В основном, ЛТ развиваются в странах ЕС, США и Японии (рис. 2). Заметно отстают от них страны Юго-Восточной Азии (ЮВА), но даже в этих странах объем лазерных продаж примерно в пять раз выше, чем в России. За последние годы при ведущей роли правительства в создании и реализации инновационной политики в области высоких технологий заметно улучшилась ситуация на рынке производства и потребления ЛТ в Китае. Так, например, в провинции Хубэй, являющейся сосредоточением оптической промышленности в стране, валовой продукт лазерных предприятий в 2005 году превысил 75 млн. \$. В странах ЕС лазерные технологии (в более общем смысле - *фотонику*) рассматривают не иначе как локомотив технологических инноваций. Рынок фотоники в мире превышает 150 млрд. евро, демонстрируя 14% ежегодный рост на протяжении последних 10 лет. По оценкам специалистов вне зависимости от состояния общеэкономической конъюнктуры темпы прироста мирового производства лазерных систем и источников лазерного излучения (ЛИ) сохраняются на уровне 10-15%. При этом следует отметить выход волоконных лазеров на рынок недиодных лазеров и продолжающееся вытеснение недиодных лазеров диодными во многих применениях. Продолжается рост производства ТТЛ, обусловленный как разнообразием требований к лазерным источникам в различных приложениях, так и совершенствованием систем накачки таких лазеров лазерными

ми диодами (ЛД).

На протяжении последних лет наиболее выраженной тенденцией в отрасли остается консолидация научно-производственных мощностей и капиталов ряда компаний, направленная на завоевание рынка. Состоялось большое число слияний, поглощений, приобретений фирм. Примерами являются «Coherent»/«Positive Light», «Lightcross»/«Arroyo», «GSI Lumonics»/«Spectron Laser», «NeoPhotonics»/«Lightwave Microsystems» и др. Вместе с этой тенденцией развиваются процессы поиска возможностей использования аутсорсинга и рационализации цепочек поставок.

В целом, как и на все рынки высоких технологий, на развитие рынка ЛТ оказывают влияние различные политические и экономические события. В силу противоречивости этих влияний наибольшее преимущество имеют диверсифицированные компании с большим портфелем новых разработок. Примером может служить состояние прибыли которых в наиболее «неспокойном» 2004 году выросла соответственно на 17,7 млн. \$ и 32,4 млн. \$, а объемы продаж – на 22 и 25%.

В сфере высоких технологий лазерный рынок – один из наиболее динамично развивающихся. Данные, представленные на рис. 3 и 4, иллюстрируют стабильный и динамичный рост мирового производства и рынка продаж технологических лазеров для обработки материалов. Обработка металла является главной частью рынка технологических лазеров, в 2011 году она занимала 68% годового объема продаж лазерных установок для технологических применений [9].

Применение ЛТ в машиностроении чрезвычайно разнообразно – это сварка (в основном, в автомобиле- и судостроении), поверхностная обработка, а именно термоупрочнение, легирование и наплавка, резка и размерная обработка, раскрой материалов в заготовительном произ-

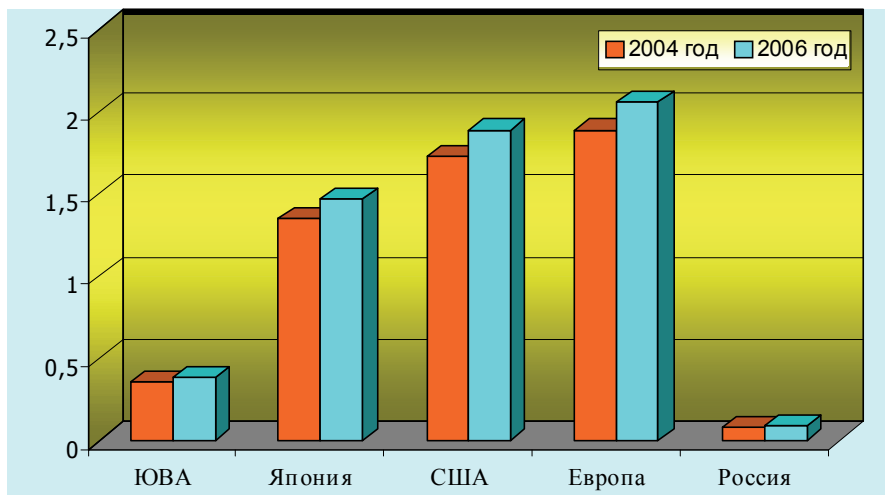


Рис. 2. Объем продаж лазеров по регионам мира, млрд. \$

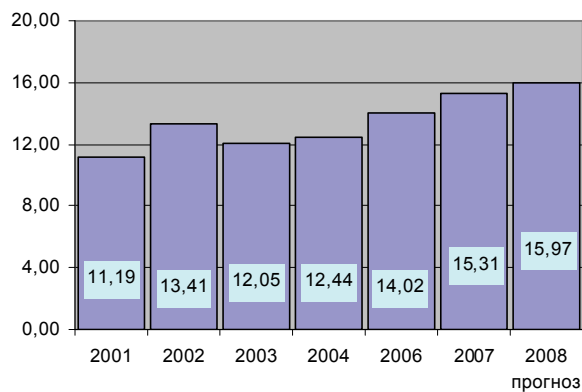


Рис. 3. Изменение объема продаж ТТЛ с ламповой и диодной накачкой и прокачных лазеров на CO_2 для обработки материалов, тыс.шт.

