

А.Г. Лукашенко, канд. техн. наук, Д.А. Лукашенко, асп.

*ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины*

В.М. Лукашенко, проф., д-р техн. наук, М.Н. Озирская, В.А. Лукашенко,  
магистранты

*Черкасский государственный технологический университет*

## Физическая модель трехкоординатного технологического комплекса на базе CO<sub>2</sub>-Laser

В статье рассматривается физическая модель высокопроизводительного лазерного технологического комплекса (ЛТК) на основе CO<sub>2</sub>-Laser SM-1200.  
**лазер, система, трех координатный, программа, технологический, комплекс**

Характерный для современной украинской экономики переход на мелкосерийное производство требует использования универсального прецизионного технологического оборудования, позволяющего легко перестраиваться на выпуск другой продукции без снижения качества.

На ряде промышленных предприятий возникает необходимость резки различных материалов, как по произвольному контуру, так и отверстий различных формы и размеров, при этом недопустимы поводки и коробление [1, 3, 4, 5, 14].

Наиболее подходящим процессом, позволяющим одновременно сочетать качество реза практически любого материала с высокой производительностью, является технология лазерной резки. Лазерная резка обладает следующими преимуществами [1, 3]: обширным классом разрезаемых материалов; возможностью получения тонкого реза; малой зоной термического влияния (ЗТВ) излучения и практически отсутствием механического воздействия на заготовку; химической чистотой процесса резки; возможностью автоматизации процесса: высокой производительностью; возможностью резки по сложному контуру в двух или трех измерениях. В результате могут быть изготовлены высокоточные заготовки с качеством реза, не требующим последующей обработки. Кроме того, при лазерной резки отсутствуют механические деформации заготовок, исключается человеческий фактор из процесса разметки и резания. Уменьшение ширины реза существенно снижает количество отходов (шлама) и вредных аэрозолей, выбрасываемых в атмосферу.

Недостатком является высокая стоимость прецизионных лазерных технологических комплексов (ЛТК), которая обусловлена необходимостью использования дополнительного оборудования. В то же время наблюдается динамика значительного сокращения сроков на этапы разработки, изготовления и внедрения. Кроме того, недостатком существующих лазерных технологических комплексов на базе CO<sub>2</sub> является сложная система охлаждения, которая необходима для увеличения времени наработки на отказ оптического тракта.

Мощным средством для снижения аппаратно - временных затрат является моделирование. Известны два основных направления материального моделирования – физическое и формальное с помощью вычислительных устройств. Они широко отражены в работах П.А. Алабужева, В.А. Штоффа, И.Б. Новика, Н.А. Уёмова и др. Однако изложения по применению обобщенного моделирования в области лазерных

В ИЭС им. Е.О. Патона широко исследуются технические принципы построения ЛТК для резки и сварки разных материалов на базе различных типов лазеров.

В работе излагается технический принцип построения физической модели трехкоординатного лазерного технологического комплекса (ЛТК) для резки металла. На основе системного анализа типов технологических лазеров был выбран CO<sub>2</sub>-лазера «SM1200» мощностью излучения до 1,2 кВт производства компании FENA, Германия [6, 12], обладающий высоким КПД и обеспечивающий достаточно высокую производительность в процессе резания.

На рис.1 представлен график зависимости скорости резания  $V_c$  от толщины  $h$  листа разных металлов при разных мощностях излучения, полученная при отработке технологии лазерной резки излучением CO<sub>2</sub>-лазера с модой TEM<sub>00</sub> [4].

