

Ю.В. Скрыль, С.М. Слободян
Мощные CO_2 -лазеры с ВЧ-накачкой.
Принципы построения

На современном этапе развития лазерной техники длительного действия наиболее мощными, совершенными в практическом отношении и приспособленными для технологических целей являются электроразрядные CO_2 -лазеры [1–5]. Большой интерес к этим лазерам обусловлен значительно превосходящей эффективностью преобразования электрической энергии в энергию лазерного излучения в совокупности с максимальной реализуемой мощностью по сравнению с аналогичными параметрами других типов лазеров.

В настоящее время выпускаются CO_2 -лазеры с мощностью излучения до 10 кВт и более, в том числе более 50 типов CO_2 -лазеров с ВЧ-накачкой мощностью излучения от 3 Вт до 5 кВт. Газоразрядные лазеры с ВЧ-возбуждением предпочтительнее лазеров, в которых для накачки применяется самостоятельный тлеющий разряд постоянного тока. Необходимо отметить, что практическая реализация CO_2 -лазеров с ВЧ-накачкой позволяет создавать малогабаритные технологические лазеры мощностью до 1 кВт, позволяющие устанавливать их на подвижных узлах исполнительных механизмов промышленного оборудования. Мощность излучения CO_2 -лазера зависит от мощности высокочастотной энергии, отдаваемой в активную зону газоразрядной камеры. Поэтому при проектировании, в первую очередь, задаются необходимой мощностью генератора накачки.

Выполнение некоторых требований, предъявляемых к генераторам накачки, является сложной задачей, тем более что некоторые из них весьма противоречивы. К примеру, для достижения высокого к.п.д. используют нелинейные режимы усилительных каскадов со сложной формой токов, что ведет к увеличению уровня побочных излучений и созданию дополнительных мер по его ослаблению до разрешенных пределов. Генераторы накачки выполняются по однокаскадным и многокаскадным схемам. В диапазоне высоких частот, т.е. от 1 до 300 МГц, однокаскадная схема построения генератора применяется редко, так как она не обеспечивает стабильных частотных параметров при заданной мощности в рабочем диапазоне частот. В многокаскадной схеме источником стабильных высокочастотных колебаний является задающий

генератор небольшой мощности, буквально единицы милливатт, а дальнейшее усиление сигнала до необходимой величины осуществляется в последующих каскадах, работа которых не влияет на параметры задающего генератора.

В качестве задающего генератора используют генератор с самовозбуждением, называемым автогенератором. Стабильность параметров этого генератора определяется добротностью применяемой резонансной системы. Наилучшей добротностью обладают кварцевые резонаторы. Задающие генераторы с кварцевой стабилизацией частоты, работающие на основной частоте кварцевой пластины или на ее механических гармониках, обладают стабильной амплитудой и частотой выходного напряжения, но допускают перестройку частоты в очень небольших пределах – долях процента от резонансной частоты кварца. Однако при изучении влияния частоты на характеристики высокочастотного емкостного разряда и на параметры активной лазерной среды и при создании лазерных установок с оптимальными параметрами необходим мощный источник высокочастотных колебаний с широким диапазоном перестройки и стабильными выходными параметрами.

Задающие генераторы с параметрической стабилизацией частоты обладают широким диапазоном перестройки, но не обеспечивают необходимой стабильности параметров выходного сигнала. Поэтому для получения высокостабильных колебаний в широком диапазоне частот вместо задающего генератора включают специальное электронное устройство – синтезатор частоты, формирующий сетку высокостабильных частот в каком-то частотном промежутке путем синтеза. Например, в диапазоне частот 10–50 МГц с шагом в 100 Гц получается 400000 рабочих частот. Синтезаторы частоты выполняются по схеме с фазовой (ФАП) или частотной (ЧАП) автоподстройкой или с их одновременным использованием. Источником этих высокочастотных колебаний служит единственный кварцевый генератор, частота которого многократно преобразуется путем умножения, деления, алгебраического суммирования и вычитания.

