

## РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ С РАЗЛИЧНЫМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ СХЕМАМИ

Кондратенко В.С.<sup>1\*</sup>, Третьякова О.Н.<sup>2\*\*</sup>, Шевченко Г.Ю.<sup>3\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> *Московский государственный университет приборостроения и информатики,  
МГУПИ, ул. Стромынка, 20, Москва, 107996, Россия*

<sup>2</sup> *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

<sup>3</sup> *Научно-исследовательский институт электронного специального технологического оборудования,  
НИИ «ЭСТО», проезд 4806, 5, стр.20, Зеленоград, 124498, Россия*

*\* e-mail: VSK1950@mail.ru*

*\*\* e-mail: tretiyakova\_olga@mail.ru*

*\*\*\* e-mail: shev.gleb@gmail.com*

---

Развитие инновационных лазерных технологий создания полупроводниковых приборов для авиационной и космической техники требует разработки нового промышленного технологического оборудования и нового эффективного программного обеспечения для управления им. Разработаны управляющие программы: LaserCNC, DorOs1, DorOs2, которые входят в состав промышленного лазерного технологического оборудования с различными кинематическими схемами.

*Ключевые слова:* числовое программное управление, лазерное управляемое термораскалывание, технологическое оборудование, многокоординатные кинематические схемы.

---

### Введение

Разработка новых технологий и технологического оборудования для лазерной обработки авиационных материалов при создании изделий авиационной ракетно-космической техники нового поколения является актуальной задачей. Разработка новых лазерных технологий требует создания высокоэффективного технологического оборудования, интегрирующего механику, электронику, автоматику и информатику. Система управления является неотъемлемой частью машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Прикладное программное обеспечение, включающее в свой состав качественно новые модули, обеспечивает реализацию системы управления лазерной технологической установкой и позволяет создать новое оборудование для новых технологических процессов. Машины скоростной лазерной обработки и резки находят широкое применение при создании элементов и приборов для авиационной и космической техники.

### Постановка задачи

Цель работы — разработка прикладного программного обеспечения для управления новыми

технологическими процессами лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ), а также технологическими процессами лазерной резки и обработки материалов на новом промышленном оборудовании.

### Исследование и результаты

Впервые технология лазерного управляемого термораскалывания была предложена В.С. Кондратенко в 80-х годах XX века. Термин ЛУТ в настоящее время употребляют применительно к группе разнообразных технологических процессов резки и обработки различных по физическим свойствам материалов. Для технической реализации каждого технологического процесса создаются уникальные промышленные установки, для управления которыми, как правило, создается уникальное программное обеспечение [1, 2].

Для осуществления нового технологического процесса [3, 4] прецизионного разделения пластин из хрупких материалов с применением нового метода ЛУТ с использованием двух лазеров в одном технологическом цикле на предприятии ЗАО НИИ «ЭСТО» НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ» была создана новая промышленная установка

МЛП1-1060/355. Установка имеет традиционную 4-канальную кинематическую схему и массивное гранитное основание. Координатный крестовой ХУ-стол имеет повышенную точность позиционирования и служит для прецизионной обработки. Для управления этой установкой в процессе ее проектирования было разработано управляющее программное обеспечение (ПО) *LaserCNC* [5, 6].

### **Программный комплекс *LaserCNC* для управления установками с традиционной кинематической схемой**

Программный комплекс *LaserCNC* написан на языке программирования C++, работает под управлением операционной системы *MicrosoftWindows* и взаимодействует с контроллером через вызовы функций из динамических библиотек *DLL (dynamic-linklibrary)* контроллера *Aerotech*, реализующих возможности дополнительно установленной на компьютере системы реального времени.

Программный комплекс *LaserCNC* имеет блочную структуру, что позволяет достаточно просто варьировать структуру системы управления установкой в зависимости от применяемой технологической оснастки и особенностей процесса. Кроме того, в ПО *LaserCNC* предусмотрены программные блоки для автоматизации технологического процесса ЛУТ.

Разработанное ПО *LaserCNC* может быть применено не только для установки МЛП1-1060/355, но и для других промышленных установок для решения широкого спектра задач лазерной обработки.

Управляющая программа *LaserCNC* может работать совместно с новыми программными блоками, предназначенными для управления установками с более сложными кинематическими схемами.

### **Программы для управления многокоординатной машиной с дополнительными кинематическими осями**

Применяемые в лазерном технологическом оборудовании кинематические схемы имеют принципиальные ограничения по скоростям и ускорениям в процессе обработки.

Появление более мощных современных лазеров может позволить резко улучшить динамические характеристики технологических процессов резки или обработки материалов. Но традиционная кинематическая схема не позволяет использовать все возможности современной лазерной техники. Поэтому в последние несколько лет стали появляться многокоординатные лазерные установки с дополнительными кинематическими осями. Установ-

ка (машина) с дополнительными кинематическими осями или многокоординатная машина скоростной лазерной резки представляет собой комплекс лазерного технологического оборудования, в котором с основным массивным координатным столом связаны «основные оси», а с небольшим и легким дополнительным координатным столиком — «дополнительные оси». Таким образом, результирующее движение обеспечивается благодаря совместной синхронизированной работе обеих систем осей.