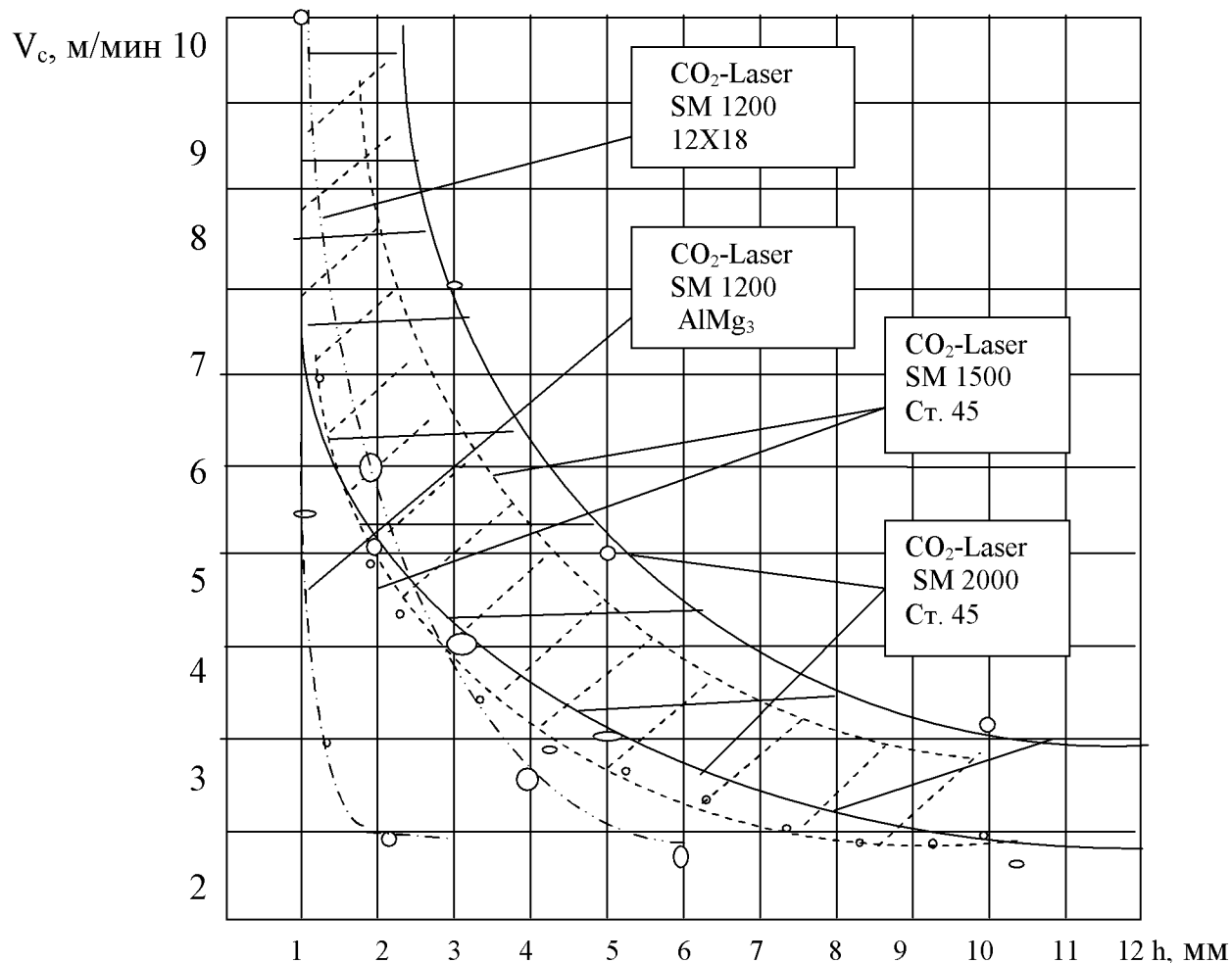


Рисунок 1 – Зависимости скорости лазерной обработки от толщины и типа материала заготовки при различной мощности лазерного излучения

Из графика видно, что диапазон скоростей резания в зависимости от толщины обрабатываемого металла составляет от 1 до 10 м/мин. Для транспортировки лазерного излучения была применена летающая оптика, которая установлена на трехкоординатный манипулятор «ЛС-1200» оригинальной конструкции [2, 4, 7, 14].

На основе анализа систем числового программного управления лазерным технологическим комплексом установлено, что для обеспечения достаточно высокой

производительности ЛТК частота процессора должна быть не ниже 300 МГц [3, ..., 7]. Оперативное изменение управляющей программы, связанное с формированием ее непосредственно из конструкторской документации при помощи «мастер – программы», разрешает с малыми затратами на подготовку производства вырезать различные типоразмеры заготовок.