Сформированный таким образом сигнал подается на фазовый дискриминатор, на другой

вход которого подается часть напряжения с генератора плавного диапазона (ГПД), перестраиваемого с помощью включенного в колебательную систему управляемого элемента (УЭ) – варикапа. Управляющее напряжение на варикап подается через фильтр низких частот с фазового дискриминатора, постоянно работающего в режиме сравнения. Фазовый дискриминатор (ФД) сравнивает фазы поданных на него напряжений и вырабатывает управляющее напряжение, величина которого пропорциональна разности фаз. Управляющее напряжение поступает через узкополосный фильтр низкой частоты на управляемый элемент. Управляемый элемент воздействует на частоту генератора плавного диапазона в таком направлении, чтобы сохранился захват и сдвиг фаз составлял бы 90° (синхронизм). Если частота ГПД из-за действия какого-либо дестабилизирующего фактора пытается уйти, то это вызывает изменение разности фаз, соответственно изменяется управляющее напряжение и корректируется фаза, а частота не изменится. Этот процесс называется автослежением. Система ЧАП работает аналогично.

Различие между системами ФАП и ЧАП вытекает из особенностей дискриминаторов ФД и ЧД. Различна и полоса захвата. Полосой захвата называется узкая область расстройки сравниваемых колебаний, охватываемая характеристикой ЧД или ФД, в пределах которой обеспечивается работоспособность системы ЧАП или ФАП. Обычно полоса захвата при ЧАП много шире, чем при ФАП, что облегчает захват при ЧАП. Чтобы обеспечить захват при ФАП, прибегают к повторным циклам изменения частоты ГПД до получения захвата. Иногда применяют обе системы одновременно: ЧАП для обеспечения захвата и ФАП для точной настройки. В этом случае на вход УЭ подается сумма напряжений с выходов ЧД и ФД. Далее сформированный высокочастотный сигнал подается на усилитель мощности. Усилитель мощности может состоять из одного или нескольких промежуточных усилителей мощности (ПУМ) и выходного усилителя мощности (ВУМ). В зависимости от необходимости для накачки мощности высокочастотного сигнала решают, каким быть усилителю мощности: ламповым или транзисторным, настроенным (резонансным) или широкополосным, линейным или нет.

Общий коэффициент усиления по мощности определяется количеством промежуточных каскадов усиления и коэффициентом усиления каждого каскада. Если на выходе ВУМ мощность высокочастотного сигнала недостаточна, применяют схему сложения (суммирования) мощнос-

ти нескольких ВУМ. Активным элементом усилителя мощности является транзистор или электронная лампа. В зависимости от того, какой вывод лампы или транзистора соединяется с общим проводом, различают три схемы усилителя: с общим катодом (или эмиттером), с общей сеткой (или базой), с общим анодом (или коллектором). Общий электрод стремятся непосредственно соединить с корпусом усилителя, но иногда это невозможно, так как на него необходимо подать напряжение питания. В этом случае общий провод заземляют по высокой частоте через конденсатор. Транзисторные усилители, в отличие от ламповых, характеризуются большей внутренней обратной связью, большей зависимостью параметров как от частоты, так и от амплитуды усиливаемых колебаний (т.е. большей нелинейностью) и меньшими входными и выходными сопротивлениями. Режимы работы ламповых и транзисторных усилителей классифицируют с учетом начального положения рабочей точки на сеточно-анодных характеристиках ламп или на проходных характеристиках транзисторов, перемещение которой происходит путем изменения напряжения смещения. От выбранного режима выходного усилителя мощности зависит и его энергетический к.п.д., максимальное значение которого может достигать до 80–90%. В ВУМ для увеличения выходной мощности иногда применяют схему параллельного включения однотипных ламп или транзисторов, если мощность единичного элемента недостаточна.