В ПО *LaserCNC* заложен функционал для работы с дополнительными совмещенными осями, когда к массивным осям с большим полем обработки подключаются дополнительные оси с небольшим полем, но обладающие высокими динамическими характеристиками. Например, в качестве дополнительных осей могут применяться системы дефлексии лазерного луча — сканаторы. За счет своей конструкции сканаторы превосходят на порядок по динамическим характеристикам основные оси, что использовано, например, в экспериментальной установке [7].

В настоящее время в мире существует несколько многокоординатных лазерных машин с дополнительными кинематическими осями, выпущенных зарубежными фирмами *Trumpf, Prima Industrie, Bystronic*. Конструкторские технические решения и уникальное программное обеспечение запатентовано фирмами-производителями технологического оборудования.

С целью создания первой в России установки с дополнительными кинематическими осями, проектируемой ЗАО НИИ «ЭСТО» НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ», мы предприняли попытки разработать алгоритмы и управляющие программы для установки, основанной на указанном принципе. Идея алгоритмов состоит в разложении сложного движения на две системы координатных осей с тем, чтобы основные оси совершали близкое к равномерному движение, а дополнительные оси перемещались с большими ускорениями. В итоге сложение этих двух движений обеспечивает прохождение лазерной головкой требуемой траектории.

Первая наша разработка программы для управления многокоординатной машиной с дополнительными кинематическими осями описана в статье [8]. Был предложен алгоритм управления и осуществлена его первая программная реализация *DopOs1* [9], показана принципиальная возможность создания системы управления многокоординатной машиной.

Но в программе *DopOs1* имелись недостатки: нельзя было работать с внешними файлами (была реализована загрузка чертежа, содержащего один

контур, внутри программы с фиксированным разбиением контура на шаги); нельзя было выбрать малое разбиение и не было обратного хода алгоритма, недостаточно наглядна визуализация разложения движения в интерфейсе пользователя. Программа *DopOs1* была написана на языке *C#*, что не обеспечивало совместимость данного программного блока с основной управляющей программой *LaserCNC*.

Кроме того, не была проверена возможность практической технической реализации установки: остался неясным вопрос, может ли управляющая программа обеспечить технически реализуемые значения кинематических параметров (скорости и ускорения), требуемые в технологическом процессе.

В развитие подхода [8,9] нами предложен новый усовершенствованный вариант разработки — программный блок *DopOs2* для лазерного технологического оборудования со вспомогательными кинематическими осями, который совместим с основным ПО *LaserCNC*.

Вторая попытка разработки привела к созданию новой моделирующей САМ-подобной программы для лазерной технологической установки с дополнительными кинематическими осями *DopOs2*. САМ (*Computer-aided manufacturing*) — автоматизированная система для подготовки управляющих программ для станков, ориентированная на использование компьютера. САМ-подобная программа предназначена для предварительной обработки чертежа детали до начала технологического процесса.

Ее задача заключается в разложении движения на основные и дополнительные оси и расчете основных кинематических параметров. Программа должна обеспечивать постоянство контурной скорости.

#### Алгоритм управления движением основных и дополнительных координатных осей для программы *DopOs2*

Необходимо преобразовать траекторию так, чтобы она складывалась из траектории движения основных осей и дополнительных. В принятой нами упрощенной модели считается, что размерами поля дополнительных осей можно пренебречь. На этом этапе разработки многокоординатной машины с дополнительными кинематическими осями такое допущение возможно, поскольку наша задача состоит в моделировании движения и оценке технической реализуемости полученных значений кинематических параметров. Исходя из этого создан новый алгоритм, описывающий движение головки лазера для синхронного управления основными и

дополнительными кинематическими осями. На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма.

Задача заключается в разложении движения и расчете основных кинематических параметров. Исходными данными для определения параметров движения являются контурная скорость  $v_k$ , траектория движения  $S$  и критический угол  $\alpha$  между двумя соседними отрезками. Предварительно производится кусочно-линейная аппроксимация траектории, т. е. вся траектория контура  $S$  разбивается на  $n$  равных и последовательно соединенных отрезков длиной  $\Delta\varphi = \varphi_i - \varphi_{i-1}$ , которые можно описать двумя последовательностями их координат  $\{x_i\}$  и  $\{y_i\}$ . Далее вся траектория движения (уже представляющая собой кусочно-линейную аппроксимацию) разделяется на две другие траектории  $S_1$  и  $S_2$  для основных и дополнительных осей соответственно, причем сложение этих двух траекторий дает исходную  $S$  (рис. 2).

Для получения первой траектории  $S_1$  используется следующий алгоритм.

