

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 621.3.032.26(075.8)

Недабой
Татьяна Дмитриевна

Аппаратное и программное обеспечение систем управления
режимами лазерной обработки

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-38 80 02 Оптические и оптико-электронные
приборы и комплексы

Научный руководитель
Шахлевич Григорий Михайлович
доцент, канд. физ.-мат. наук

Минск 2020

ВВЕДЕНИЕ

Для проведения лазерной обработки в некоторых случаях требуется совместное управление несколькими устройствами для позиционирования пятна лазерного луча (приводами и сканатором). Причем эти устройства могут иметь совершенно несовместимые интерфейсы, недоступные приложениям из единой операционной системы. Это требует особого подхода к построению архитектуры системы управления. В связи с этим возникла востребованность к росту технологичности и универсальности установок, к быстрому переключению режимов обработки и контролю параметров лазерного излучения привела к внедрению в установки многофункциональную систему ЧПУ и программно-управляемых модулей, использование которых приведет к снижению затрат на разработку и обслуживание установок для лазерной обработки.

Анализ предлагаемых на рынке готовых решений аппаратных и программных средств для лазерных установок показал, что они являются дорогостоящими и еще не успели в полной мере охватить процесс производства и его особенности, как технологические, так и специфику оборудования, используемого на лазерных установках. В связи с этим, для повышения эффективности и автоматизации технологического процесса лазерной обработки необходимо разработать новую высокоэффективную автоматизированную систему управления, а также программно-аппаратные модули необходимые для автоматизации технологического процесса на промышленных установках.

Кроме того, реализация в системе ЧПУ возможности синхронизации движения лазерным излучением значительно повысит эффективность импульсной обработки. Исходя из сказанного, можно заключить, что тема диссертации, является актуальной.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Для проведения лазерной обработки в некоторых случаях требуется совместное управление несколькими устройствами для позиционирования пятна лазерного луча (приводами и сканатором). Причем эти устройства могут иметь совершенно несовместимые интерфейсы, недоступные приложениям из единой операционной системы. Это требует особого подхода к построению архитектуры системы управления. В связи с этим возникла востребованность к росту технологичности и универсальности установок, к быстрому переключению режимов обработки и контролю параметров лазерного излучения привела к внедрению в установки многофункциональную систему ЧПУ и программно-управляемых модулей, использование которых приведет к снижению затрат на разработку и обслуживание установок для лазерной обработки.

Переход к использованию автоматизированных комплексов в качестве основных, а не только вспомогательных для технологического оборудования для выполнения лазерной обработки, является необходимым условием для формирования интегрированных гибко перенастраиваемых технологичных циклов, производственных участков и предприятий в целом. На рынке готовые решения аппаратных и программных средств для лазерных установок являются дорогостоящими и еще не успели в полной мере охватить процесс производства и его особенности, как технологические, так и специфику оборудования, используемого на лазерных установках. В данной работе, для повышения эффективности и автоматизации технологического процесса лазерной обработки ведется разработка новой высокоэффективной автоматизированной системы управления, а также программно-аппаратных модулей необходимых для автоматизации технологического процесса на промышленных установках.

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (научный руководитель – доцент, канд. физ.-мат. наук Шахлевич Григорий Михайлович).

Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является повышение эффективности процесса разработки систем ЧПУ лазерного технологического оборудования на основе модульной организации архитектуры, обеспечивающей гибкость системы управления.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

1. Сокращение времени обработки изделий низкочастотным импульсным лазерным излучением (по сравнению с обработкой на системах, не реализующих синхронизацию движения с импульсами).

2. Обеспечение расширяемости геометрической задачи системы ЧПУ и реализации совместного управления дефлектором и приводами подач,

осуществляющими перемещение пятна лазерного луча в рабочем поле, в рамках выполнения одной управляющей программы.

3. Повышение автоматизации за счет доработки структурной схемы автоматизированной подготовки программ управления элементами технологического модуля лазерного комплекса за счет управления подачей и выводом материала, наличие базы данных параметров и наличие функции для ускорения рабочих процессов.

Методы исследования

Теоретические исследования в работе базировались на методах системного анализа, объектно-ориентированного проектирования (декомпозиции, абстракции), концепции объектно-ориентированного программирования. Использовались технологии автоматизация OLE (object linking and embedding), моделирование в среде MathLAB, построение графиков Excel.

Практическая ценность

Практическая ценность:

– возможность оптимизации технологических процессов лазерной обработки (лазерной резки), при которых необходимо найти соотношения скоростей перемещения лазера и мощности его воздействия для выполнения требуемых температурных режимов.

– методика компоновки системы управления для задач лазерной маркировки, послойного синтеза и комбинированной механо-лазерной обработки на основе предложенного единого архитектурного решения, позволяющей сократить время и себестоимость процесса разработки систем управления для лазерных станков;

– разработаны программных модулях управления движением, алгоритмы нахождения максимально допустимой скорости на основе опережающего просмотра кадров (Look Ahead) и опережающего просмотра кадров, что повышает эффективность импульсной лазерной обработки.