водстве, маркировка и гравировка, прецизионная микросварка электронных компонентов. В ряде направлений с помощью лазеров достигнуты технические и экономические результаты, которые нельзя реализовать другими техническими средствами. Во многих случаях ЛТ не имеют конкурентов, например, при производстве легких сотовых конструкций.

Активное использование западными фирмами в различных отраслях промышленности лазерных станков и аппаратуры является одной из причин явного превосходства продукции ведущих европейских компаний над продукцией российских производителей, в частности в автомобилестроении. Хотя еще в начале 90^х годов 20в. российские технологические лазеры не уступали западным аналогам и начинали успешно внедряться на производстве.

Среди лазерных источников, используемых для обработки материалов, традиционно велика доля CO_2 -лазеров, особенно среди лазеров высокой мощности (до 20 кВт). Установки с этими источниками составляют сейчас абсолютное большинство среди машин, применяемых для резки, сварки и термообработки, и серийно выпускаются в Европе, США и Японии. Магистральным направлением развития и совершенствования CO_2 -лазеров является повышение их надежности и экономичности. Показателем широкого внедрения ЛТ в промышленность является высокими темпами развивающийся рынок лазерной техники и технологий в Китае. Лазерные технологические установки (ЛТУ) с мощными лазерами (CO_2 -лазеры до 5 кВт, ТТЛ с ламповой накачкой до 1 кВт китайского производства) используются для резки (листовой металл, пластики, дерево, ткани и пр.), сварки, упрочнения или наплавки (пуансоны и матрицы, сверла и буры, клапаны, лопатки и т.д.), сверления (фильтры), быстрого прототипирования.

Анализ состояния обработки материалов в промышленности ведущих стран мира показыва-

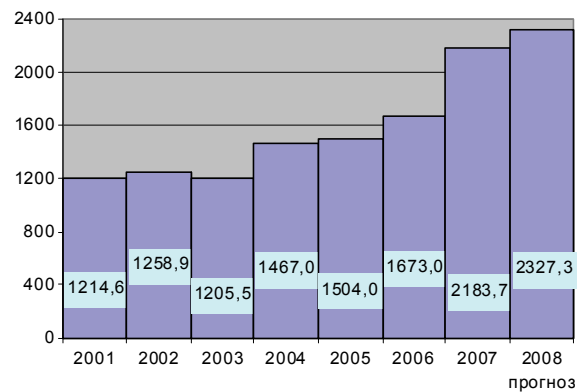


Рис. 4. Изменение объема продаж недиодных лазеров для обработки материалов, млн. \$

ет устойчивые тенденции ускоренного широкого развития лазерной техники и технологий лазерной сварки, резки и других видов лазерной обработки конструкционных материалов в автомобильной, судостроительной и авиационной промышленности. ЛТ оборудование, используемое в этих отраслях, обеспечивает высокую надежность и малое энергопотребление, 2-3 кратное снижение потребности в высококвалифицированном персонале по сравнению с традиционными сварочными технологиями, позволяет применять современные системы автоматического контроля и управления. Робототехнические системы позволяют снизить непроизводительные затраты времени. Внедрение лазерного технологического оборудования позволяет уменьшить деформации заготовок и допуски на их обработку, повысить точность и надёжность, качество изделий, уменьшить затраты на рихтовку и сократить сроки изготовления заказов, повысить степень автоматизации производства, улучшить экологию и условия труда. Снижение трудоёмкости и повышение производительности, при комплексном подходе, обеспечивается до 2-3 раз (на отдельных операциях и более).

Для обеспечения максимальной загрузки лазера, быстрой его окупаемости и возможности использования излучения для различных операций без переналадки системы при организации технологических процессов резки и сварки широко используются многопостовые лазерные системы с периодическим переключением лазерного пучка между постами [10]. Именно такой идеологии, внедряя свои разработки в западноевропейском судостроении, и придерживается немецкая фирма «Messer Cutting & Welding».

В Европе ЛТ широко используют крупнейшие автомобилестроительные фирмы: *BMW, Renault, Audi, Mercedes, Volkswagen*. ЛТ в автомобилестроении используются при сварке деталей сцепления, шестерен, деталей кузова, глушителей, топливного бака, сварке и резке панелей,

резке и маркировке деталей интерьера, маркировке кодов и др. Использование лазерной сварки в автомобилестроении обеспечивает повышение производительности, сокращение трудоемкости и стоимости работ (до 3^x раз), снижение затрат на рихтовку, повышение ресурса сварных соединений, повышение коррозионной стойкости и ресурса автомобиля, повышение жесткости и прочности соединений, позволяет изменить их конструкцию, устраняет необходимость механической обработки после сварки. Лазерная сварка деталей автомобилей позволяет при уменьшении их веса на 1% снизить расход топлива на 0,6%, что обеспечивает снижение себестоимости автомобиля и повышает его пассивную безопасность.