В цикле вычисляется угол  $\alpha_j$  между двумя соседними отрезками траектории  $S$ :

$$\alpha_j = (x_i - x_{i+1})(x_{i+1} - x_{i+2}) + (y_i - y_{i+1})(y_{i+1} - y_{i+2}):$$

$$: (((x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2)x_{i+2} - x_{i+1})^2 +$$

$$+(y_{i+2} - y_{i+1})^2)^{1/2}. \quad (1)$$

Если  $\alpha_j < \alpha$ , то вместо общей точки двух этих отрезков  $(x_{i+1}, y_{i+1})$  подставляется точка  $(x_{i+1}^1, y_{i+1}^1)$ , лежащая на прямой, где лежат две другие точки  $(x_i, y_i)$  и  $(x_{i+2}, y_{i+2})$ , принадлежащие этим отрезкам, причем посередине между этими точками

$$x_{i+1}^1 = x_i + (x_{i+2} - x_i) / 2; \quad (2)$$

$$y_{i+1}^1 = y_i + (y_{i+2} - y_i) / 2, \quad (3)$$

т.е. точка  $(x_{i+1}^1, y_{i+1}^1)$  лежит на одной прямой с точками  $(x_i, y_i)$  и  $(x_{i+2}, y_{i+2})$  и находится посередине между ними (рис. 3).

Угол  $\alpha_j$  связан с требуемой точностью обработки и шагом разбиения траектории. Чем больше требуется точность обработки, т. е. меньше шаг разбиения при кусочно-линейной аппроксимации

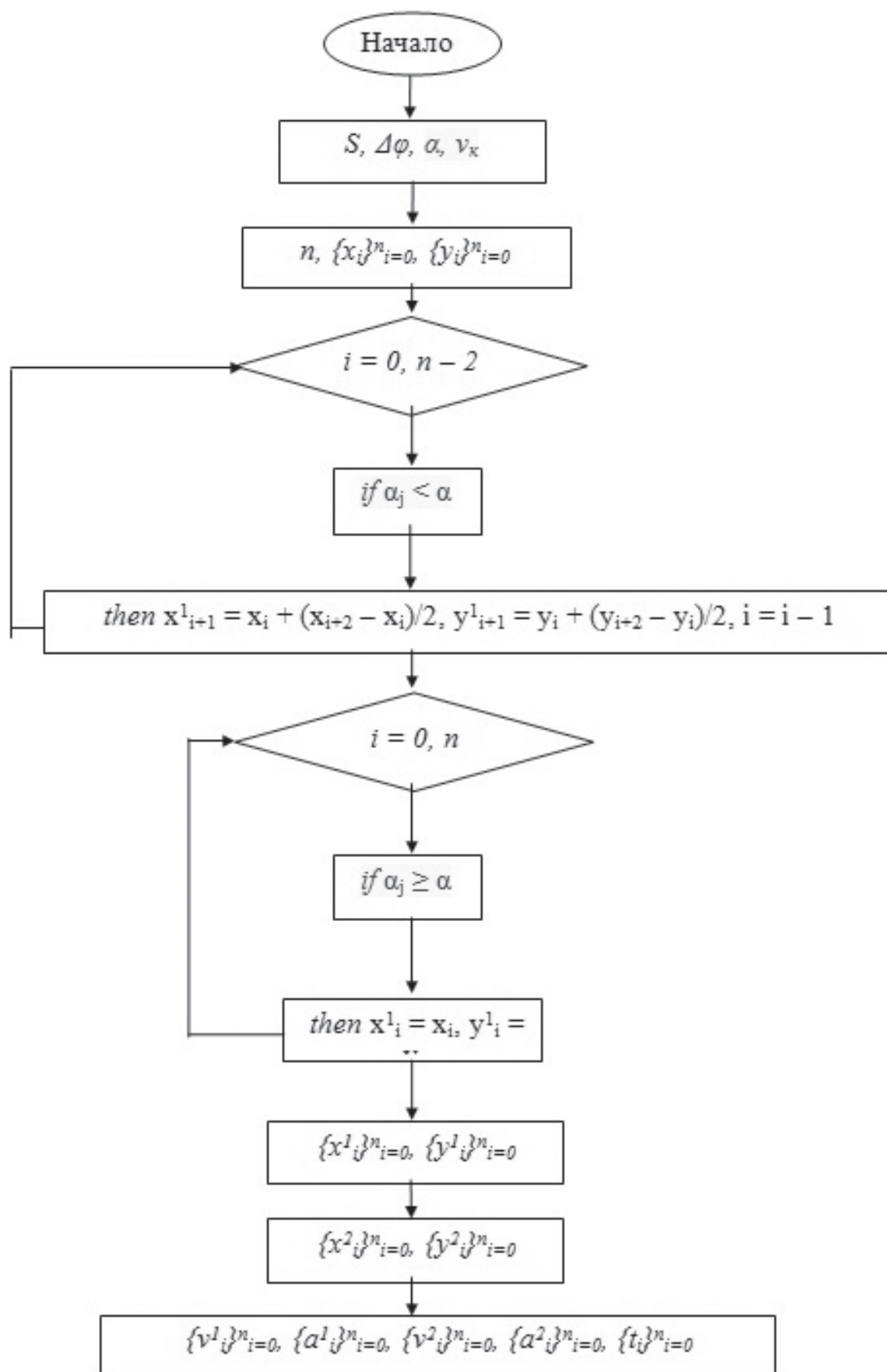


Рис. 1. Блок-схема алгоритма



Рис. 2. Принцип разложения движения. Траектория движения основных осей  $S_1$ , дополнительных —  $S_2$ , результирующее движение — траектория  $S$