Личный вклад соискателя

Все основные результаты, изложенные в диссертационной работе, получены при непосредственном участии соискателя. Научному руководителю Г.М. Шахлевичу принадлежат постановка ряда основных задач и интерпретация полученных результатов.

Апробация результатов диссертации

Результаты исследований, включенные в диссертацию, докладывались на следующих международных и республиканских конференциях:

– Пятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня» (Минск, Республика Беларусь, 13-14 марта 2019 года) в количестве одной работы;

– 12-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение –2019» (Минск, 17 апреля 2019 года) в количестве одной работы;

– Научно-техническая конференция при БНТУ (Минск, 15 ноября 2019 года) в количестве одной работы;

– 9-я Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов (Минск, Республика Беларусь) в количестве одной работы.

Опубликованность результатов диссертации

По материалам диссертации опубликовано 4 печатных работы в сборниках трудов и материалах международных научных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка использованных источников. Общий объем диссертационной работы составляет 78 страниц, из них страниц 63 основного текста, 44 рисунка, 8 таблиц, списка использованных источников из 36 наименований, включая 4 собственных публикации автора.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы по разработке метода обеспечения гибкости систем ЧПУ для задач лазерной обработки, сформулированы цели и задачи исследования, раскрыто основное содержание научной новизны и практической ценности выполняемой работы.

В первой главе на основе научных трудов Мурзина С.П., Сосонкина В.Л., Григорьянца А.Г., Мартинова Г. М., Илюхина В.Н. и других специалистов в области разработки программного обеспечения систем управления и информационных систем в промышленности производится анализ программного обеспечения современных систем ЧПУ и возможностей их адаптации для лазерного технологического оборудования. Сформулированы основные положения по постановке задач исследования.

Простая и быстрая перенастройка с одного метода обработки на другой позволяет лазерному комплексу совмещает в себе разные системы обработки (резки и гравировки материала). Отличительными особенностями являются обеспечение передачи в управляющее устройство сигнала о наличии лазерного излучения и наличие механизмов регулировки отклонения лазерного излучения от конструктивной оси модуля. На рисунке 1 представлены возможности применения лазеров для различных видов энергетической обработки.



Рисунок 1 – Диаграмма использования методов лазерной обработки, классифицированных по энергетическому признаку, для реализации различных технологических процессов

Основными параметрами режимов обработки неметаллических материалов являются мощность излучения и скорость обработки. Так как теплопроводность обрабатываемых неметаллических материалов достаточно мала, то на нагрев за счет теплопроводности теряется лишь небольшая часть поглощенной энергии, основные затраты энергии приходятся на разрушение материала. Поэтому глубина линейно зависит от мощности для небольших толщин разрезаемого материала. С увеличением мощности рост толщины обрабатываемого материала замедляется вследствие поглощения части

энергии газами и аэрозолями. Глубина и ширина реза зависят от величины фокусного расстояния и положения фокальной плоскости относительно поверхности обрабатываемого материала.

Основными тенденциями в развитии систем ЧПУ являются: постоянное совершенствование алгоритмов интерполяции с целью улучшения скоростных и качественных характеристик интерполяции с целью улучшения скоростных и качественных характеристик обработки, обеспечение открытости архитектуры для повышения гибкости систем при реализации специальных требований заказчика. Анализ архитектуры систем ЧПУ ведущих мировых (Fanuc, Siemens, Heidenhein, Bosch Rexroth, Fagor, Mitsubishi Electric) и отечественных (Балт-Систем, Модмаш-софт, Микрос, МГТУ “СТАНКИН”) фирм-разработчиков выявил следующие проблемы:

- ограниченность механизма расширения геометрической задачи управления. Специалист без глубокого знания методики реализации интерполятора системы ЧПУ и наличия исходного кода не может добавить собственные алгоритмы интерполяции для выполнения специфических задач;

- отсутствие механизма совместного управления разнородными устройствами (дефлекторами приводами подач), осуществляющими перемещение пятна лазерного луча в рабочем поле в рамках выполнения одной управляющей программы;

- отсутствие единой методики реализации параметрического программирования для лазерной обработки;

- у станкостроителей и конечных пользователей отсутствует возможность реализовывать синхронизацию движения с импульсами лазера.

Разработка обобщенного решения, обеспечивающего, возможность компоновки систем управления для разных установок на основе единой архитектуры, позволит значительно снизить затраты на разработку и обслуживание установок для лазерной обработки, а также на обучение персонала. Кроме того, реализация в системе ЧПУ возможности синхронизации движения с лазерным излучением значительно повысит эффективность импульсной обработки.

Предполагается достичь:

1. Сокращения времени обработки изделий низкочастотным импульсным лазерным излучением (по сравнению с обработкой на системах, не реализующих синхронизацию движения с импульсами).
2. Упрощения программирования сложных контуров.
3. Обеспечения расширяемости геометрической задачи системы ЧПУ и реализации совместного управления дефлектором и приводами подач, осуществляющими перемещение пятна лазерного луча в рабочем поле, в рамках выполнения одной управляющей программы.