ЛТ в авиастроении позволяют осуществлять сварку и высокоточный раскрой Ti, Al+Ti, Al+сталь, Ti и Al – сплавов, жаропрочных сталей, углепластиков, стекловолоконных и композитных материалов, выполнять маркировку деталей и узлов (металлы, пластмассы, керамика и др.). Лазерная сварка панелей фюзеляжа обеспечивает высокую производительность: скорость сварки до 5 м/мин. Минимальное термическое воздействие на металл уменьшает сварочные деформации и в 3-4 раза по сравнению с аргодуговой сваркой снижает объем работ по рихтовке. Меньшее выгорание легирующих добавок обеспечивает механические свойства металла сварного соединения на уровне 95-97% от основного материала. Эффект глубокого проплавления позволяет изменять конструкцию узлов и соединений, снижая вес без потерь прочности. Новое качество поверхности понижает аэродинамическое сопротивление, что, например, для самолета А-380 позволяет снизить расход топлива за один трансатлантический перелет на 750 кг. Для этого же самолета повышение ресурса сварных соединений за 25 лет эксплуатации воздушного судна обеспечивает экономию 9 млн. евро.

В судостроении ЛТ (резка и сварка) широко используются на верфях Германии, Японии, Кореи, США, Великобритании, Дании, Финляндии, обеспечивая производительность, качество, экономию на рихтовке после сварки, повышение точности, снижение трудоемкости. Судовые секции на основе сваренных лазером плоских панелей отличаются высокой прочностью, звуко- и теплоизоляцией, отсутствием необходимости их правки после сборки, малый вес и малая высота конструкции. По оценкам датских экономистов годовая экономия за счет внедрения лазерной резки и сварки при постройке двух судов водоизмещением 50 тыс. тонн составляет 83 тыс. \$. Как утверждают западноевропейские эксперты, за счет широкого внедрения ЛТ в судостроение общие расходы, связанные со сварочными работами, могут

быть уменьшены на 50 %.

Лазерная и гибридная сварки труб и трубопроводов обеспечивают более чем двукратную производительность (1800 м) за смену (10 часов), по сравнению с ручной дуговой сваркой и сваркой в защитном газе (540 м и 860 м соответственно), при меньшем количестве персонала и единиц оборудования.

В случае комплексного применения автоматизированных и роботизированных лазерных технологий резки деталей и сварки конструкций суммарные затраты на их изготовление снижаются в среднем 2-3 раза по сравнению с традиционными технологиями.

Более половины рынка лазерных систем для обработки материалов приходится на комплексы с CO₂- и волоконными лазерами, продажи которых (в шт.) выросли в 2011 г. по сравнению с 2010 г. более чем на 15%, что обусловлено, в первую очередь, спросом на машины для лазерной резки [9]. В 2012 году лазерные станки для резки и раскроя листового металла обеспечили 5 млрд. \$ продаж. Причем 20% источников излучения для таких станков приходится на волоконные лазеры.

Общим для оборудования, применяемого для лазерной обработки материалов, является осуществление поставок на рынок не отдельных ЛТУ, а целых комплексов (ЛТК). Помимо лазеров, ЛТК включают в себя устройства внешней оптики, управляемые столы, манипуляторы либо роботы для перемещения изделия во время обработки и программное обеспечение, необходимое для реализации конкретной технологии.

Лучшие западноевропейские фирмы, продукция которых в полной мере отвечает требованиям современного производства, мало уступают фирмам США и Японии и могут вполне удовлетворять потребности промышленности. Несомненными лидерами в производстве ЛТ оборудования, лазерных систем и технологий, имеющими наиболее богатый опыт комплексного внедрения мощных ЛТК «под ключ», являются хорошо известные и зарекомендовавшие себя в условиях реального производства во многих странах мира, в т.ч. и в России, фирмы «*Trumpf GmbH + Co*», «*Messer Cutting & Welding*» (Германия), «*Bystronic Laser AG*» (Швейцария) и «*Esab-Hancock GmbH*» (Швеция), «*Prima Industry*» (Италия), «*Rofin Sinar Laser GmbH*» (Германия).