Кинематическая модель манипулятора представляет собой крестообразную схему с прямоугольной системой координат, включающая балку (координата Y), которая перемещается по направляющим координаты X. Режущая головка находится на координате Z, являющейся нагрузкой балки. Движение по всем координатам осуществляется синхронными электродвигателями посредством шариковинтовых пар [7], перемещение по расчетной траектории лазерного инструмента осуществляется локальной подсистемой управления. Оригинальность последней подтверждена патентами и подробно описана в работах [8, 10, 11].

Для стабилизации положения фокуса относительно разрезаемого листа металла использован емкостной датчик [13], одновременно являющийся соплом режущей головки.

Упрощение системы охлаждения, как устранение одного из недостатков, осуществляется с помощью формального моделирования.

На этапе проектирования используют формулы для расчета системы воздушно - жидкостного охлаждения лазера [3, 9], в которых представлено большое количество параметров, позволяющих варьировать при расчетах для определения лучшего варианта. Использование многокритериального метода оптимизации требует высокой квалификации разработчика программы и носит субъективный характер при определении коэффициентов значимости соответствующих параметров.

Программа на языке Pascal для расчета системы воздушно-жидкостного охлаждения лазера предложена в работе [9], которая предусматривает несколько циклов.

Предлагается определение величины отводимой тепловой мощности лазера вычислять по формуле [9]

$$Q_{\Sigma} = k(t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})F,$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup> °С;

$t_{\text{вх}}$ , – температура теплоносителя на входе, °С;

$t_{\text{вых}}$  – температура воздуха на выходе теплоносителя, °С;

$F$  – площадь теплопередачи, м<sup>2</sup>.

Из формулы (1) видно, что продлить срок эксплуатации оптического тракта возможно, при физическом обеспечении отвода соответствующего количества тепловой мощности, за счет варьирования величинами параметров  $t_{\text{вх}}$ ,  $t_{\text{вых}}$ ,  $F$ . Ускорение процесса по определению значения соответствующего параметра осуществляется благодаря использованию фрагмента программы [9], которая имеет следующий вид:

```
procedure las8;
begin
  clrscr;
  write('Введите коэффициент теплопередачи ');
  read(k);
  write('Введите температуру теплоносителя на входе ');
  read(tv);
  write('Введите температуру воздуха на выходе ');
  read(tv);
  write('Введите площадь теплопередачи ');
  read(F);
```

```
Qt:=k*(tvh-tvih)*F;  
write('Отводимая суммарная тепловая мощность = ',Qt:0:10);  
readkey;  
end;
```

На основании вышесказанного в разработанной физической модели оптического тракта используются два водоохлаждаемых поворотных зеркала из позолоченного кремния и фокусирующая линза из монокристалла селенида цинка с фокусным расстоянием 5". Кроме того, в лазерном резачке (рис.2) разработанной конструкции предусмотрено отдельное воздушное охлаждение верхней части линзы, периодическая подача кислорода (совместно с лазерным излучением) позволила избежать ее термического раскалывания, а уплотнения посадки линзы не дало возможности смешиваться воздуху с кислородом.

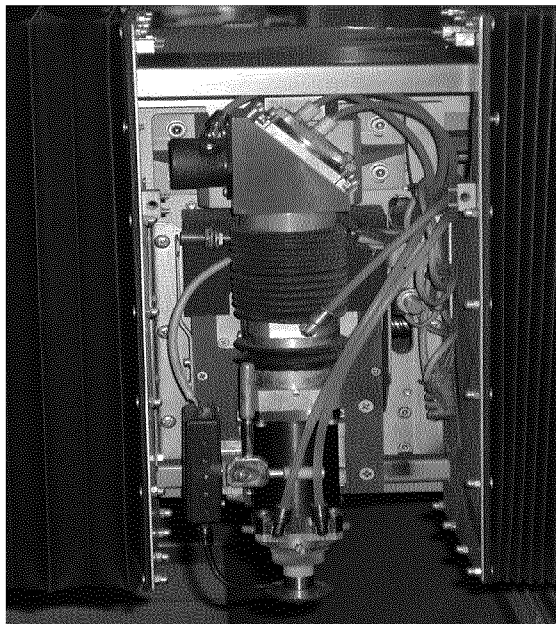


Рисунок 2 – Режущая головка лазерного комплекса ЛС-1200, созданного в ИЭС им. Е. О. Патона

В ходе проведения экспериментов были подтверждены теоретические расчеты и установлено, что диаметр режущего сопла должен быть близким к диаметру проходящего через него сфокусированного лазерного излучения (до 1мм), а его форма - максимально приближенной к форме сопла Лавалья [3]. Такой подход не только обеспечил повышение производительности, при сравнительно малых расходах кислорода (порядка 150-200 л/час), но и позволил сузить рез и минимизировать величину грата на кромках реза, а, следовательно, уменьшить образующиеся при резке отходы и вредные аэрозоли.

