

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СИСТЕМ ЧПУ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНО-ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКОЙ

Р.А. Нежметдинов, С.В. Соколов, А.И. Обухов, А.С. Григорьев (МГТУ "Станкин")

Предложена универсальная архитектура системы ЧПУ для управления механо-лазерными станками. Раскрыта специфика применения систем ЧПУ для различных способов лазерной обработки: послыйного порошкового синтеза, гравировки низкочастотным импульсным излучением. Проиллюстрирован пример применения систем ЧПУ для управления комплексными системами механо-лазерным оборудованием рассмотрен станок, представляющий собой многооперационный обрабатывающий центр, реализующий гибридную технологию: механическую обработку в сочетании с лазерной¹.

Ключевые слова: лазер, ЧПУ, гравировка, послыйный синтез, сканатор, дефлектор, механо-лазерная обработка.

Введение

В настоящее время при построении систем ЧПУ активно используется механизм на основе открытой модульной архитектуры [1]. Данный принцип применялся при создании гибкой, легко адаптируемой для управления различными типами технологического оборудования системы ЧПУ AxiOMA Ctrl, разработанной в МГТУ "Станкин". Одним из вариантов адаптации системы ЧПУ AxiOMA Ctrl является система управления лазерными технологическими комплексами [2].

Активное использование лазерного оборудования в настоящее время обусловлено тем, что данная технология позволяет добиться высокой скорости обработки при высокой точности позиционирования. За несколько десятилетий промышленные лазеры превратились из громоздких маломощных устройств с низким КПД и почти нерегулируемым излучением, для передачи которого требовалась целая система линз и зеркал, в небольшие по габаритам и мощные агрегаты, передающие излучение по тонкому гибкому оптоволоконному кабелю непосредственно в зону обработки с КПД до 25%, и с возможностью многоступенчатой регулировки мощности.

При помощи данного класса технологического оборудования можно решать разнообразие задачи, к которым относится: лазерная маркировка, трехмерная и плоскостная гравировка, резка листового металла и комплексная механо-лазерная обработка. Также сейчас активно развиваются технологии послыйного синтеза, позволяющие быстро создавать прототипы будущих изделий с характеристиками, схожими с оригиналом [3].

Для повышения эффективности и точности обработки обосновано применение современных систем ЧПУ позволяющих совместить лазерный комплекс с приводами подачи, что в итоге даст возможность обработки заготовок с большими габаритами.

Построение модели универсальной системы ЧПУ для механо-лазерной обработки

При механо-лазерной обработке для перемещения лазерного луча в плоскости могут применяться способы управления с помощью:

Работа выполнена по Госконтрактам № 16.740.11.0228 и № 14.740.11.0541 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 гг.

- линейных/шаговых приводов, получающих параметры движения непосредственно от интерполятора системы ЧПУ.

- реализующих внешнее управление движением. Такие устройства получают списки команд движения и самостоятельно обрабатывают перемещение луча в рабочем поле.

Таким образом, универсальная архитектура системы ЧПУ должна предусматривать возможность одновременного применения обоих способов управления.

Одними из самых распространенных устройств, реализующих внешнее управление движением луча, являются гальваносканаторы (или системы дефлексии лазерного луча). Конструкция современных сканаторов позволяет им надежно функционировать при мощностях лазера до 500 Вт, а сменные объективы увеличивают площадь сканирования до 500х500 мм при точности до 2 мкм. Сканатор может обеспечить большую среднюю скорость перемещения луча в силу малой инерционности отклоняющих зеркал.

В качестве типичного варианта сканатора рассмотрим прецизионный трехосевой гальваносканатор фирмы Raylase марки FOCUSHIFTER, который позволяет позиционировать пятно лазерного луча в любое место на рабочей плоскости (по двум углам). Данное устройство управляется через интерфейсную плату, драйвер которой принимает определенный набор команд для управления движением и параметрами лазера. Процесс управления сканатором с помощью пользовательского ПО выглядит следующим образом:

- в буфер интерфейсной платы через функции драйвера загружается список команд следующих видов: перемещения по прямой и многоугольнику; установки параметров движения (задержки, скорость и т.п.); установки параметров лазерного излучения;
- запускается обработка списка команд;
- после окончания обработки списка загружается следующий список, и процесс повторяется до тех пор, пока не будет отработана вся программа.