На лазерных станках с применением низкочастотного лазерного излучения (с частотой импульсов в несколько десятков Гц) предполагается сократить время обработки на 20–40% по сравнению с

многофункциональными системами ЧПУ общего назначения, имеющимися на рынке.

Во второй главе установлены взаимосвязи между программными и аппаратными модулями систем управления лазерным оборудованием, что дало возможность выделить общие компоненты и создать единое архитектурное решение для задач лазерной маркировки, послойного синтеза и комбинированной механо-лазерной обработки, а также обоснована необходимость в доработке алгоритмов нахождения максимально допустимой скорости на основе опережающего просмотра кадров (Look Ahead) и опережающего просмотра кадров, что повышает эффективность импульсной лазерной обработки. Разработана структурная схема системы автоматизированной подготовки программ управления элементами технологического модуля лазерного комплекса. Предложена модель универсальной системы ЧПУ для управления режимами лазерной обработки, представлена на рисунке 2.

В предложенной схеме список команд, созданных интерпретатором при обработке управляющей программы, доступен как интерполятору, так и модулю внешнего управления, что обеспечивает возможность как прямого управления приводами, так и управления сканатором в рамках единой управляющей программы.

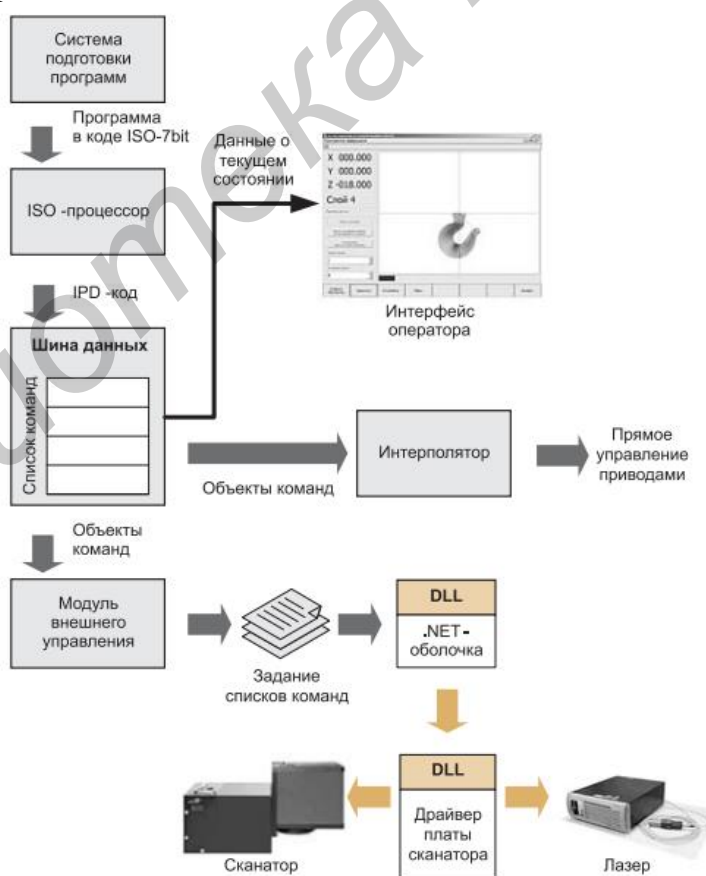


Рисунок 2 – Структурная схема системы ЧПУ

Весьма распространенной является технология лазерной гравировки в объеме и на плоскости, сварка, плавление и нагрев. 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 результат обработки будет некорректным (например, появятся пропущенные или "недожженные" точки, в случае гравировки). Система ЧПУ после отработки движения в заданную точку должна ожидать некоторое время, прежде чем подать команду на осуществление рабочего импульса лазера, движение представлено на рисунке 3.

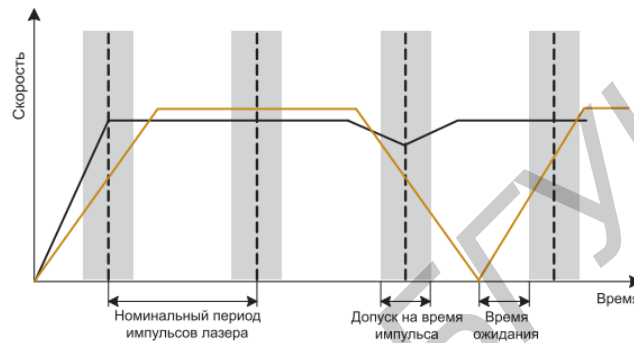


Рисунок 3 – Движение при стандартной и оптимизированной схемах управления импульсной лазерной обработкой

На данной схеме коричневым 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, как правило, состоят из большого числа мелких кадров. Ввиду этого потери производительности оказываются очень большими.

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.

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 черной линией на рисунке 3. Реализация подобного алгоритма позволила сократить время обработки изделий на 30–40% по сравнению со стандартной схемой управления.

Важнейшей из задач управления является геометрическая (motion control), которая присутствует во всех системах ЧПУ. Структура геометрической задачи в общем виде представлена следующим образом на рисунке 4.