После получения  $S_1$  и  $S_2$  находятся кинематические параметры для каждого из отрезков траекторий  $S_1$  и  $S_2$ . Начальная скорость движения для обеих траекторий определяется из формулы

$$v_0 = v_k / 2. \quad (6)$$

Для нахождения скоростей на каждом шаге необходимо для начала ввести весовые коэффициенты каждого отрезка  $S_1$  и  $S_2$ . В исходной аппроксимации  $S$  все отрезки имеют равную длину, т.е. каждому из них можно придать весовой коэффи-

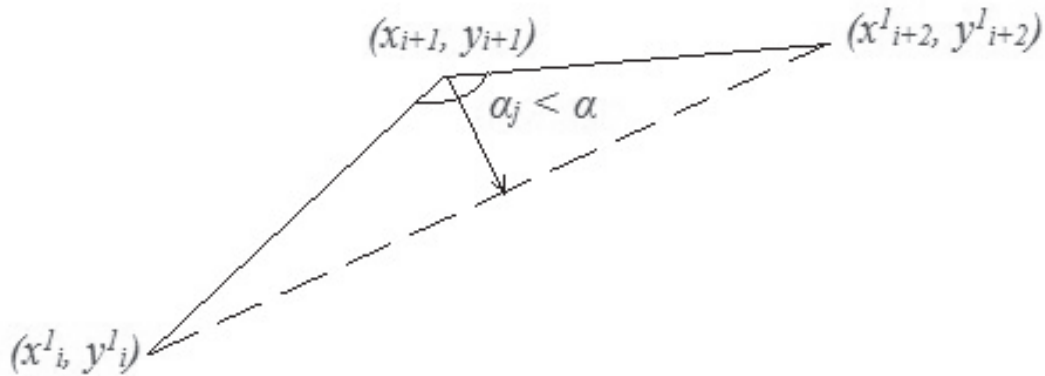


Рис. 3. Кусочно-линейная аппроксимация исходной траектории

исходной траектории, тем больше должен быть угол  $\alpha_j$  для обеспечения заданной точности. Далее цикл отступает на шаг назад с целью проверки критерия  $\alpha_{j-1} < \alpha$  для новообразованного угла  $\alpha_{j-1}$ .

Если же  $\alpha_j \geq \alpha$ , то

$$x_i^1 = x_i; \quad (4)$$

$$y_i^1 = y_i, \quad (5)$$

т.е. точка остается прежней. Таким образом, получается первая траектория  $S_1$ , которая представляется последовательностями координат ее отрезков. Графически она выглядит сглаженным плавным контуром с большими радиусами кривизны.

Для получения второй траектории  $S_2$  представим сначала все отрезки полученной первой  $S_1$  и исходной  $S$  траектории последовательно соединенными векторами, направление которых совпадает с направлением обхода контура. Далее из  $i$ -го вектора траектории  $S$  вычитается  $i$ -й вектор траектории  $S_1$ . Получившееся множество последовательно соединенных векторов представляет собой вторую траекторию  $S_2$ , которую также можно описать последовательностями координат  $\{x_i^2\}, \{y_i^2\}$ .

циент 0,5. После обработки некоторые отрезки  $S_1$  и  $S_2$  меняют значения своих весовых коэффициентов:  $S_1$  в меньшую сторону (от 0 до 0,5), а  $S_2$  в большую (от 0,5 до 1). Определяются эти весовые коэффициенты из формул

$$k_i^1 = h_i^1 / (h_i^1 + h_i^2); \quad (7)$$

$$k_i^2 = h_i^2 / (h_i^1 + h_i^2), \quad (8)$$

где  $h_i^1, h_i^2$  — длины  $i$ -х отрезков траекторий  $S_1$  и  $S_2$ .

Тогда скорости обхода обеих траекторий на  $i$ -м шаге

$$v_{1,i} = 2v_0 k_i^1; \quad (9)$$

$$v_{2,i} = 2v_0 k_i^2. \quad (10)$$

Время на  $i$ -м шаге

$$t_i = t_{i+1} + h_i^1 / v_{1,i}. \quad (11)$$

Ускорения определяются соотношениями

$$a_{1,i} = (v_{1i} - v_{1,i-1}) / (t_i - t_{i-1}); \quad (12)$$

$$a_{2,i} = (v_{2i} - v_{2,i-1}) / (t_i - t_{i-1}). \quad (13)$$

Предложенный алгоритм положен в основу программы *DopOs2* [10]. Программа *DopOs2* является САМ-подобной. Программа *DopOs2* написана на языке программирования C++ в среде *MS VisualStudio*, что обеспечивает совместимость с основным ПО *LaserCNC*.