Таким образом, ПО для управления сканатором не обязано работать в жестком РВ и обеспечивать прямое управление движением. От него лишь требуется отправлять команды плате контроллера, которая сама обеспечивает все функции по непосредственному уп-

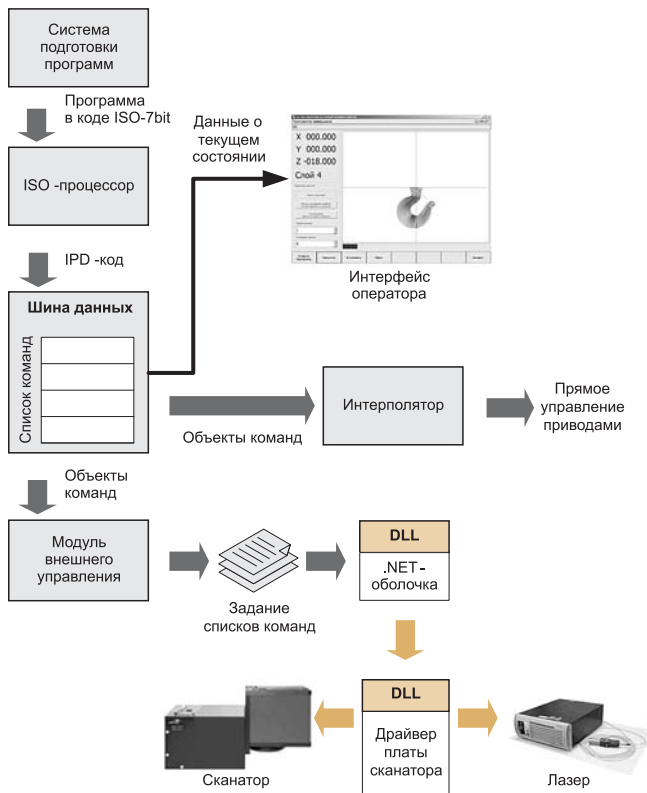


Рис. 1. Структурная схема системы ЧПУ при использовании внешних устройств управления

равлению исполнительными устройствами (модуля дефлексии, фокусировки и лазером).

Для обеспечения управления сканатором и подобными устройствами в системе ЧПУ наряду со стандартным интерполятором необходимо реализовать модуль внешнего управления, имеющий такие же интерфейсы, как интерполятор, но делегирующий непосредственное управление движением внешним устройствам (например, плате контроллера, сканатора). Общая структура системы ЧПУ с реализацией функции внешнего управления показана на рис. 1.

В данной схеме список команд, созданных ISO-процессором при интерпретации управляющей программы, доступен как интерполятору, так и модулю внешнего управления. При этом остается возможность как прямого управления приводами, так и управления сканатором в рамках одной управляющей программы. Это выглядит следующим образом:

- при появлении в управляющей программе команды перехода в режим внешнего управления интерполятор переходит в состояние ожидания, а модулю внешнего управления передается команда на запуск;
- команды перемещения последовательно извлекаются из списка модулем внешнего управления. При этом в зависимости от типа команды производится воздействие на объект управления посредством вызова интерфейсных функций его контроллера. После заполнения списка производится запуск исполнения команд;
- в ходе исполнения списка команд модуль внешнего управления получает от объекта текущие значе-

ния параметров и передает их в шину данных (чтобы в терминальной части обновлялись индикаторы текущих координат и т.п. информации);

- при появлении в списке команды на выход из режима внешнего управления интерполятор выходит из режима ожидания.

Подобная структура является универсальной в том смысле, что позволяет реализовывать управление различными устройствами в рамках одной управляющей программы и использовать одну систему ЧПУ для разных технологий лазерной обработки (гравировка, послойный синтез и др.) без принципиальных изменений в архитектуре системы [4].