В промышленности Европы, как правило, применяются лазеры мощностью до 3-6 кВт, в основном для резки и реза – для сварки. Например, лазерные комплексы «*TRUMATIC L3050*» с 5 кВт лазером, «*Bystar 3015*», «*Bystar 4025*» обеспечивают высококачественную резку листового материала толщиной до 25 мм (по стали), до 12 мм (по алюминию), труб и различных профильных кон-

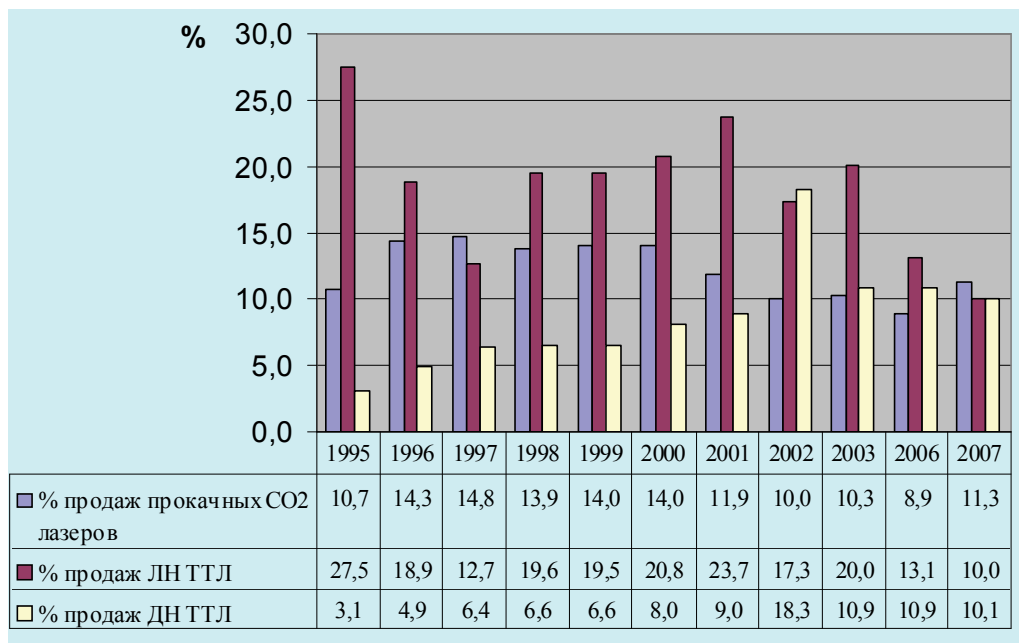


Рис. 5. Доля продаж прокачных CO₂ и ТТЛ в общем объеме продаж (в штучном выражении) лазеров для обработки материалов

струкций. ЛТК для резки с лазером модели С 6000-Е производства фирмы «GE Fanuc» (Япония), являющейся лидером в Европе по применению лазеров, обладает широким спектром применений, например, может устойчиво резать конструкционную сталь толщиной до 32 мм.

Применение CO₂ – лазеров мощностью до 20-25 кВт в промышленности в США и Европы до сих пор достаточно дорого и является редким исключением. Анализ потребности рынка показывает, что доля лазеров для сварки, по-видимому, в ближайшие годы увеличится в несколько раз, при уровне мощности до 10-20 кВт. При этом CO₂ – лазеры будут уступать долю своего рынка твердотельным диодным и волоконным лазерам.

Наряду с традиционными мощными CO₂-лазерами в технологии машиностроения успешно применяются ТТЛ с ламповой (ЛН ТТЛ) и диодной накачкой (ДН ТТЛ), а также диодные лазеры киловаттного уровня. В автомобилестроении, авиационном двигателестроении, при резке высокопрочных сталей и микрообработке этим типам лазеров серьезными конкурентами являются волоконные лазеры.

Производство ТТЛ растет очень высокими темпами. Догоняя газовые лазеры по мощности излучения (в 2001 году компания Mitsubishi представила 10 кВт ТТЛ), они превосходят их по технологичности, экономичности и массогабаритным показателям¹. В качестве примера можно

¹ По материалам доклада В.А. Лопоты, Г.А. Туричина, И.А. Цибульского «Лазерные технологические комплексы для обработки материалов и их использование в машиностроении» на симпозиуме «Лазерные технологии», Москва, КВЦ «Сокольники», 3-4 июля 2002 г.

привести Nd:АИГ–лазер (производство фирмы «Haas-Laser GmbH», Германия) длительной мощностью 4 кВт и максимальной мощностью 5 кВт, с качеством пучка 25 мм·мрад. [11]. ЛН ТТЛ прочно удерживают первое место по объему продаж из-за широкого использования этих лазеров для обработки материалов (рис. 5). В 2004 г. их было продано на 11% больше, чем в 2003 г. – несмотря на усиливающуюся конкуренцию со стороны ДН ТТЛ. Тенденция роста в секторе ламповых ТТЛ сохранилась и в 2005 г., увеличение объема продаж составило для этого типа лазеров ~ 8% [1].