Применяют также схемы двухтактного, параллельно-двухтактного и мостового включения активных элементов. Параллельное соединение большого числа транзисторов резко ухудшает устойчивость усилителя, а увеличение выходной мощности из-за довольно большого разброса параметров транзисторов весьма незначительно. Наиболее перспективным направлением в данном случае является метод сложения мощности транзисторных усилителей мощности с использованием схем сложения, обеспечивающих их взаимную электрическую развязку. В этих схемах, часто называемых мостовыми, или гибридными, каждый усилительный элемент работает самостоятельно на оптимальную для него нагрузку. Под взаимной электрической развязкой усилителей понимается независимость режима работы каждого из усилителей от режима работы остальных, вплоть до короткого замыкания (по высокой частоте) или обрыва последних. Наличие взаимной электрической развязки позволяет также избавиться от различных эффектов, связанных с неравномерным распределением нагрузки на отдельные усилительные

элементы, вследствие чего выходная мощность и надежность работы всего устройства существенно повышаются. Изменение выходной мощности генератора накачки может осуществляться изменением глубины связи между усилительными каскадами, разбалансировкой схемы сложения мощности и методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) высокочастотных колебаний. В основу метода ШИМ заложен принцип цифрового управления уровнем и стабилизации средней выходной мощности, что позволяет регулировать выходную мощность в широких пределах с высокой точностью и стабильностью. Для передачи выходной мощности генератора накачки в разрядную камеру CO_2 -лазера с минимальными потерями применяется устройство согласования, задачей которого является отслеживание изменения входного импеданса разрядной камеры и согласование его с выходным импедансом ВЧ-генератора накачки.

Разрядная камера в самом простом варианте представляет собой замкнутый объем в виде металлического корпуса, внутри которого находится система из двух зеркал: «глухого», с полным отражением, и полупрозрачного – выходного. Между зеркалами находятся элементы активной зоны: разрядные пластины, на которые по кабелю подается высокочастотное напряжение накачки. Внутри камеры поддерживается давление в пределах 20–40 Тор. Сама разрядная камера заполнена смесью газов (CO_2 , N_2 , He). Простейшим типом резонатора является резонатор Фабри-Перо, состоящий из двух параллельных зеркал, расположенных друг от друга на расстоянии L_p . В технологических лазерах резонатор Фабри-Перо используется крайне редко из-за больших дифракционных потерь. Чаще используются резонаторы с одной или двумя сферическими отражающими поверхностями. Свойства этих резонаторов зависят от знака и величины радиуса их кривизны R , а также от L_p и определяются стабильностью существования в нём электромагнитной волны. Мощность лазерного излучения при данных конструкции разрядной камеры, типе разряда и вкладываемой электрической мощности может быть существенно повышена путем рационального устройства оптического резонатора. В современном промышленном производстве широко применяются лазерные технологии.

Технология лазерной обработки. Лазерная обработка материалов является одной из технологий, определяющих современный уровень производства в развитых производственных предприятиях. Среди технологических лазерных источников, используемых для обработки мате-

риалов, традиционно выделяются три основных типа установок: твердотельные квазинепрерывные и импульсно-периодические источники лазерного излучения с выходной мощностью 100–300 Вт для обработки черных металлов и нержавеющей стали; газовые непрерывные CO_2 - (инфракрасные) лазеры с выходной мощностью до 250 Вт для обработки неметаллических материалов (полимеры, дерево, резина и т.д.); газовые непрерывные CO_2 -лазеры с выходной мощностью до 2500 Вт для обработки как неметаллических материалов, так и черных металлов, легированных сталей и некоторых видов сплавов. Кроме упомянутых существует широкая гамма других источников лазерного излучения, однако их использование определяется либо узким специфическим кругом задач, либо экспериментально-исследовательским назначением лазерных установок.