Специфика применения систем ЧПУ для управления лазерной обработкой Установка послойного синтеза

Технологии быстрого прототипирования (Rapid Prototyping – RP) стали неотъемлемой частью процесса современного материального производства. Установки послойного синтеза из порошковых материалов – класс устройств, относящихся к области RP-технологий, которые могут использоваться не только для создания прототипов изделия на этапе проектирования, но и для производства готовой продукции при использовании керамических и металлических порошков.

Суть метода состоит в последовательном нанесении в рабочую область тонких слоев металлического или керамического порошкового материала с последующим спеканием его сканирующим лучом лазера. Готовое изделие как бы "выращивается" в направлении снизу вверх.

Небольшая порция порошка выдавливается из бункера. При помощи ролика слой порошка разравнивается по поверхности зоны синтеза и уплотняется. Излишки порошка сметаются в специальный бункер. Затем при помощи лазерной системы пятно лазерного луча, двигаясь в плоскости обработки, спекает нанесенный слой порошка с нижележащими слоями. По завершению спекания слоя поршень опускается, высвобождая место для нанесения нового слоя порошкового материала. Задача контурного перемещения пятна лазерного луча в данном методе изготовления решается лазерной системой на основе гальваносканатора [5].

При создании системы управления для установки послойного синтеза на первое место встает решение задачи послойного построения траекторий движения пятна лазерного луча на основе геометрической модели изготавливаемого изделия. Для решения данной задачи предназначен препроцессор, генерирующий управляющую программу на основе геометрической модели детали в формате STL.

Основные функции препроцессора STL-файлов:

- открытие файла в формате STL и проверка модели на отсутствие разрывов в поверхности, дублирующие и одиноко стоящие полигоны. Также на этом этапе полезно, задав критерий схожести, определить общие вершины у полигонов с целью нахождения со-

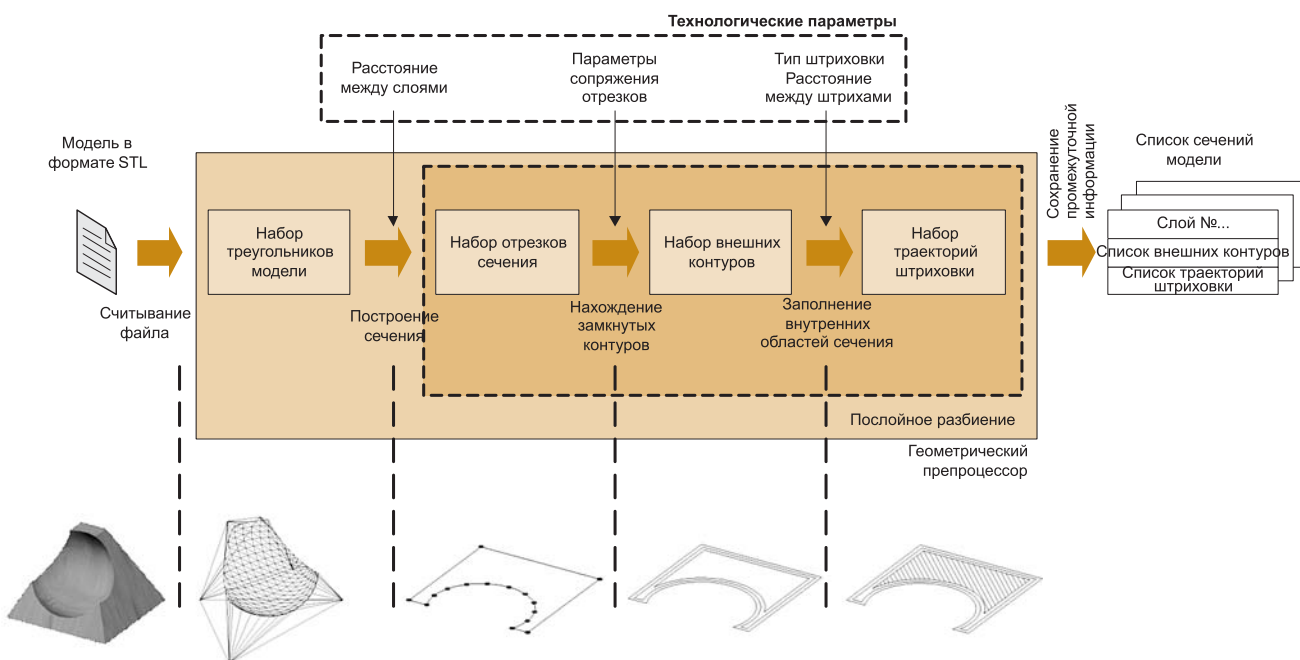


Рис. 2. Обобщенная схема функционирования модуля STL-препроцессора

седних друг другу полигонов и уменьшения числа хранимых граней и вершин;