Конкурентоспособность ТТЛ особенно резко повысилась после появления машин с диодной накачкой. Эти источники излучения обладают многими преимуществами перед ЛН ТТЛ – у них более высокое качество луча, лучшая надежность, меньшее энергопотребление, меньшие эксплуатационные расходы. На рынке уже представлены лазерные установки со средней мощностью 2,6кВт и КПД равным 10% (производство фирмы «Rofin Sinar», Германия) [12]. Свидетельством успеха технологических ДН ТТЛ на рынке и ожидаемого роста спроса на них может служить тот факт, что в 2002 году один из основных производителей этих лазеров – фирма «Trumpf» (Германия) купила фирму-производителя мощных диодных лазеров, используемых для накачки ДН ТТЛ – «Princeton Lightwave» (США), а второй производитель киловаттных ДН ТТЛ – фирма «Rofin Sinar» (Германия) еще раньше приобрела «DILAS Diodenlaser», где также производятся мощные диодные лазеры. Цель этих приобретений очевидна – гарантировать себе бесперебойную поставку важнейших комплектующих изделий. Востребованность ТТЛ еще бо-

лее возросла с появлением мощных лазеров на дисковых активных элементах с высоким качеством излучения (Slab – лазеры), имеющих малые габаритные размеры и вес. Эти лазеры, мощность которых достигает 3,5 кВт (установка DC 035, фирмы «Rofin Sinar», Германия) и более, успешно применяются для резки и сварки изделий машиностроения [13]. Компания TRW предлагает для применения в промышленности мощный 500 Вт слэб-лазер, накачиваемый стэками лазерных диодов. Компания «Trumpf» на основе дисковых лазеров организовала производство лазерных станков для резки, сварки и поверхностного упрочнения, наличие вывода излучения через оптоволокно позволяет им успешно конкурировать с установками, использующими волоконные лазеры.

Для применений в машиностроении очень перспективны диодные лазеры, имеющие наибольший КПД из всех известных лазерных источников излучения, используемых для обработки материалов. В 2005 году было отмечено удвоение объема продаж на рынке установок для обработки материалов на основе мощных диодных лазеров и его рост до 14,3 млн \$ [14]. По мнению экспертов это свидетельствует о том, что технологические установки на базе ЛД начинают занимать заметное место в ряду ЛТУ, которое для них давно прогнозировалось. Рост продаж имел место как для линейек ЛД, так и для стэков. Линейки обычно используются в установках с относительно меньшим уровнем мощности для пайки, микросварки, сварки пластмасс. На основе стэков делают установки киловаттного класса, находящие свое применение в сварке и термообработке. В последующие годы положение на рынке продаж мощных лазерных диодов стабилизировалось: в 2007 году объем продаж ЛД составлял около 15,9 млн. \$ [15].

На основе диодных лазеров созданы ЛТК для сварки и термообработки, в том числе и с использованием волоконно-оптических систем транспортировки излучения. В частности, фирма «Laserlink» (Германия) выпускает такие лазеры мощностью до 3 кВт [16], а фирма «Rofin Sinar» изготавливает диодные лазеры с мощностью 2,5 кВт и полным КПД > 30% [17]. Компактный лазер данного типа с использованием световодов, может быть использован для мелких сварочно-монтажных и ремонтных работ в судостроении, в стесненных условиях. Возможность изменять геометрию пятна нагрева делает данный источник весьма подходящим для технологий поверхностной обработки. В зависимости от конкретного применения выпускаются диодные лазеры с прямоугольным или квадратным поперечным сечением. Лазеры, предназначенные для поверхностной обработки, имеют высокую мощность (до

6 кВт) и достаточно большое сечение луча в фокальной плоскости (примерно 1 см²). Радиальная симметрия выходящего излучения делает результат обработки не зависящим от направления перемещения и хорошо подходит для обработки трехмерных изделий с помощью роботизированных систем. Благодаря более короткой длине волны генерируемого излучения, излучение диодных лазеров более эффективно поглощается металлами, поэтому одним из очевидных применений этого типа лазеров является поверхностная обработка. Главным же преимуществом мощных излучателей на основе диодных лазеров по сравнению с Nd:YAG-установками являются более низкие капитальные и текущие затраты, а основными недостатками – относительно высокие цены и пока низкая надежность диодов накачки. Продолжающиеся работы по совершенствованию таких лазеров позволяют надеяться на скорое появление и машин для резки металла. Подобного типа лазеры достаточно компактны и легко вписываются в состав роботизированных ЛТК. Например, фирма «Erlas Erlangen Lasertechnik GmbH» (Германия) выпускает диодный лазер мощностью 4 кВт и массой 16 кг, монтируемый на руке шарнирного робота, позволяющего вести обработку поверхности трехмерного изделия по произвольному контуру [18]. Фирма «Coherent» производит целый ряд диодных лазеров весом менее 20 кг и мощностью от 2,8 кВт до 8,0 кВт, предназначенных для решения задач термообработки, плакирования и сварки. Например, применение данных лазеров при термообработке позволяет получить упрочненный слой глубиной до 1,5 мм и твердостью до HRC65 на нержавеющей стали и глубиной до 2 мм и HRC68 на углеродистых сталях [19]. Более того, на основе диодного лазера мощностью 1 кВт разработан мобильный аппарат с устройством для ручной лазерной сварки и упрочнения [20].