Рисунок 4 – Структура геометрической задачи управления

Она реализуется тремя основными модулями: интерпретатора управляющих программ, интерполятора, модуля управления следящими приводами. Последний модуль сильно зависит от типа объекта управления и наличия обратной связи, в то время как интерполятор и интерпретатор могут быть построены на универсальных принципах.

Функционирование геометрической задачи обобщенно можно описать в виде нескольких этапов:

1. Управляющая программа в коде ISO-7bit поступает на вход интерпретатора, который решает задачу синтаксического анализа кадров программы и задачу эквидистантной коррекции, а также выполняет различные преобразования координат. Интерпретатор генерирует порцию команд движения и передает их интерполятору.
2. Интерполятор извлекает команду движения из сгенерированного списка, анализирует ее и генерирует данные о приращениях координат в течение заданного времени движения (учитывая требуемые параметры разгона и торможения).
3. Приращения координат передаются в модуль ввода-вывода, который затем напрямую или после необходимых преобразований отправляет их приводам движений.

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.

В связи с проведенным анализом развития лазерной обработки, а также архитектуры систем ЧПУ ведущих фирм-разработчиков, для повышения эффективности появилась необходимость доработать схему автоматизированной подготовки программ управления элементами технологического модуля лазерного комплекса на базе существующих

систем управления, показана на рисунке 5. Где была доработана взаимосвязь между параметрами и вызовом процедур или функций. Для удобного управления лазерным оборудованием при необходимости возможность редактировать макет в графической программе, а для обработки лазером отправлять данные на ПО лазерного оборудования.

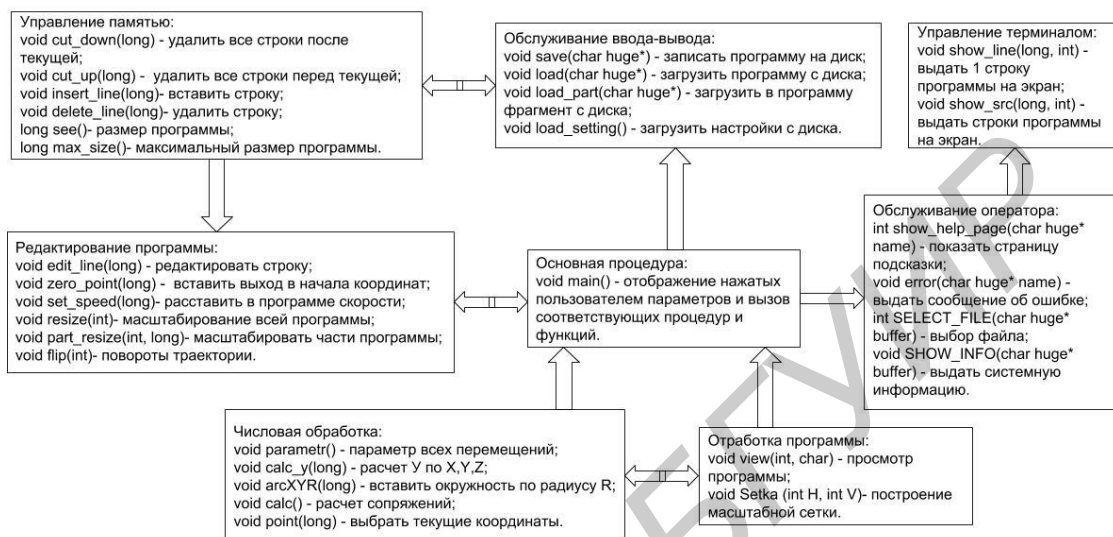


Рисунок 5 – Схема автоматизированной подготовки управления элементами технологического модуля лазерного комплекса

Процесс повышения автоматизации происходит за счет управления подачей и выводом материала, наличие базы данных параметров и наличие функции для ускорения рабочих процессов.

В третьей главе представлен обзор параметров, функционала и алгоритмов работы станка лазерной резки серии СМА1309–В–А, на основе которого проведено моделирование функциональной модели программно–реализованного контроллера, а также проведен расчет температурного поля при воздействии лазерного излучения на полупрозрачные среды и материалы,

5-ая плата контроллера управляется SmartCarve4.3, благодаря чему обладает многими функциями: автоматизированное проектирование, управление компьютерным интеллектом, обработка изображений, многоязычность, может работать с различными типами данных, многократной лазерной обработкой, многоуровневым дизайном, может поддерживать контроль обработки и генерацию данных большинства устройств лазерной обработки.

Для построения функциональной модели работы контроллера необходимо систематизировать и описать полный набор реализуемых функций. Для этого необходимо выделить: входные и специализированные данные получаемые функцией, результат работы функции в виде выходных данных и модуль программно-реализованного контроллера, который будет

реализовывать функцию.

В результате проведенного анализа функционала системы логического управления была разработана функциональная модель системы в нотации IDEF0 и представлена на рисунке 6.