- задание параметров разбиения модели: расстояние между слоями, тип и расстояние между линиями штриховки, число и расстояние между эквидистантами обхода внешних контуров сечения и др.;
- функциональность разбиения модели на сечения. В нее входит: рассечение модели плоскостью; определение граничных контуров, построение их эквидистант; построение траекторий штриховки внутренних областей сечения; автоматическое определение особых зон сечения. Такими зонами могут быть, например, тонкие стенки в сечении, а также любые другие области, которые необходимо обрабатывать с применением технологических параметров, отличных от параметров обработки остальных частей детали.

Обобщенная схема функционирования модуля STL-препроцессора представлена на рис. 2. Препроцессор считывает набор треугольников модели из файла формата STL. После чего строится набор сечений модели параллельными плоскостями. В каждом сечении определяется набор внешних контуров. К каждому внешнему контуру строится несколько эквидистант со стороны внутреннего объема детали, чтобы сделать внешнюю стенку детали более прочной. Затем во внутренних областях сечения строятся контуры штриховки, создающие во время обработки плотную структуру запеченного порошка внутри детали. Выходные данные в виде набора слоев сечения модели передаются генератору управляющих программ [6].

Гравировка при помощи импульсного низкочастотного излучения

Импульсная лазерная обработка широко применяется в различных отраслях промышленности. Весьма распространенной является технология лазерной гравировки в объеме и на плоскости. Среди типов грави-

ровальных машин чаще других применяются станки на основе твердотельного лазера, работающего в импульсном режиме с частотой импульсов порядка 30...100 Гц (применяются при объемной гравировке в прозрачных средах). Главная особенность управления данным типом станка – необходимость обеспечения строгой синхронизации между импульсами лазера и перемещением заготовки. Проблема в том, что частота импульсов лампы накачки должна выдерживаться с определенной допустимой погрешностью, иначе энергия импульсов не будет распределяться равномерно во времени и результатом гравировки будет некорректным (например, появятся пропущенные или "недоожженные" точки). Таким образом, система ЧПУ после отработки движения в заданную точку должна ожидать некоторое время, прежде чем подать команду на осуществление рабочего импульса лазера (рис. 3).

На данной схеме красным цветом выделен график скорости при обычном способе управления движением. Можно видеть, что значительная часть времени обработки изделия тратится впустую на ожидание очередного окна допуска. К тому же программы для

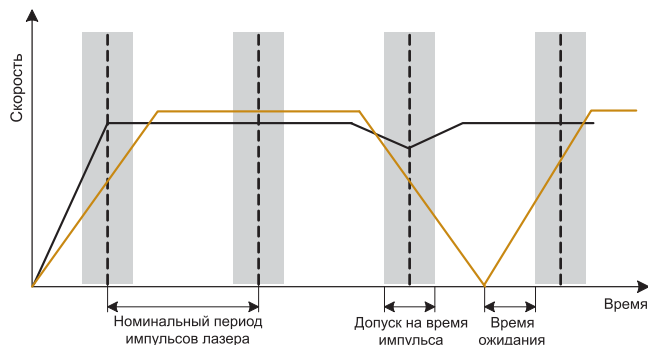


Рис. 3. Движение при стандартной и оптимизированной схемах управления импульсной лазерной обработкой