Области применения. Применение лазерных технологий в обработке материалов чрезвычайно многообразно.

1. Лазерная резка – самый распространенный вид лазерной обработки. В процессе лазерной резки происходит плавление или испарение материала и удаление продуктов процесса из зоны резки продувкой кислородом, воздухом, азотом или другим технологическим газом. Основные достоинства: высокое качество технологического процесса, скорость, гибкость, минимальные затраты материала (диаметр «режущего инструмента» 0,1–0,2 мм). При резке лазером отпадает необходимость механического закрепления заготовки ввиду отсутствия динамических или статических воздействий, резка осуществляется сфокусированным излучением.

2. Лазерная гравировка – изменение структуры материала, испарение или разрушение материала на заданную глубину воздействием импульса лазерного излучения. Исходя из технологии, гравировка осуществляется на импульсных лазерах либо с помощью затворов, реализующих импульсный режим работы.

3. Лазерная маркировка – изменение структуры поверхности материала воздействием импульса лазерного излучения. Маркировка производится, как правило, на металлических материалах импульсными лазерами.

4. Лазерная «гравировка» по пасте CO_2 -лазерами малой мощности (30–40 Вт) производится на поверхности металлов с использованием специальных паст и является, по сути, некоторым аналогом термопечати. CO_2 -лазеры спекают пасту и обеспечивают относительно высокую адгезию сублимата на поверхности металла.

5. Выполнение объемных изображений в массе оптически прозрачного материала (стекла) основано на фокусировании излучения не на по-

верхности материала, как в случае резки, а в его толще. Под воздействием короткого импульса излучения в точке фокусировки происходит микровзрыв, изменяющий однородность материала. Таким образом, формируется один из пикселей составляющих изображение. Мощные лазеры незаменимы при раскрое листовых металлических и полимерных материалов, сварке, резке, гравировке, закалке и т.д. В настоящее время в мире насчитывается более 20000 промышленных лазерных систем, при этом на первое место выходят многоосевые лазерные роботы. Высокая стоимость этих установок во многом связана с их сложностью и громоздкостью. Поэтому одной из основных тенденций развития мощных лазеров является стремление к их компактизации при сохранении мощности, сохранении оптического качества излучения и надежности. В связи с этим в последние годы интенсивно разрабатываются газовые лазеры с высокочастотной накачкой. ВЧ-накачка позволяет ввести высокие плотности мощности в разряд при высокой однородности и устойчивости его горения. В щелевых лазерах с ВЧ-накачкой возможно организовать диффузионное охлаждение рабочего газа, что избавляет от необходимости иметь громоздкие и дорогие газодинамические контуры для охлаждения рабочего газа, насосы и теплообменники. За рубежом, в Великобритании, Германии, Японии и Израиле, разработаны лабораторные образцы щелевых CO_2 -лазеров с мощностью излучения 100–1000 Вт при электрооптическом к.п.д. около 10%. Фирма «Coherent» (США) недавно выпустила на рынок серию щелевых CO_2 -лазеров мощностью 75, 150 и 225 Вт. Щелевые CO_2 -лазеры с ВЧ-накачкой отличаются хорошей, близкой к дифракционному пределу, расходимостью излучения, компактностью и высокой надежностью. В Научно-исследовательском институте лазерной физики (НИИ ЛФ) в 1993–1995 гг. разработан щелевой CO_2 -лазер с ВЧ-накачкой с мощностью излучения 200 Вт и расходимостью излучения 2,5 миллирадиана по уровню 0,8 полной мощности, что близко к дифракционному пределу. Лазер может работать в непрерывном и импульсно-периодическом режимах, при этом импульсная мощность превышает среднюю в 2–3 раза. Использование таких лазеров для обработки диэлектрических материалов дает возможность получить хорошие технологические параметры (скорость и качество обработки, экологические параметры и т.д.). При увеличении мощности щелевого лазера до 1 кВт в непрерывном режиме или при реализации импульсно-периодического режима с импульсной мощностью 3–10 кВт спектр решаемых технологических задач суще-