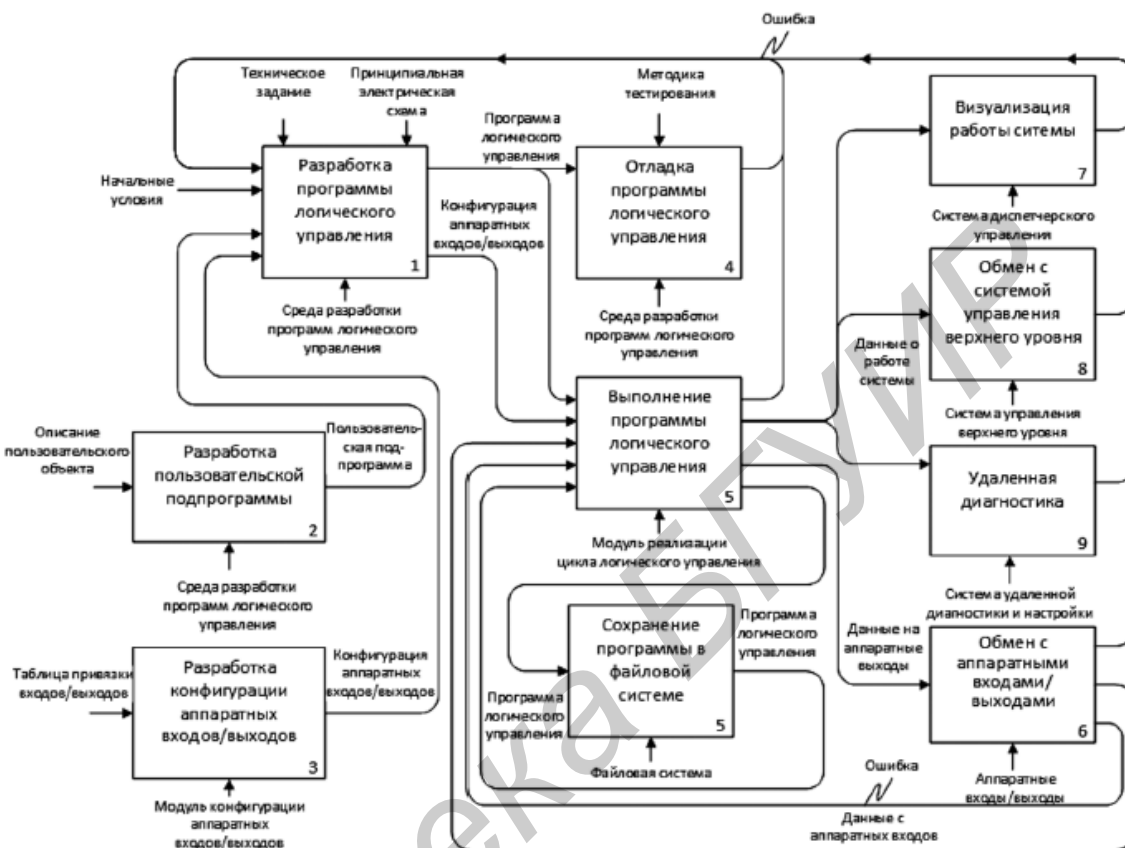


Рисунок 6 – Функциональная модель систем логического управления в нотации IDEF0

Система логического управления представлена как набор функций, связанных между собой связями. Каждая функция представляет собой «черный ящик» с указанием входов, выходов, специализированных данных и модуля системы логического управления, отвечающего за реализацию функции. Стрелки входов приходят в левую кромку активности функции, стрелки с указанием специализированных данных – в верхнюю кромку, стрелка с указанием модуля системы – в нижнюю кромку, стрелки выхода – в правую кромку.

Функциональное моделирование позволило: выделить основные функции программно-реализованного контроллера, привязать функции к отдельным компонентам программно-реализованного контроллера и по результатам моделирования можно отметить главные особенности.

Практическим значением проводимых исследований являются возможности оптимизации технологических процессов лазерной обработки (в особенности лазерной резки и гравировки) для систем управления режимами. Для оптимизации необходимо выполнять требуемые температурные режимы, для которых подбираются соотношения скоростей

перемещения лазера и мощности его воздействия. Полученные в результате расчета температурные поля дали возможность вычислить скорость нагрева или охлаждения в каждой расчетной точке. Вследствие того, что скоростные характеристики являются определяющими при структурных превращениях, эти данные могут быть использованы для определения типа структурных изменений, происходящих в момент лазерного нагрева в поверхностном слое материала и в последствии для разработки алгоритмов линейного разгона/торможения, независимого от типа интерполируемой кривой и нахождения максимально допустимой скорости на основе опережающего просмотра кадров (Look Ahead).

Разработаны расчетные модели тепловых процессов, основанные на всестороннем учете сложных физических процессов и их математическом описании. Основным этапом численного решения является дискретизация расчетной области – создание массива узлов, причем каждая узловая точка P содержится в одном контрольном объеме, представленном на рисунке 7.