В *DopOs2* реализованы некоторые дополнительные возможности. В частности, предусмотрена возможность загрузки внешних файлов в формате *.dxf*. Это открытый формат файлов для обмена графической информацией между приложениями систем автоматизированного проектирования (САД-систем), который поддерживается практически всеми САД-системами. Эти файлы представляют собой текстовый документ, в который занесены все кривые чертежа в виде чисел. Программа последовательно считывает эти данные и сохраняет в памяти для дальнейшего использования. Поскольку алгоритм рассчитан на работу с точками, программа раскладывает все элементы контура (линии, ломаные, дуги, окружности) на точки, причем точность такого разбиения выбирает пользователь вплоть до

микрон между соседними точками в зависимости от требуемой точности обработки. Программа может работать с неограниченным количеством контуров на одном чертеже. Реализована автоматическая проверка всех контуров на замкнутость и отсутствие пересечений контуров. Для визуализации разложения движения траектории движения основной и дополнительной оси обозначаются линиями разных цветов.

На рис. 4 представлена структурная схема программы.

Входными данными для программы являются чертеж заготовки, точность его разбиения и контурная скорость. После загрузки файла из конструкторской программы в программу *DopOs2* она анализирует данные, выполняя обработку сложных участков (острые углы, крутые дуги). После нажатия клавиши «Открыть» в окне появляется исходный чертеж этой детали (рис. 5).

Если один или несколько контуров не замкнуты, то программа оповещает об их наличии в чертеже и прекращает выполнение, поскольку для ла-

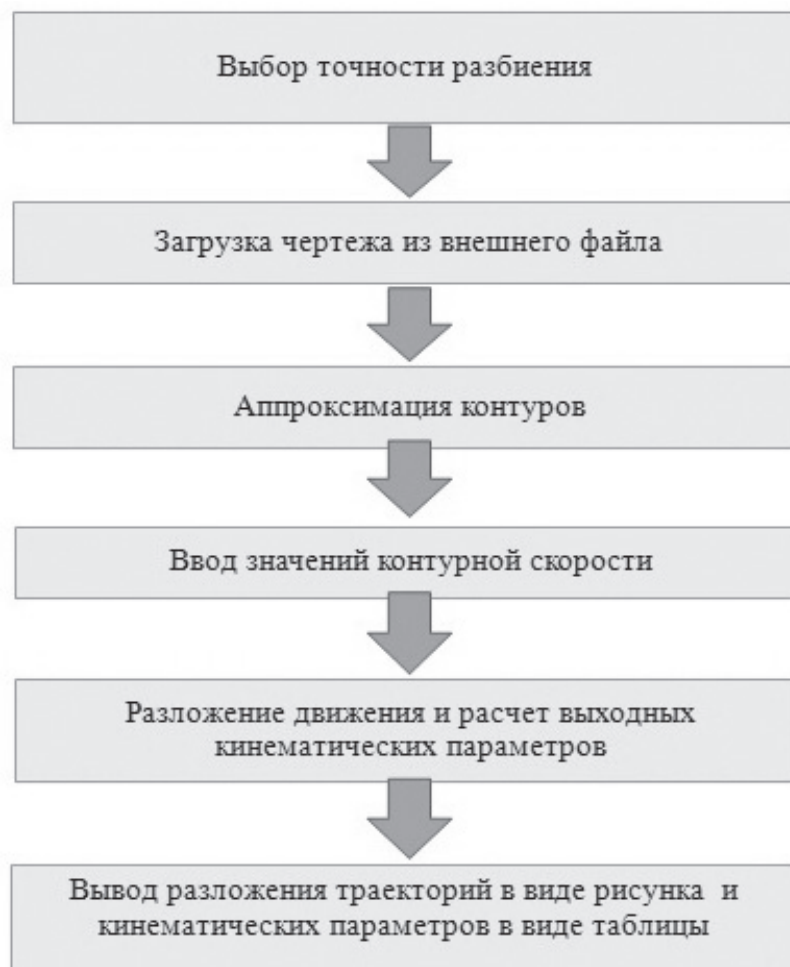


Рис. 4. Структурная схема программы *DopOs2*



Рис. 5. Исходный чертеж загруженной детали



Рис.6 . Графическое изображение результатов разложения

зерной резки это недопустимо. Затем производится обработка чертежа, на этом этапе происходит процесс сглаживания углов, т.е. расчет траектории основного координатного стола так, чтобы все критические неровности (углы и крутые дуги) стали закругленными.

Следующий шаг — это разложение движения, т.е. расчет всех кинематических параметров для обеих осей. После нажатия кнопки «Запустить разложение» производится расчет траекторий и отображается результат расчета.

Выходными данными программы являются графическое изображение движений основной и дополнительной координатных осей и результирующей траектории (рис. 6) и таблица, в которой отражены все необходимые кинематические параметры: координаты, скорости, ускорения, временные отметки (рис. 7).