ственно расширяется. Практически это приведет к вытеснению технологических CO_2 -лазеров с быстрой прокачкой газовой смеси, которые существенно уступают щелевым лазерам по компактности и экономичности. Это, в свою очередь, может привести к расширению использования лазеров в промышленности. Имеется ряд причин физического и конструктивного характера, по которым наращивание мощности излучения целесообразно не путем простого увеличения площади электродов, а путем создания многощелевых конструкций. При этом сохраняется компактность устройства, появляется реальная возможность выхода щелевых CO_2 -лазеров на многокиловаттный уровень. Однако для многощелевых конфигураций лазера необходимо решить задачу суммирования излучений от отдельных щелевых зазоров. При этом, по-видимому, возможен такой выбор оптической схемы, чтобы происходило фазирование отдельных пучков, что приведет к значительному повышению яркости в суммарном луче. В работе канадских авторов используется осесимметричная многощелевая конфигурация электродов и получен обнадеживающий результат в лазере мощностью 200 Вт. Итальянские авторы исследовали возможность фазирования излучений от трех щелевых разрядных промежутков, расположенных параллельно друг другу. Однако в данной работе не удалось получить фазирования излучения. Имеются и другие работы, в которых проводятся подобные исследования как для щелевых лазеров, так и для набора обычных волноводных лазеров. В настоящее время на российском рынке высокотехнологичного оборудования отечественные и зарубежные производители предлагают большое количество технологических CO_2 -лазеров с ВЧ-накачкой для лазерной обработки материалов. Например, в качестве технологического CO_2 -лазера в составе установок для гравировки и резки металлов, полимеров и дерева используются отечественные лазеры мощностью 25–700 Вт. Для растровой гравировки подходят только малогабаритные волноводные CO_2 -лазеры с высокочастотным возбуждением, которые способны работать в импульсно-периодическом режиме с частотой повторения до 1–5 кГц. Импульсно-периодический режим с частотой до 1 кГц реализуется на лазерах с накачкой разрядом переменного тока производства НПП «Технологические лазеры». Наличие такого режима в сочетании с высоким качеством лазерного луча позволяет качественно резать металл при существенно меньшем уровне мощности. Так, лазер мощностью 300 Вт не только практически полностью закрывает все задачи резки пласти-

Технологические CO₂-лазеры

Тип лазера	Отличительные особенности	Основное назначение
Одномодовый CO ₂ -лазер с ВЧ-возбуждением мощностью 25 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Отпаянный Электронный затвор	Растровая и векторная гравировка пластика, дерева, стекла, керамики, металла с покрытием. Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 5 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер с ВЧ возбуждением мощностью 50 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Отпаянный Электронный затвор	Растровая и векторная гравировка пластика, дерева, стекла, керамики, металла с покрытием. Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 10–12 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 75 Вт	Непрерывный Отпаянный	Резка пластика, дерева, фанеры, толщиной до 10–15 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Многомодовый CO ₂ -лазер мощностью 80 Вт	Лазер начального уровня Отпаянный Низкая стоимость	Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 10–15 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 140 Вт	Отпаянный Непрерывный	Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 15–25 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 250 Вт	Воздушное охлаждение Непрерывный и импульсно-периодический режимы Электронный затвор Медленная прокатка рабочей среды	Резка дерева, фанеры, пластика толщиной до 30 мм, резка керамики, резка листового металла толщиной 1–2 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 700 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Электронный затвор Медленная прокатка рабочей среды	Резка дерева, фанеры, пластика толщиной до 50 мм, резка керамики, резка листового металла толщиной до 3–5 мм

ков, дерева и т.п., но позволяет качественно резать листовую металл толщиной до 3 мм. Одномодовые CO₂-лазеры работают в режиме, близком к генерации основной моды (TEM₀₀), и соответственно имеют малую расходимость излучения и высокую стабильность пространственного распределения мощности в лазерном луче. Соответственно их излучение может быть сфокусировано в пятно меньшего диаметра, в результате чего их режущие свойства оказываются существенно выше, чем у многомодовых лазеров. Из-за малого диаметра луча одномодовых лазеров (2–7 мм) для использования преимуществ малой расходимости желательна применение расширителей лазерного пучка. В таблице 1 приведены технические характеристики CO₂-лазеров НПП «Технологические лазеры».