На основе разработанной физической модели был изготовлен лазерный технологический комплекс ЛС-1200 и внедрен на предприятии «МВСС» г. Бровары, которое выпускает противопожарные и противоударные двери. При изготовлении заготовок этих изделий из листа стали толщиной 2...4 мм с помощью лазерной резки получено высокое качество заготовок. По сравнению с микроплазменной резкой ширина реза оказалась меньшей в 4-6 раз, а исключение некоторых доводочных операций существенно снизило себестоимость изготовления изделий [6]. Кроме того, высокая точность реза заготовок изделий, изготавливаемых на разработанном лазерном технологическом комплексе ЛС-1200, отсутствие коробления, недопустимых поволодок и конусности обеспечили при сборке высокую герметичность, благодаря отсутствию недопустимых щелей и, как следствие, повысилась их огнестойкость. Новая конструкция противопожарных дверей, с применением лазерных технологий, успешно прошла сертифицированные испытания с требуемым пределом огнестойкости 0,6 часа.

#### Выводы:

1. Разработана физическая модель трехкоординатного лазерного технологического комплекса на базе CO<sub>2</sub>-Laser, SM1200. Отличительной особенностью является манипулятор «ЛС-1200» с синхронными электродвигателями, благодаря которым значение величин перемещения инструмента (режущей головки) по координатам составляют до X:Y:Z=3500:1500:70 мм.

Скорость резания, в зависимости от толщины обрабатываемого металла, может составлять от 1 до 10 м/мин, при этом шероховатость кромок реза составляет Ra=2,5мкм. В автоматическом режиме скорость перемещения может изменяться в диапазоне от 0,001 м/мин до 60 м/мин, при этом точность позиционирования инструмента – не хуже ±10 мкм.

2. Предложена конструкция режущей головки. Отличительной особенностью физической модели оптического тракта является: два водоохлаждаемых поворотных зеркала из позолоченного кремния и фокусирующая линза из монокристалла селенида цинка с фокусным расстоянием 5". Для стабилизации положения фокуса относительно разрезаемого листа металла использован емкостной датчик, одновременно являющийся соплом режущей головки. Это позволяет отслеживать фокусное расстояние при вырезании ажурных деталей.

3. Предложена программа на языке Pascal для расчета системы воздушно-жидкостного охлаждения лазера, которая ускоряет процесс определения оптимальных величин соответствующих параметров. Приведенная программа теоретического расчета по определению величины отводимой тепловой мощности лазера использовалась на этапе проектирования. Это сократило время на проектирование системы охлаждения почти в два раза.

4. Построена система охлаждения, в которой с учетом расчетов по п.3 увеличена площадь теплопередачи. В лазерном резаке предусмотрено отдельное воздушное охлаждение верхней части линзы, а уплотнения посадки линзы не дало возможности смешиваться воздуху с кислородом. Кроме того, периодическая подача кислорода (совместно с лазерным излучением) позволила избежать ее термического раскалывания.

5. Верификация теоретических выкладок подтверждена результатами эксперимента и внедрением ЛТК в промышленность Украины.

6. Социально-экономическая привлекательность разработки для продвижения на рынок составляет:

- срок реализации разработки - 5 месяцев;
- срок введения в эксплуатацию разработки - 3 месяца;
- срок окупаемости разработки - 1,5 года.

Таким образом, разработка является экономически выгодной и эффективной.

Дальнейшие исследования следует проводить для проектирования пятикоординатной физической модели лазерного технологического комплекса на базе твердотельных лазеров с диодной накачкой.