Для удобства пользователя в интерфейсе программы *DopOs2* предусмотрена визуализация результатов разложения: траектория движения основных осей  $S_1$  отображается синим цветом, допол-

X	Y	P	Q	TIME	Vbig	Vsmall	Abig
616.992...	431.144...	616.992...	431.144...	1.29786683542281	497.515724955516	502.484275044484	-1240.29387204
617.802...	430.563...	617.739...	430.469...	1.29986398168023	497.901672757973	502.098327242027	193.2496435962
618.640...	430.028...	618.513...	429.832...	1.30186395785457	496.353536612486	503.646463387514	-774.077294197
619.504...	429.539...	619.402...	429.359...	1.30386531249926	495.079521407117	504.920478592883	-636.576435238
620.390...	429.097...	620.268...	428.838...	1.30587395101837	492.138323847047	507.861676152953	-1464.27419971
621.298...	428.706...	621.113...	428.267...	1.30786732924552	494.592374731947	505.407625268053	1231.101479624
622.225...	428.369...	622.064...	427.935...	1.30986734897511	491.544494122391	508.455505877609	-1523.92527156
623.168...	428.092...	623.031...	427.619...	1.3118730934559	488.927627070049	511.072372929951	-1304.68615390
624.125...	427.875...	623.984...	427.242...	1.31386183974382	492.144984309803	507.855015690196	1617.781644294
625.091...	427.721...	624.977...	427.054...	1.31586169577802	488.563633948142	511.436366051858	-1790.80408810
626.064...	427.631...	625.996...	426.974...	1.31786474068493	487.135554446989	512.864445553011	-712.954310823
627.039...	427.605...	627.013...	426.830...	1.31985286198513	490.405536721217	509.594463278783	1644.759941905
628.014...	427.642...	628.026...	426.856...	1.32185342141592	487.097532997418	512.902467002582	-1653.53934148
628.983...	427.744...	629.039...	427.018...	1.32385448853687	486.885559645386	513.114440354614	-105.930155871
629.943...	427.907...	630.061...	427.118...	1.32584391185015	489.790336843073	510.209663156927	1460.110162725
630.891...	428.132...	631.047...	427.360...	1.32785385810878	484.789237796453	515.210762203547	-2488.17550476
631.840...	428.357...	631.987...	427.795...	1.32985518777005	488.917687868146	511.082312131854	2062.853587575
632.775...	428.642...	632.939...	428.169...	1.33184955524397	492.726794190213	507.273205809787	1909.932032025
633.695...	428.988...	633.845...	428.619...	1.33385849886571	491.229708228022	508.770291771978	-745.210540501
634.596...	429.391...	634.681...	429.206...	1.33585958923433	495.134133979921	504.865866020079	1951.149140047
635.474...	429.850...	635.541...	429.738...	1.33785628222871	497.922159657036	502.077840342964	1396.321660350

Рис. 7. Окно интерфейса программы *DopOs2* — результаты расчета кинематических параметров

нительных  $S_2$  — красным, результирующее движение по траектории  $S$  — зеленым (см. рис. 6 и 2).

На выходе рассчитываются траектории основных осей, которые являются плавными, по ним осуществляется движение с малыми ускорениями, и дополнительной оси, по которым осуществляется движение с большими ускорениями. Программа проводит расчет кинематических параметров для основных и дополнительных осей. После разложения выводится таблица рассчитанных необходимых кинематических параметров: временных меток, скоростей и ускорений основных и дополнительных осей в каждой точке (рис. 7).

В программе учитываются следующие технологические ограничения: ускорения основных осей не более  $0,5g$ ; контурная скорость на всех участках должна быть постоянна; для существующих реализованных установок скорость основных осей от 10 до 40 м/мин — в зависимости от толщины заготовки и вида материала, а дополнительных — до 300 м/мин. Например, при резке стали толщиной 2 мм контурная скорость лежит в диапазоне от 5 до 8 м/мин. Результирующее эффективное ускорение меняется в пределах от  $0,5g$  до  $1g$ . В некоторых высокоскоростных установках скорость основного стола может достигать 120 м/мин, а среднее эффективное ускорение — до  $2g$ . Эффективное ускорение  $5-6g$  может быть достигнуто только на предельных режимах работы установки на отдельных участках. Точность обработки — от 30 до 80 мкм. В тестовом примере работы программы *DopOs2* при заданной контурной скорости 6 м/мин эффективное результирующее ускорение не превышает  $9 \text{ м/с}^2$ , т.е.  $1g$  (рис. 8).

По найденным значениям скоростей и ускорений технолог и конструктор промышленной установки могут судить о возможности практической технической реализации проектируемой установки с дополнительными кинематическими осями.

### Выводы

Разработан программный комплекс *LaserCNC* для управления установками с традиционной кинематической схемой. Создан новый промышленный лазерный технологический комплекс МЛП1-1060/355, разработанный на предприятии НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ» на базе технологии лазерного управляемого термораскалывания. Включение управляющей программы *LaserCNC* в систему управления установкой МЛП1-1060/355 позволило усовершенствовать технологию ЛУТ,

Разработаны управляющие программы для установок с более сложными кинематическими схемами — программы *DopOs1* и *DopOs2* для управления многокоординатными машинами с дополнительными кинематическими осями.

Создание установок с более сложными кинематическими схемами позволит значительно улучшить динамические характеристики и требуемую точность в технологических процессах лазерной резки и обработки материалов без роста затрат из-за применения более мощных приводов.

Использование моделирующей САМ-программы *DopOs2* позволит сделать еще один шаг в проектировании новой промышленной лазерной технологической установки с дополнительными кинематическими осями.