Существенного изменения в структуре мирового рынка производства и продаж технологических лазеров можно ожидать в связи с появлением волоконных лазеров многокиловаттного уровня (разработчик НТО «ИРЭ-Полус», Россия), развитие которых неуклонно растет по сравнению с ТТЛ и СО₂ – лазерами, где, несмотря на продолжающиеся в течение длительного времени инвестиции, наблюдается насыщение (рис. 6) [21]. Волоконные лазеры быстро прогрессируют в объемах продаж, что уже оказывает и в ближайшее будущее окажет еще более сильное влияние на весь бизнес в области лазерной техники. Для этого типа лазеров отмечается качественно новый рубеж в снижении эксплуатационных затрат, что может быть более существенным, чем повышение выходной мощности.

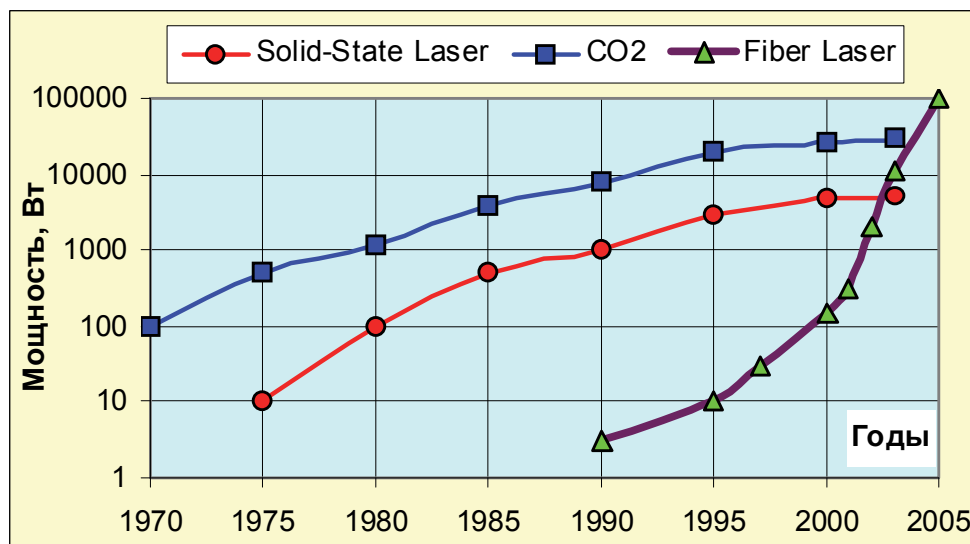


Рис. 6. Рост мощности лазеров различных типов

Эти источники излучения способны обеспечить равные с ныне существующими технологическими лазерами значения стоимости киловатта мощности ЛИ, многократно превосходя их при этом по сроку службы, имея при этом существенно более низкую величину эксплуатационных расходов, обладают высокими КПД, стабильностью выходных параметров, качеством излучения и надежностью. Интегральная технология их производства обеспечила устойчивость лазеров к пыли, влаге, механическим воздействиям, позволила избежать необходимых в традиционных конструкциях юстировочных операций, решен вопрос доставки излучения по волоконному световоду в зону обработки. Число применений волоконных лазеров очень быстро увеличивается, позволяя прогнозировать кардинальное изменение ситуации на лазерном рынке, перерастающее в инновационный бум после многих лет медленного роста. Подтверждением этой тенденции является быстрый рост доли волоконных лазеров на мировом рынке неодимовых лазерных систем (в 2005 г. – 18,5%, а в 2006-м может превысить 24,6%) (рис. 7) [22]. Рост продаж волоконных лазеров в 2007 году составил 40%, они «захватывают» уже, казалось бы, устоявшиеся рынки, где они не открывают новых применений, а заменяют другие лазеры [7]. В 2007 г. объем продаж волоконных лазеров компания «IPG Photonics» (США) вырос на 32% по сравнению с 2006 г., в III квартале 2008 г. ее продажи на 29% превысили аналогичный показатель для 2007 г. и достигли 62 млн. \$ за квартал [23]. Спрос на волоконные лазеры для обработки материалов неуклонно продолжает расти, что обусловлено стремлением пользователей лазерного технологического оборудования сделать лазерную обработку еще более выгодной экономически и сни-

зить стоимость используемых лазерных источников в пересчете на долл./Вт. Лидером на рынке остается компания «IPG Photonics», которая по объему продаж (156 млн. \$ в 3-м квартале 2012 г.) обогнала компанию «Newport Corp.» (143 млн. \$ за тот же период) [24]. Спрос на это тип лазеров наиболее ощутим в странах Северной Америки, наименее заметен в Европе.

Тестирование технологических возможностей волоконных лазеров показывает, что они, благодаря своим преимуществам перед традиционными лазерными системами пригодны для замены классических лазеров практически во всех промышленных лазерных технологических процессах, а по ряду свойств имеют существенные преимущества. Киловаттные системы на основе волоконных лазеров прошли первичную апробацию в таких компаниях, как *Volkswagen*, *DaimlerChrysler*, *Kuka*, *Linde*, *EWI* и другие. Общий результат тестов – появился исключительно надежный и удобный в работе лазерный излучатель, требующий минимальных затрат на техническое обслуживание. Система управления лазеров серий YLR имеет множество сервисных возможностей. Технологические возможности волоконных лазеров не уступают самым высококачественным CO₂ – лазерам, более того, скорее всего будут их превосходить после оптимизации технологических головок.