#### Список литературы

1. Laserstrahlschneidem – Maschinenbauarten und zu trennende Werkstoffe / Aichele G., Nickenig L. // Praktiker, 2003. - №10. – S. 302, 304-306.
2. Високонадійна модель керування траєкторіями руху виконавчих механізмів / Лукашенко А.Г., Лукашенко Д.А. та ін. // Матеріали за 5-а Міжнародна научна практична конференція, «Новини от доброта науки». – Софія: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2009. – Т. 17. – С. 32-36.
3. Григорьянс А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.: ил.
4. Лукашенко А.Г. Лазерные технологии и современные технологические комплексы на основе CO<sub>2</sub>-лазера. / Автоматизированные системы управления и приборы автоматки, - Харків: ХНУРЕ. – 2008. № 143. – С.96-100.

5. Лукашенко А. Г. Системно-иерархическая модель маршрута проектирования специализированного лазерного технологического комплекса / А. Г. Лукашенко // Інформаційні технології в освіті, науці і техніці : VII Всеукр. НПК, 4-6 травня 2010р., тези доповідей. – Черкаси, 2010. – С. 85.
6. Лукашенко А.Г., Шеляги В.Д., Лукашенко В.М. Лазерна технологічна установка ЛС-1200 // Каталог сучасних наукових розробок та послуг ЧДТУ. – Черкаси: ЧДТУ, 2007. С.65-67.
7. Лукашенко А.Г. Лукашенко В.М. Лукашенко Д.А. Спеціалізовані сопроцесори на базі таблично-алгоритмічних методів для лазерних маніпуляторів. Монографія / «ЧДНДІТЕІХП». - Черкаси, 2010. – 164 с. – Укр. - Деп. в ВІНІТИ 20.06.2010. №11-хп 2010 // Анот. в РЖ «Депоновані наукові роботи». – 2010.
8. Метод устранения неоднозначности при формировании опорных сигналов управления синхронным двигателем / Лукашенко В.М., Шелягин В.Д., Лукашенко А.Г., Ярославцев М.И. // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – вип. 19. – С. 249-254.
9. Озирская М.Н. Программа расчета системы воздушно-жидкостного охлаждения твердотельного лазера / Тепловые режимы и охлаждение радиоэлектронной аппаратуры, – 2007, вып. 1 – С. 57-64.
10. Пат. 47009 України, МПК G06F 7/548(2009.01) G06F 1/02. Пристрій для обчислення елементарних функцій / Лукашенко А.Г.; заявник Черкаський державний технологічний університет. – № u 200908272; заявл. 05.08.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. 1.
11. Пат. 47901 України, МПК G06F 7/52. Пристрій для множення N-розрядних чисел / Лукашенко А.Г.; заявник Черкаський державний технологічний університет. - № u 200909902; заявл. 28.09.2009; опубл. 25.02.2010, Бюл. 4.
12. [www.feha-laser.de](http://www.feha-laser.de)
13. Системний аналіз параметрів датчиків положення стику зварювальних деталей для лазерних технологічних комплексів / Лукашенко А.Г., Шелягин В.Д., Лукашенко Д.А., Зубко І.А., Талімончук О.Ю. // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету /Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація/. – вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009.– с. 211-217.
14. Шелягин В.Д., Шуба И.В., Лукашенко Д.А. Исследование моделей образования микрорельефа при газолазерной резке // Тр. IV Міжнар. НТК молодих учених та спеціалістів «зварювання та суміжні технології». – Київ: ІЭС ім. Е.О.Патона, 2007. – С. 223.

*А. Лукашенко, Д. Лукашенко, В. Лукашенко, М. Озирська, В. Лукашенко*

**Фізична модель трьохкоординатного технологічного комплексу на базі CO<sub>2</sub>-Laser**

У статті розглядається фізична модель високопродуктивного лазерного технологічного комплексу (ЛТК) на основі CO<sub>2</sub> –Laser SM-1200.

*Lukashenko, D. Lukashenko, V. Lukashenko, M. Ozirskaja, V. Lukashenko*

**Physical model of a three-coordinate technological complex based on CO<sub>2</sub>-Laser**

In this article a physical model of a high-performance laser technological complex (LTC) on the basis of CO<sub>2</sub>-Laser SM-1200 is considered.

Одержано 23.02.11