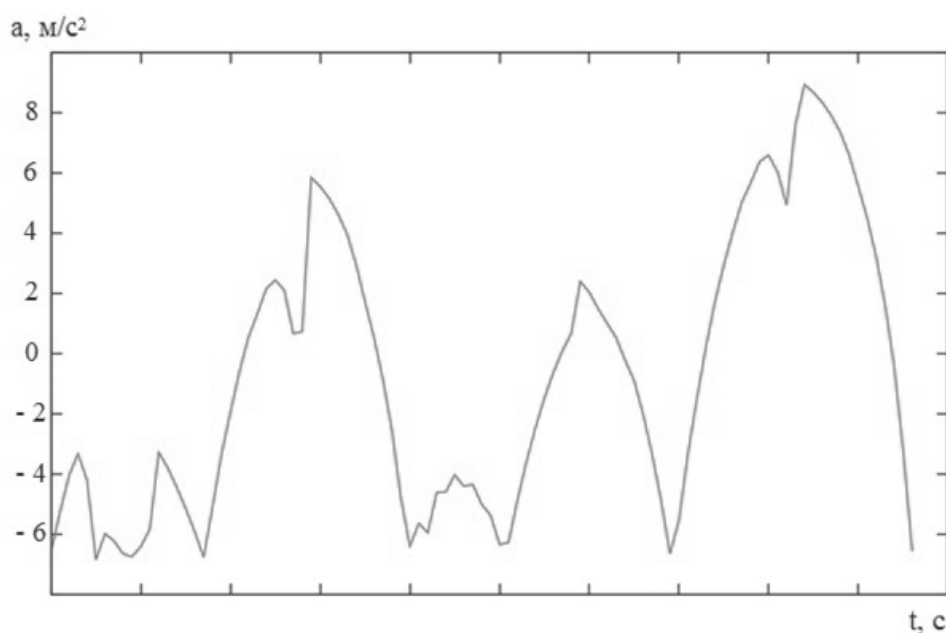


Рис. 8. Зависимость эффективного ускорения от времени



### Благодарности

Авторы выражают благодарность за участие в работе, описанной в данной статье: Наумову А.С. — докторанту МГУПИ за участие в разработке нового способа резки пластин из хрупких материалов и новой технологии лазерной резки пластин на кристаллы; руководителям компании ЗАО НИИ «ЭСТО» НПЦ «Лазеры и аппаратура ТМ», где была создана новая промышленная установка МЛП1-1060/355, генеральному директору, к.т.н. Сапрыкину Л.Г. и техническому директору, к.т.н. Миленькому М.Н. за совместную плодотворную работу; Мустафину А.Р. — студенту МАИ за участие в разработке программы для лазерной технологической установки с дополнительными кинематическими осями *DopOs2*, заявка на регистрацию которой в Реестре программ для ЭВМ подана 22 января 2015 г.

### Библиографический список

1. Третьякова О.Н., Шевченко Г.Ю. Создание управляющих программ для автоматизации процессов лазерного управляемого термораскалывания полупроводниковых и диэлектрических материалов // Вестник Московского авиационного института. 2011. Т. 18. №6. С. 53-67.
2. Кондратенко В.С., Гиндин П.Д., Сорокин А.В., Хлызов В.А. Программа управления промышленными установками лазерного управляемого термораскалывания // Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. №3. С. 44-47.
3. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Способ резки пластин из хрупких материалов // Патент РФ № 2404931 по заявке № 2009132338/08 от 28.08.2009. Бюл. 33, 27.11.2010.
4. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Новая технология лазерной резки сапфировых пластин на кристаллы // Приборы. 2011. № 10 (136). С. 37-41.
5. Кондратенко В.С., Третьякова О.Н., Наумов А.С., Шевченко Г.Ю., Зобов А.К. Аппаратно-программные средства управления промышленным оборудованием на базе технологии лазерного управляемого термораскалывания // Мехатроника, автоматизация, управление. 2014. № 6. С. 43-46.
6. Новинский А.Е., Шевченко Г.Ю. Программа управления лазерным технологическим оборудованием для резки и сварки. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013613967. Заявка № 2012661679. Дата поступления 25 декабря 2012 г. Зарегистрировано в реестре программ для ЭВМ 22 апреля 2013 г.
7. Kim K., Lee J., Yoon K., Park J. Synchronization System of Galvanometer Scanner and 2-axis Linear Stage for Laser Routing in Wide Area FPCB coverlay. // ASPE Annual Meeting, Boston, MA, November 9-14, 2014.
8. Кондратенко В.С., Комов В.Г., Миленький М.Н., Третьякова О.Н., Шевченко Г.Ю. Разработка прикладного программного обеспечения для создания лазерного технологического оборудования с вспомогательными кинематическими осями // Приборы. 2013. № 5. С. 26-34.
9. Третьякова О.Н., Комов В.Г. Управляющая программа для лазерного технологического комплекса с параллельной кинематикой *DopOs1*. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012615616. Заявка № 2012613315. Дата поступления 26 апреля 2012 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 20 июня 2012 г.
10. Мустафин А.Р., Третьякова О.Н., Шевченко Г.Ю. О вариантах разработки числового программного управления при проектировании лазерного технологического оборудования с вспомогательными кинематическими осями // Сб.: 13-я Международная конференция «Авиация и космонавтика-2014», 17 — 21 ноября 2014 г., Москва, Тезисы. — СПб.: Мастерская печати. С.643-644.