Тем не менее, у ряда специалистов ведущих фирм, производящих лазерные комплексы (Trumpf, Bystronics и др.), наблюдается определенный скептицизм относительно использования мощных волоконных лазеров для резки металлов, особенно большой толщины (свыше 10 мм). Это связано прежде всего с тем, что всего в мире находится в эксплуатации до тридцати тысяч лазерных комплексов на основе CO₂ – лазеров,

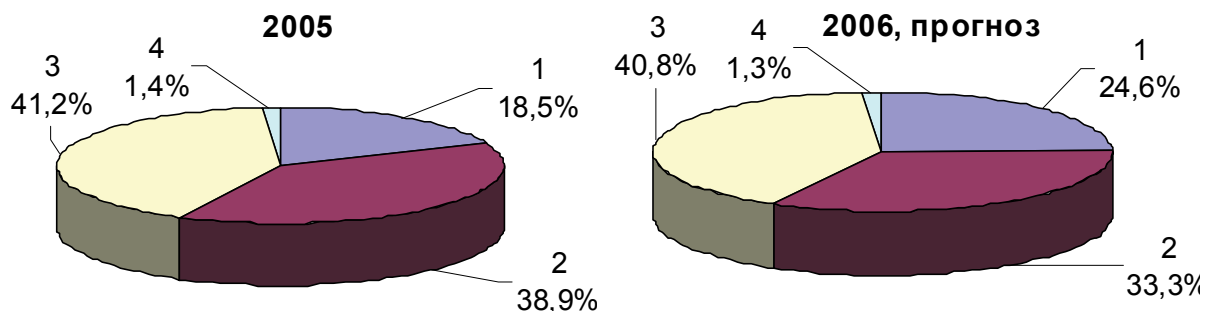


Рис. 7. Структура рынка недиодных ТТЛ:

1 – волоконные лазеры; 2 – ЛН ТТЛ; 3 – ДН ТТЛ; 4 – прочие

производство которых поставлено на поток, и их замена потребует как серьезных вложений от производителей, так и существенных затрат со стороны пользователей этого оборудования, а сам процесс модернизации займет не один год. Существенным фактором является также то, что волоконные лазеры киловаттного и мультикиловаттного уровня производятся серийно только международной группой IPG, частью которой является российская компания НТО «ИРЭ-Полюс» (г. Фрязино, Московская обл.) [25].

Следует ожидать, что в ближайшие годы ТТЛ и, в первую очередь, волоконные и ДН ТТЛ – найдут самое широкое применение в обработке материалов, а возможность увеличения мощности до 6-8 кВт и более, при высоких: КПД (до 30%) и коэффициенте поглощения излучения при длине волны излучения 1,06 мкм, небольших габаритах и малой материалоемкости – обеспечат дальнейшее развитие и создание качественно новых средств технологического оснащения для современной материалобрабатывающей промышленности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ мирового рынка ЛТ показывает достаточно стабильное развитие этой отрасли мировой экономики, выражающееся, прежде всего, в постоянно растущем объеме продаж источников ЛИ и специализированных ЛТК на их основе, разработке новых и совершенствовании уже действующих, хорошо себя зарекомендовавших на мировом рынке лазеров, разработке новых технологических процессов обработки материалов, расширении областей применения ЛТ в первую очередь на предприятиях машиностроительного профиля, освоении новых рынков продаж и применения технологических лазеров и ЛТК на их основе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Объем продаж источников лазерного излучения вырос в 2004 году на 10%.

- Обзор и прогноз. Часть 1. Неодиодные лазеры // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2005. № 3-4 (306-307). С.1-9. («Optoelectronics Report». 2005. V.12, №1).
2. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Лазерный рынок в 2003 г. вырос на 15%. Обзор и прогноз. Часть 1. Неодиодные лазеры // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2004. № 8 (287). С.1-11. («Optoelectronics Report». – 2004. – V.11, №1).
3. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Мировой рынок лазеров: обзор 2002 года и прогноз на 2003-й. Часть 1. Неодиодные лазеры // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2003. № 3 (258). С.1-11. («Optoelectronics Report». 2003. V10, №1).
4. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Мировые лазерные рынки. Часть 1. Неодиодные лазеры // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2002. № 4 (235). С.1-12. («Optoelectronics Report». 2002. V9, №1)
5. Андерсон С. Дж. Обзор и прогноз мирового лазерного рынка. Часть 1. Неодиодные лазеры // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2001. № 3-4 (210-211). С.6-15. («Optoelectronics Report». 2001. V8, №1).
6. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Лазерный рынок в 2006г. Обзор и прогноз. Часть 1. Неодиодные лазеры. Лазерная индустрия возвращается в область рентабельности // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2007. № 5 (356). С.1-9. («Optoelectronics Report». 2007. V14, №1).
7. Кинкэйд К., Андерсон С. Дж. Лазерный рынок в 2007г. Обзор и прогноз. Часть 1. Неодиодные лазеры. Динамика лазерной индустрии отражает тенденции мировой экономики // Лазер-Информ. М.: ЛАС, 2008. № 1-2 (376-377). С.2-10. («Optoelectronics Report». – 2008. – V.15, №1).
8. Laser market increase // Three-Fives Review. 2003. V.16, №6. P.5.
9. Овертон Г., Хаускен Т., Бельфорте Д.А., Холтон К. Посткризисные потрясения экономики не позволяют лазерным рынкам устояться. Состояние в 2011 году и прогноз на 2012 год // Лазер-Информ. – М.: ЛАС, 2012. № 3 (474). С.1-6. («Laser Focus World». 2012. №1)
10. Uetz H., Hardock G., Warnecke H.I. Lasercutting and welding in a flexible manufacturing system // Proc. 2nd Int. Conf. Lasers Manuf., Birmingham, 26-28 March, 1985; LIM-2.-Kempston, Amsterdam. 1985. P.261-278.
11. Сварка твердотельным лазером. Schweiben mit Festkorperlaser // Bander-Bleche-Rohre. 1997. T.38, №10. С.48-49.
12. [Мощные установки лазерной обработки с использованием твердотельных лазеров с оптической накачкой]. Langleibige Dioden steigern Wirtschaftlichkeit // Ind. Anz. 1998. V.20, N44. С.9.
13. [Лазер Slab мощностью 3,5кВт]. 3,5 kW SlabLaser // Blech Rohre Profile. 1998. V.45, N11 – С.33.