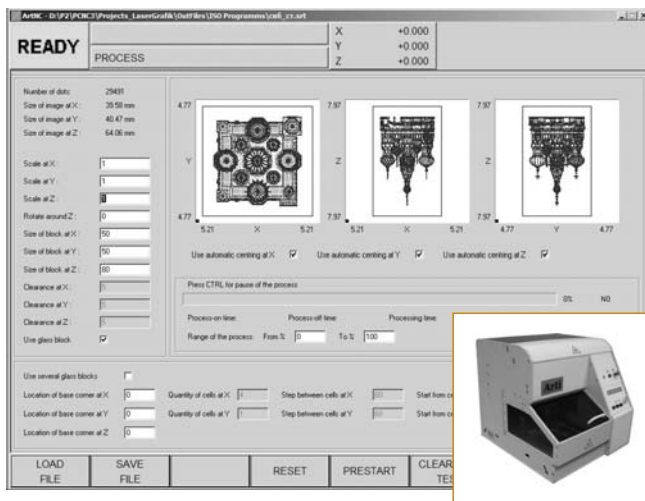


Рис. 4. Компактный станок лазерной графики фирмы LaserGraphicArt и главный экран адаптированной для лазерной гравировки системы ЧПУ ArtNC

гравировки, как правило, состоят из большого числа мелких кадров. Ввиду этого потери производительности оказываются очень большими.

При адаптации системы ЧПУ для станков лазерной графики фирмы LaserGraphicArt главной задачей стало повышение производительности обработки изделий при соблюдении временных допусков на импульсы лазера (рис. 4).

В связи с описанной проблемой в интерполяторе системы ЧПУ требовалось реализовать механизм адаптации движения к параметрам импульсов. Алгоритм управления движением должен обладать двумя важнейшими свойствами: синхронизация движения с импульсами лазера для устранения остановок в обрабатываемых точках; обеспечение оптимальной скорости прохода точек в зависимости от допустимого ускорения по осям и других параметров.

Синхронизация движения подразумевает то, что путь между двумя рабочими точками должен быть пройден за строго определенное время, определяемое номинальной частотой лазера и ее допустимой погрешностью. При этом импульсы лампы накачки задаются системой ЧПУ, а не тактовым генератором лазера [7].

Перед началом движения по очередному отрезку траектории вычисляются параметры профиля разгона/торможения (в виде трапеции). При этом сначала вычисляется максимальная конечная скорость в кадре (используется алгоритм look-ahead), а затем конечная и номинальная скорости корректируются так, чтобы общее время прохода кадра было кратно периоду импульсов лазера. Результат в виде оптимизированного графика скорости показан, синей линией на рис. 3. Реализация подобного алгоритма

позволила сократить время обработки изделий на 30...50% по сравнению со стандартной схемой управления.

Функциональность, специфичная для взаимодействия с лазерным станком, сосредоточена в интерполяторе, обеспечивающем основные функции управления движением по заданной траектории. Практически все вычисления, связанные с параметрами движения, происходят на стадии анализа команды в блоке разгона и торможения. Алгоритм импульсной адаптации является надстройкой над алгоритмом нахождения максимально допустимой скорости. Сочетание алгоритма Look ahead и алгоритма подстройки под частоту лазера позволяет получить оптимальный скоростной режим. При этом используемые параметры, такие как частота лазера и ее допустимая погрешность, максимальные ускорения по осям и т. д., могут легко настраиваться наладчиком станка, что позволяет экспериментально находить оптимальное соотношение производительности и качества обработки. В случае использования гальваносканатора или иного устройства фокусировки, реализующего собственный алгоритм управления движением луча, адаптация параметров разгона-торможения реализуется схожим образом, но вычисленные параметры не используются для обработки контура внутренним интерполятором системы, а передаются интерфейвному устройству сканатора. На рис. 5 показан стенд



Рис. 5 Стенд для обработки алгоритмов гравировки на основе гальваносканатора

на основе гальваносканатора, предназначенный для отработки алгоритмов лазерной гравировки.

Комплексные станки мехнолазерной обработки

Система ЧПУ для управления комплексным мехно-лазерным оборудованием была реализована в ходе работ над проектом "Мехлазер". Станок представляет собой многооперационный обрабатывающий центр, реализующий гибридную технологию: механическую обработку в сочетании с лазерной.

Оборудование может быть применено при формообразовании и финишной обработке прессформ для литья под давлением. При работе с такими изделиями требуется комплексная обработка. В ходе работы используется пятикоординатная механическая обработка. Далее заготовка подвергается точной финишной обработки под воздействием лазерного излучения. Кроме того, на поверхности изделия с помощью лазерного излучения могут быть нанесены специальные покрытия и произведена закалка отдельных участков.