## THE DEVELOPMENT OF TOOLS FOR CONTROL OF LASER-PROCESSING EQUIPMENT WITH VARIOUS KINEMATIC SCHEMES

Kondratenko V.S.<sup>1\*</sup>, Tretiyakova O.N.<sup>2\*\*</sup>, Shevchenko G.Yu.<sup>3\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Instrument Engineering and Computer Science,  
MGUPI, 20, Stromynka str., Moscow, 107996, Russia

<sup>2</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University),  
MAI, 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993, Russia

<sup>3</sup> Research Institute «Electronic special technological equipment»,  
ESTO, 5-20, pr. 4806, Zelenograd, 124498, Russia

\* e-mail: VSK1950@mail.ru

\*\* e-mail: tretiyakova\_olga@mail.ru

\*\*\* e-mail: shev.gleb@gmail.com

### Abstract

The development of new technologies and equipment for laser processing of aircraft materials during the creation of aviation and space technology products of new generation is an urgent task. The development of new laser technologies requires the creation of highly technological equipment, integrating mechanics, electronics, automation and information technology. The control system is an integral part of the machine with intelligent control of their functional movements. Application software, which includes the qualitatively new modules, ensures the implementation of the control system of laser processing unit, and allows to create equipment for new processes. Speed laser processing and cutting machines are widely used in the creation of elements and devices for aviation and space technology.

Article is devoted to the development of application software to manage the new process of laser controlled thermosplitting, as well as technological processes for laser cutting and processing of materials in the new industrial equipment. The basis of the control system is a laser processing equipment software LaserCNC designed for different processes such as laser-controlled thermosplitting.

The enterprise “Lasers and equipment TM” has created a new industrial plant MLP1-1060/355 for the implementation of a new precision separation process of plates made from brittle materials based on the use of a new method of laser controllable thermal cleavage, which uses two lasers: one is to separate the plates, the other one is for the initial application defect for crack initiation.

Developed software LaserCNC for control system of the laser technological complex MLP1-1060/355 is possible to implement the innovative industrial equipment for the new LCT technology. The LaserCNC

software supports different laser processing equipment and, also, can be used for the new multi-axis kinematic systems.

The control program for systems with more complex kinematic scheme is DopOs1, and there is DopOs2 for multi axis machines with additional kinematic axes. The basis of the control system is the laser processing equipment software *LaserCNC, DopOs1, DopOs2* designed for different processes, such as laser-controlled thermosplitting, laser cutting and material processing. This software is designed for industrial laser-processing equipment with various kinematic schemes.

Creation of systems with more complex kinematic scheme will provide a significant improvement in dynamic performance and accuracy required in processes of laser cutting and material processing without cost increase due to the use of more powerful drive. The use of modeling program DopOs2 will make another step in the design of new industrial laser processing unit with additional kinematic axes.

**Keywords:** computer numerical control, laser controlled thermosplitting, process equipment, multi-axis kinematic scheme.

### References

1. Tretiyakova O.N., Shevchenko G.Yu. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2011, vol.18, no.6, pp.53-67.
2. Kondratenko V.S., Gindin P.D., Sorokin A.V., Khlyzov V.A. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2012, no. 3, pp. 44-47.
3. Kondratenko V.S., Naumov A.S. *Patent RU 2404931*, 28.08.2009.
4. Kondratenko V.S., Naumov A.S. *Pribory*, 2011, no. 10(136), pp. 37-41.
5. Kondratenko V.S., Tretiyakova O.N., Naumov A.S., Shevchenko G.Yu., Zobov A.K. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie*, 2014, no. 6, pp. 43-46.

6. Novinskii A.E., Shevchenko G.Yu. *Programma upravleniya lazernym tekhnologicheskim oborudovaniem dlya rezki i svarki*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2013613967, 22.05.2013 (Control program of laser processing equipment for cutting and welding. Certificate on the state registration of the computer program No. 2013613967, April 22, 2013).
7. Kim K., Lee J., Yoon K., Park J. Synchronization System of Galvanometer Scanner and 2-axis Linear Stage for Laser Routing in Wide Area FPCB coverlay. *ASPE Annual Meeting*, Boston, MA, November 9-14, 2014.
8. Kondratenko V.S., Komov V.G., Milen'kii M.N., Tretiyakova O.N., Shevchenko G.Yu. *Pribory*, 2013. no. 5, pp. 26-34.
9. Tretiyakova O.N., Komov V.G. *Upravlyayushchaya programma dlya lazernogo tekhnologicheskogo kompleksa s parallel'noi kinematikoi DopOs1*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM №2012615616, 20 June 2012 (Control program for a laser technological complex with a parallel kinematics DopOs1. Certificate on the state registration of the computer program No.2012615616, June 20, 2012).
10. Mustafin A.R., Tretiyakova O.N., Shevchenko G.Yu. *Materialy 13 Mezhdunarodnoi konferentsii "Aviatsiya i kosmonavtika-2014"*, St.-Petersburg, Masterskaya pechati, 2014, pp. 643-644.