14. *Стил Р.В.* Падение цен «душит» рынок. Обзор и прогноз. Часть 2. Диодные лазеры // *Лазер-Информ.* М.: ЛАС, 2006. №6 (333). С.1-8. («*Optoelectronics Report*». – 2006. – V13, №3).
15. *Стил Р.В.* Мировой лазерный рынок: состояние и тенденции. Часть 2. Диодные лазеры // *Лазер-Информ.* М.: ЛАС, 2008. №4 (379). С.1-8. («*Optoelectronics Report*». – 2008. – V15, №3).
16. [Применение мощных полупроводниковых лазеров с выходной мощностью 3 кВт для лазерной сварки и обработки поверхностей]. *Kleiner Diodenlaser mit 3000 Watt zum Schweißen* // *Blech Rohre Profile*. 1998. V.45, N11. С.34.
17. [Nd:АИГ- и диодные лазеры фирмы *Rofin-Sinar*]. *Euro-BLECH 98* / *Christoph H.* // *Praktiker*. 1999. V.51, N1. С.38.
18. [Высокопроизводительный диодный лазер мощностью 4 кВт для повышения твердости по произвольному контуру]. *4-kW-Hochleistungsdiodenlaser für das Harten beliebiger Konturen* // *Maschinenmarkt*. 2000. V.106, N9. С.106.
19. *Diode Laser Systems and Fiber Lasers* // <http://www.coherent.com/products/?807/Diode-Laser-Systems-and-Fiber-Lasers> (дата обращения 23.03.2014).
20. Мобильный аппарат для лазерной сварки // <http://welder.ru/journal/2001-03/2001-03-33-1.htm> (дата обращения 23.03.2014)
21. *Schlueter H.* CO₂ Lasers Make the Cut // *Photonics Spectra*. 2003. V.37, Iss.6.
22. *Мишаев В.П.* Фирма и ее лидер // *Лазер-информ*. 2006. №335.
23. *Овертон Г., Андерсон С.Дж., Хаускен Т., Белфорте Д.А.* Лазерная индустрия: период больших тревог // *Лазер-Информ.* М.: ЛАС, 2009. № 8 (407). С.1-8. («*Optoelectronics Report*». 2009. V16. №1)
24. *Овертон Г., Ноджи А., Бельфорте Д.А., Холтон К.* Лазерные рынки развиваются несмотря на «встречные ветры» в глобальной экономике // *Лазер-Информ.* М.: ЛАС, 2013. № 3 (498). С.1-8. («*Laser Focus World*». 2013. №1. С.36-47.).
25. *Межевов В.С. Петровский В.Н.* Обработка материалов с помощью мощных волоконных лазеров // *РИТМ*. 2008. №4(34). С.49-50.

TENDENCIES OF DEVELOPMENT OF THE MARKET OF LASER TECHNOLOGIES FOR THE SOLUTION OF PROBLEMS OF LASER PROCESSING OF MATERIALS. PART 1. THE WORLD LASER MARKET

© 2014 V.S. Kazakevich, S.I. Yaresko

Samara Branch of P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences

In article the review of development of laser technologies market for the period 2001-2013 years is presented.
Key words: laser technologies, CO₂ - lasers, solid-state lasers, diode lasers, fiber lasers.

Vladimir Kazakevich, Candidate of Physics and Mathematics, the Deputy Director on Science, Senior Scientific Employee. E-mail: kazakevich@fian.smr.ru
Sergei Yaresko, Dr.Sci.Tech., the Scientific Secretary, Senior Scientific Employee. E-mail: scisec@fian.smr.ru