Механическая обработка на станке реализована за счет управления шестью координатами, две из кото-

рых отвечают за перемещение направляющих портального типа. Имеется также поворотный глобусный стол, позволяющий обрабатывать сложные изделия за один установ.

На станке также применяется лазер, который при механической обработке закрыт в специализированном отсеке, располагающемся на инструментальной головке. Особенностью работы лазерного излучения является возможность кратковременного мощного нагрева на небольшой площади. Варьируя мощность, площадь пятна фокусировки, время воздействия и режимы подачи различных газов и материалов в зону разогрева, можно выполнять множество разнообразных операций: резание, сварку, напыление, полирование, термообработку, глубокое перфорирование, сверление высокопрочных материалов турбинных лопаток, гравировку, трехмерное удаление слоя металла испарением и множество других [8].

На станке "Мехлазер" установлен лазер производства предприятия "ИРЕ-Полус" (г. Фрязино), созданный на основе российских разработок в данной области. Он сочетает преимущества двух наиболее передовых лазерных технологий: активного оптического волокна с сердечником из редкоземельных элементов и высокомоощных многомодовых полупроводниковых диодов накачки.

Необходимо отметить, что станок, работающий на основе гибридной технологии, предполагает применение широкой номенклатуры дополнительного технологического оборудования, необходимого как для механической обработки (насосная станция механики поворотных столов, система водяного охлаждения двигателей, система смазки подшипников, инструментальный магазин, СОЖ, системы контроля целостности инструмента и детали, конвейер для уборки стружки), так и для лазерной обработки (дефлектор, лазерная фокусирующая головка, блок подготовки воздуха, система водяного охлаждения дефлектора и лазера). Все это возлагает дополнительные требования к системе управления электроавтоматикой. Она должна быть достаточно надежной, иметь большое число входов/выходов. Также возможно применение нескольких ПЛК, решающих автономно задачи управления дополнительным оборудованием механической и лазерной обработки, соединенных между собой по принципу master-slave.

Открытая архитектура, лежащая в основе системы ЧПУ AxiOMA Ctrl, в сочетании с современными инструментами разработки позволяет создать гибкую, легко адаптируемую систему управления лазерными технологическими комплексами. Представленная модель универсальной системы ЧПУ для механо-лазерной обработки позволяет организовывать управление практически любыми исполнительными устройствами в рамках одной управляющей программы благодаря введению подключаемых модулей внешнего управления. Это позволяет сократить время разработки и выпуска на рынок систем управления для различных видов обработки с применением лазеров (послойного порошкового синтеза, гравировки, гибридной механо-лазерной обработки).

Список литературы

1. Мартинов Г.М., Обухов А. И., Пушков Р.Л. Принцип построения универсального интерпретатора языка программирования высокого уровня для систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №6.
2. Мартинов Г.М., Любимов А.Б., Обухов А.И. Проблема адаптации систем ЧПУ класса PCNC к станкам лазерной графики // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №1.
3. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Любимов А.Б. Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов. // Автоматизация и современные технологии. М.: Машиностроение. 2010. №7.
4. Мартинов Г. М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №1.
5. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5.
6. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушков Р.Л. Принцип построения распределенной системы ЧПУ с открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №4(12).
7. Козак Н.В., Абдуллаев Р.А. Концепция построения средств диагностики и управления устройствами электроавтоматики на базе ОРС технологии // Системы управления и информационные технологии. 2010. №3.
8. Мартинов Г.М., Козак Н.В. Декомпозиция и синтез программных компонентов электроавтоматики // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. №12.

*Нежметдинов Рамиль Амирович — канд. техн. наук, доцент,
Соколов Сергей Владимирович — преподаватель кафедры "Компьютерные Системы Управления",
Обухов Александр Игоревич и Григорьев Антон Сергеевич — научные сотрудники
Государственного инженерингового центра МГТУ "Станкин".*

Контактный телефон (499) 972-94-40. E-mail: neramil@ncsystems.ru