Мощные технологические лазеры ЗАО «ТехноЛазер». Лазерные станки производства ЗАО

«ТехноЛазер» – это многофункциональные технологические установки модульного типа, построенные на базе мощных технологических CO₂-лазеров. Лазерные станки предназначены для выполнения различных технологических операций резки, сварки, термообработки и наплавки. Основные преимущества перед традиционными технологиями: с одинаковым успехом можно обрабатывать твердые и мягкие материалы, отличные по своим физико-механическим свойствам; отсутствует механический контакт с обрабатываемой деталью; отсутствует стружка; малая тепловая нагрузка на обрабатываемую деталь; малая зона термического влияния; высокая скорость обработки. Технологический лазер ТЛ-1,5. Области применения: резка металлов – до 8 мм с кислородом; резка неметаллов – до 40 мм; сварка, наплавка металлических деталей. Основные особенности: высокое качество излучения; ста-

бильность мощности; компактность; малое потребление активной смеси газов; удобство обслуживания, микропроцессорная система управления; возможность работы в импульсно-периодическом режиме. Импульсно-периодический режим позволяет производить «холодную» лазерную резку с минимальным термическим воздействием на материал; выполнять прецизионную резку металла, плакированного пластиком и/или резиной, стекла, керамики и других хрупких и композитных материалов. В таблице 2 приведены технические характеристики.

Таблица 2

Технические характеристики технологического лазера ТЛ-1,5

Тип лазера	Отличительные особенности	Основное назначение
Одномодовый CO ₂ -лазер с ВЧ-возбуждением мощностью 25 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Отпаянный Электронный затвор	Растровая и векторная гравировка пластика, дерева, стекла, керамики, металла с покрытием. Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 5 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер с ВЧ-возбуждением мощностью 50 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Отпаянный Электронный затвор	Растровая и векторная гравировка пластика, дерева, стекла, керамики, металла с покрытием. Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 10–12 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 75 Вт	Непрерывный Отпаянный	Резка пластика, дерева, фанеры, толщиной до 10–15 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Многомодовый CO ₂ -лазер мощностью 80 Вт	Лазер начального уровня Отпаянный Низкая стоимость	Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 10–15 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 140 Вт	Отпаянный Непрерывный	Резка пластика, дерева, фанеры толщиной до 15–25 мм, резка стекла. Векторная гравировка
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 250 Вт	Воздушное охлаждение Непрерывный и импульсно-периодический режимы Электронный затвор Медленная прокатка рабочей среды	Резка дерева, фанеры, пластика толщиной до 30 мм, резка керамики, резка листового металла толщиной 1–2 мм
Одномодовый CO ₂ -лазер мощностью 700 Вт	Непрерывный и импульсно-периодический режимы Отпаянный затвор Медленная прокатка рабочей среды	Резка дерева, фанеры, пластика толщиной до 50 мм, резка керамики, резка листового металла толщиной до 3–5 мм

Технологический лазер ТЛ-3,0. Области применения: лазерная резка листового металла: резка углеродистой стали толщиной до 14 мм; резка нержавеющей стали толщиной до 8 мм; резка алюминиевых сплавов толщиной до 6 мм; лазерная сварка стальных, алюминиевых, титановых изделий толщиной до 5 мм; лазерная наплавка и термоупрочнение металлических деталей. Основные особенности: устойчиво-неустойчивый резонатор – высокое качество излучения; транзисторный источник питания – высокий к.п.д.; высокая надежность в эксплуатации, наличие режима работы с безгелиевой смесью, полная автоматизация. В таблице 3 приведены технические характеристики.