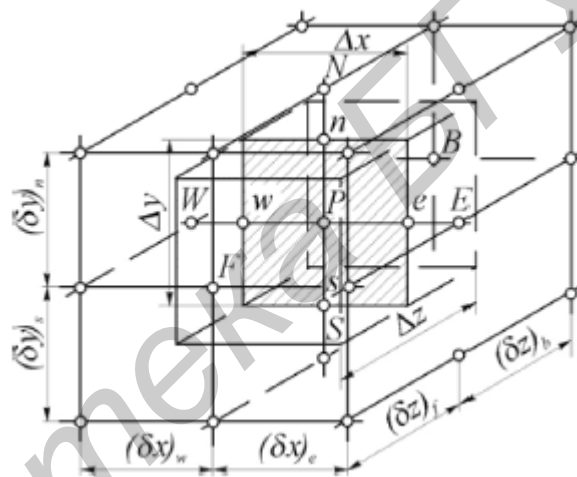


Рисунок 7 – Сетка и контрольный объем в декартовой системе координат

На рисунке 8 представлены серии графиков температурного поля в зависимости от пространственных координат (номера узла сетки) и выше записанных условий.

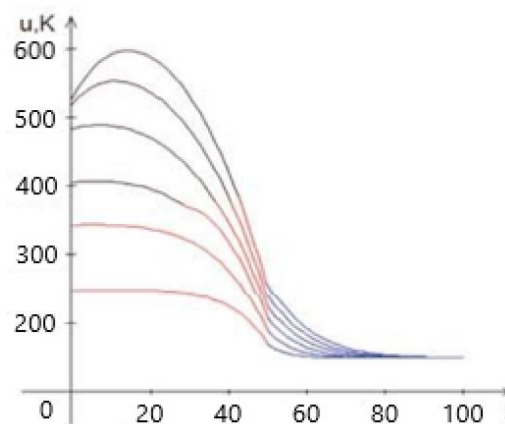


Рисунок 8 – Графики температурного поля (шаг по времени 0,05 с; $n=50$, $\tau = 10^{-4}$)

В общей доле потерь на охлаждение: потери на испарение составляют от 0,1% (при температурах порядка 300– 500 К) до 85% при более высоких температурах, для радиационного охлаждения – около 10–15%, потери для конвективного охлаждения составляют менее 1% и являются пренебрежимыми. По отношению к мощности нагрева потери на испарение составляют от 0,1% до 30%, для радиационного охлаждения – около 5%, относительный вклад конвективного охлаждения незначительный.

В четвертой главе представлено обоснование использования процедуры принятия решения в контексте выбора параметров с помощью автоматизированной подсистемы по управлению выбором рациональных режимов, приведена структурная схема интерполятора и его описание, перечислены его основные поля базового класса команды интерполяции. Разработка алгоритма нахождения максимально допустимой скорости на основе опережающего просмотра кадров (Look Ahead), алгоритма опережающего просмотра, а также проверка достоверности результатов.

Для проверки работоспособности предложенной структуры системы управления разработана модель привода координатных перемещений с нелинейными корректирующим устройством (блоком коррекции скорости перемещений в функции ошибки по температуре), представлена на рисунке 9.

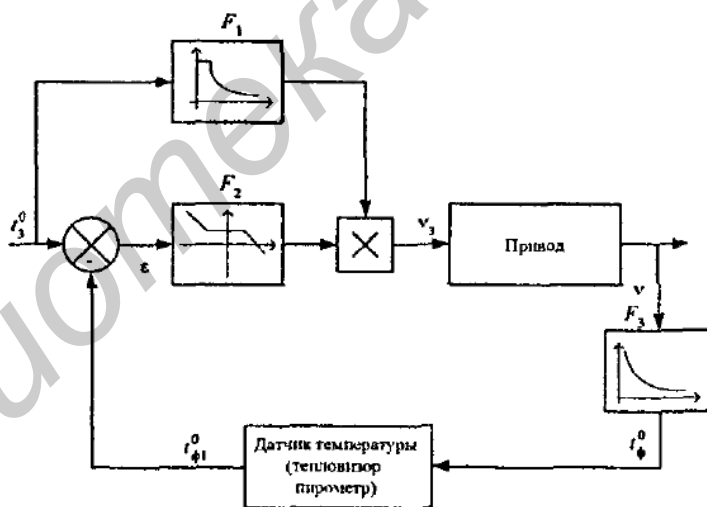


Рисунок 9 – Модель привода с коррекцией скорости перемещений в функции ошибки по температуре

Моделирование выполнено в системе MATLAB 7.1, в блоке задания режимов обработки задаются температуры начального состояния детали и требуемой для процесса резки. В результате моделирования получили следующее: время переходного процесса $t_n = 0,05$ с и коэффициент перерегулирования $\sigma = 2,8\%$, что полностью соответствуют требованиям технологического процесса. В установившемся режиме ошибка регулирования по температуре составила с менее 1%.

Открытость предлагаемой архитектуры системы ЧПУ предполагает возможность добавления в интерполятор поддержки типов траекторий, описываемых широким классом математических методов. Это определяет модульную расширяемую структуру интерполятора. Такая структура должна обеспечивать простую реализацию алгоритмов управления движением и их различных комбинаций при обходе сложных траекторий в пространстве.

Другое важное условие реализации интерполятора – многопоточность. При обработке траектории существует несколько параллельных операций с разным приоритетом:

- обработка пакетов данных пользовательского приложения (преобразование в команды интерполятора). Эта обработка должна происходить независимо от интерполяции и с опережением (то есть транслированные команды должны добавляться в список быстрее их обработки интерполятором);

- интерполяция (вычисление приращений координат за заданный такт времени);

- коммуникация с модулями ввода-вывода. Для каждой из этих операций выделяется отдельный поток, потому что реализация в одном потоке всех операций не позволяет осуществлять буферизацию данных, что необходимо для обеспечения бесперебойного управления в режиме реального времени. Потоки управляются диспетчером. Предлагаемая структура интерполятора показана на рисунке 10.

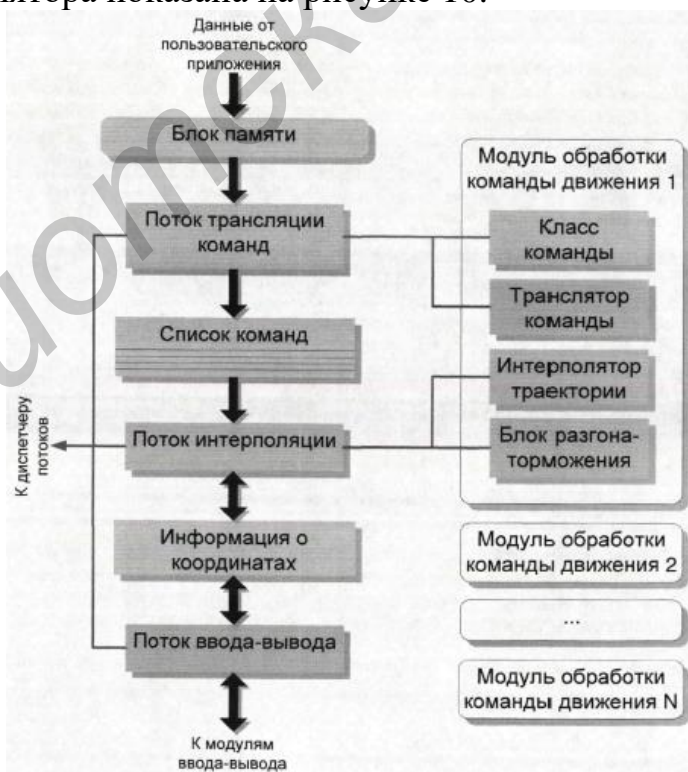


Рисунок 10 – Структурная схема интерполятора

Каждая фаза расчета параметров движения закреплена за отдельным блоком подключаемого модуля обработки. Такая схема позволяет

реализовать решение специфических задач управления движением благодаря полной открытости интерполятора.

Задача адаптации геометрической задачи для импульсной лазерной обработки требует особого подхода к реализации алгоритма разгона и торможения. Алгоритм должен обеспечивать не только заданные скорости и ускорения, но и заданное время прохождения пути. Только в этом случае появится возможность использовать для лазерных технологических систем методы повышения производительности.

Путь в кадре должен быть пройден за целое количество рабочих тактов. Таким образом, в кинематических уравнениях возникают целочисленные переменные, не позволяющие найти точного аналитического решения. Таким образом, погрешность вычисления пути приведет к тому, что в конце перемещения возникнет несовпадение либо заданной и достигнутой точки, либо заданной и фактической скорости.

$$S = \frac{(V_s + V_f - A)(V_s + V_f)}{2A}, \quad (1)$$

где S – путь;

A – ускорение;

V_s – начальная скорость;

V_f – конечная скорость.

В связи с указанными проблемами в системах ЧПУ часто применяется простейший способ – разгон "от нуля до нуля", то есть когда движение в каждом кадре начинается с нулевой скорости и заканчивается нулевой. В этом случае нет необходимости в расчете графика разгона/торможения. Требуется просто монотонно увеличивать скорость в каждом такте и следить за соотношением между тормозным путем и оставшейся длиной кадра. При достижении точки, в которой оставшийся до конца кадра путь сравняется с путем, необходимым для полного торможения начинается монотонное торможение до нуля.

Назначение алгоритма опережающего просмотра Look-ahead заключается в таком регулировании подачи, которое обеспечивает максимально возможную скорость между кадрами и внутри кадров в каждый момент времени- при соблюдении ограничений на ускорение и по осям и заданных параметров точности. С этой целью просматривается буфер подготовленных кадров с конца. При этом принимается, что в последнем кадре конечная скорость по всем осям должна быть равна нулю. При просмотре последовательно находится максимально допустимая конечная скорость для каждого кадра и, в том числе, текущего кадра, что и является целью алгоритма. В свою очередь, алгоритм разгона/торможения внутри кадра обеспечивает необходимую контурную скорость и достижение заданной конечной скорости. На рисунке 11 представлена обобщенная схема работы алгоритма Look-Ahead.