Описание модельного ряда «Explorer». Производитель: GSC Страна: Тайвань

«Explorer» 30...100 Вт – универсальная машина, предназначенная как для резки, так и для гравировки. Преимущество машины – в точности резки. Разработав эту же конструкцию из оргстекла,

Таблица 3

Технические характеристики технологического лазера ТЛ-3,0

Длина волны излучения	мкм	10,6
Максимальная мощность излучения	кВт	3,0
Номинальная мощность излучения в долговременном режиме	кВт	2,5
Нестабильность мощности излучения	%	±2
Пределы регулирования мощности излучения	кВт	0,25...3,0
Апертура	м	0,02x0,02
Расходимость излучения	мрад	1,5
Расход газов (CO ₂ :N ₂ +O ₂ :He)	л/ч	0,003:0,022:0,031
Расход охлаждающей воды	л/ч	2500
Потребляемая электрическая мощность	кВт	30
Габариты	м	2,43x1,21x2,2
Масса	кг	1700

например в AutoCAD, можно добиться идеальной точности соответствия стыков и пазов, что также отличает «Explorer» от отечественных аналогов лазерных машин для раскроя материалов. Машина предназначена для средних и крупных предприятий, выполняющих серийные заказы. В таблице 4 приведены технические характеристики оборудования «Explorer». В таблице 5 – прайс-лист на лазерные граверы.

На кафедре общей физики АлтГУ в 2005 г. была испытана экспериментальная CO₂-лазерная установка с генератором ВЧ-накачки мощностью 250 Вт. Генератор выполнен на широкодоступной и недорогой элементной базе: кремниевых триодах КТ645, КТ606, КТ920 и на 5 электронных лампах 6П45С. Рабочая частота генератора 27,12 МГц. Данная установка представляет собой непрерывный CO₂-лазер с щелевой геометрией с диффузионным охлаждением и возбуждением активной среды с помощью ВЧ-накачки. Конструктивно установка состоит из разрядной камеры, генератора ВЧ-накачки, согласующего устройства и системы газонапуска. Разрядная камера представляет собой стальной цилиндр, закрытый с двух сторон герметичными крышками. Внутри цилиндра размещена система зеркал и параллельных медных пластин. Охлаждение активной зоны камеры – водяное, до 1 л/мин при температуре 10–20 °С. Мощность лазерного излучения установки была измерена прибором ИМО-2 и составила 7 Вт. Себестоимость изготовления установки составила около 5 тыс. руб.

В настоящее время на кафедре общей физики АлтГУ выполняются работы по дальнейшему совершенствованию конструкции CO₂-лазера с ВЧ-накачкой.

Таблица 4

Технические характеристики оборудования «Explorer»

Цена	Explorer 30 Вт	Explorer 40 Вт	Explorer 60 Вт	Explorer 75 Вт	Explorer 100 Вт
	24000\$	28000\$	31000\$	35000\$	44000\$
Лазерный источник, Вт	30	40	60	75	100
Лазерный источник, Вт	Отпаянный CO ₂ -лазер с ВЧ-накачкой				
Рабочее поле, м	0,96 x 0,508				
Максимальная рабочая область, м	0,103x0,580x0,165 (передняя и задняя крышки закрыты)				
Габариты машины, м	1,28x0,725x0,980				
Привод	Серводвигатели				
Управление скоростью	От 0 до 100%. В пределах от 0,0005 до 1 м/с				
Управление мощностью	От 0 до 100%				
Перемещение по Z	Автоматическое				
Разрешение (DPI)	1000; 600; 500; 300; 250; 200				
Интерфейс	Параллельный порт (Centronix), последовательный порт RS-232C, USB-порт				
Объем буфера оперативной памяти	32Мб стандартная комплектация с возможностью расширения до 64Мб				
Панель управления	Графический LCD дисплей				
Питание, В	220				
Энергопотребление, Вт	1100	1100	1100	2000	3000

Таблица 5

Прайс-лист на лазерные граверы фирмы «TROTEC» (Австрия)

Наименование	Цена, USD включая НДС
Граверы серии Speedy	
Специализация: скоростная гравировка, резка, возможно изготовление печатей Зона обработки 0,44x0,735 м. Макс. скорость обработки 2 м/с	
Speedy C12W (лазер 12 Вт)	16300
Speedy C25W (лазер 25 Вт)	23000
Speedy C30W (лазер 30 Вт)	24300
Speedy C40W (лазер 40 Вт)	29900
Speedy C50W (лазер 50 Вт), с блоком водяного охлаждения лазера	40000
Speedy C60W (лазер 60 Вт)	36000
Speedy C100W (лазер 100 Вт), с блоком водяного охлаждения лазера	54300
Гравер серии Speedy Compact	
Специализация: скоростная гравировка, возможно изготовление печатей Зона обработки 0,33 x 0,16 м. Макс. скорость обработки 2 м/с	
Speedy Compact 12 W (лазер 12 Вт)	15500
Speedy Compact 25 W (лазер 25 Вт)	19800
Вытяжные системы	
Вытяжка КОМПАКТ (для граверов серии Speedy Compact)	3000
Вытяжка DO (для граверов серии Speedy)	6000
Дополнительные приспособления для граверов серии Speedy	
Ячеистый стол для резки	500
Система поддува воздухом с компрессором	1300
Система поддува воздухом без компрессора	520
Система автофокусировки с сенсорами	бесплатно
Лазерный целеуказатель	бесплатно
Приспособление для вращения цилиндрических и конических изделий	1850
Дополнительная линза 2,5"	300

Наименование	Цена, USD включая НДС
Оборудование «PROFESSIONAL TP 1313»	
Специализация: скоростная высокоточная резка неметаллических материалов, гравировка Зона обработки 1,3 x 1,3 м. Макс. скорость обработки 1 м/с	
Professional TP 1313 C100W (лазер 100 Вт), с блоком водяного охлаждения лазера	93500
Professional TP 1313 C200W (лазер 200 Вт), с блоком водяного охлаждения лазера	114500
Professional TP 1313 C300W (лазер 300 Вт), с блоком водяного охлаждения лазера	145000

В заключение авторы выражают благодарность заведующему кафедрой общей физики АлтГУ,

д.ф.-м.н., профессору В.И. Букатому за постановку задачи и постоянную поддержку в работе.

Литература

1. Гавриленко И.И. Радиопередающие устройства. – М., 1983.
2. Райзер Ю.П. Высоочастотный емкостный разряд: Физика. Техника эксперимента. Приложения : учебное пособие для вузов / Ю.П. Райзер, М.Н. Шнейдер, Н.А. Яценко. – М., 1995.
3. Дутов А.И. Исследование пространственно-энергетических характеристик излучения щелевого CO₂-лазера с высокочастотной накачкой / А.И. Дутов, А.А. Кулешов, В.Н. Соколов // Оптический журнал. – 1996. – №5.
4. Дутов А.И. Численное моделирование щелевого CO₂-лазера с накачкой высокочастотным разрядом и диффузным охлаждением / А.И. Дутов, И.Ю. Евстратов, С.А. Мотовилов, В.Е. Семенов, М.С. Юрьев // Оптический журнал. – 1996. – №5.
5. Перфильев В.О. Экспериментальная установка CO₂-лазера с щелевой геометрией / В.О. Перфильев, Ю.В. Скрыль, Д.А. Шушуев // Известия АлтГУ. – 2005. – №1.