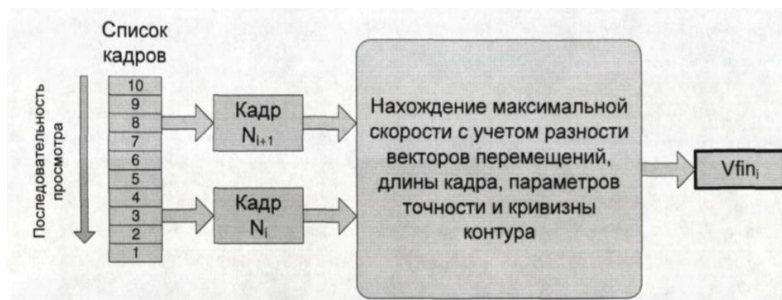


Рисунок 11 – Схема работы алгоритма опережающего просмотра

Проведен расчет, где вычислялась разность между направляющими векторами перемещений в конце текущего кадра и начале следующего. Найденная при соблюдении приведенных условий максимальная конечная скорость используется модулем разгона-торможения для вычисления графика скорости и приращения пути при интерполяции.

Основная проблема стандартного алгоритма разгона и торможения при импульсной точечной обработке заключается в необходимости остановок в обрабатываемых точках. Следовательно, усовершенствованный 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, что путь между двумя рабочими точками должен быть пройден за время, определяемое номинальной частотой импульсов и ее допустимой погрешностью. При этом импульсы лампы накачки задаются системой ЧПУ, а не тактовым генератором лазера.

Рассмотрим схему, которая отражает сопряжение алгоритма опережающего просмотра и алгоритм поиска оптимальных параметров движения в блоке разгона и торможения, которая представлена на рисунке 12.



Рисунок 12 – Схема работы блока разгона и торможения

Начальный и конечный результат коррекции графика разгона/торможения проиллюстрирован на рисунке 13.

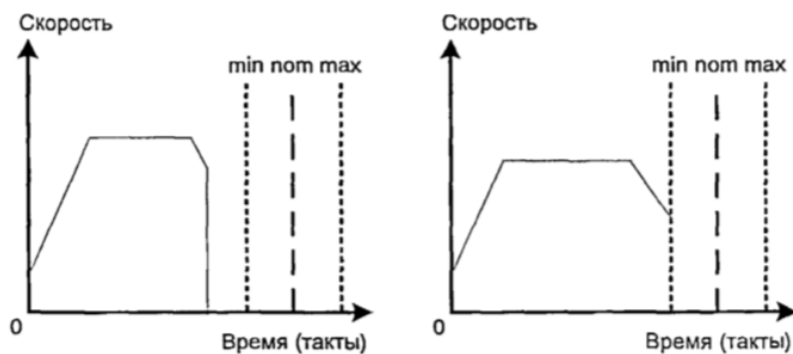


Рисунок 13 – Изменение графика скорости при синхронизации с лазером

Такой алгоритм дает возможность сократить время обхода траектории, так как коррекция скорости позволяет достичь рабочей точки точно ко времени ближайшего импульса лазера. Сочетание Алгоритма Look ahead и алгоритма подстройки под частоту лазера позволяет получить оптимальный скоростной режим. Используемые параметры, такие как частота лазера и ее допустимая погрешность, максимальные ускорения по осям, могут легко настраиваться наладчиком станка, что позволяет экспериментально находить оптимальное соотношение производительности и качества обработки.

Оценка влияния разработанных алгоритмов на эффективность импульсной низкочастотной обработки была проведена на станках лазерной графики в прозрачных средах фирмы Guangdong Han's Yueming Laser Group Co. Один из вариантов тестового изделия показан на рисунке 14. Управляющая программа состоит из 1200 точек.

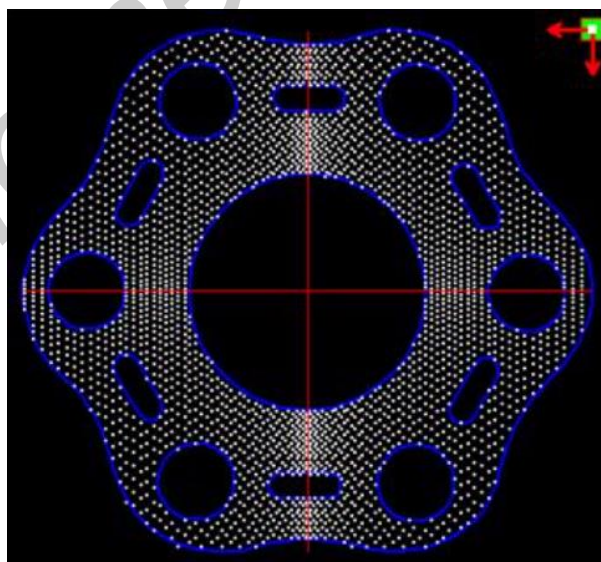


Рисунок 14 – Проекция тестового изделия в плоскости

Расстояние между обрабатываемыми точками составляет 100–150 мкм, что не позволяет станку при старте с нулевой скорости достичь номинального значения подачи, как видно из выражения:

$$S = \frac{At^2}{2} = \frac{A\left(\frac{F}{A}\right)^2}{2} = \frac{0.3\left(\frac{0.03}{0.3}\right)^2}{2} = 0.0015\text{ м} = 1500 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где S – путь, необходимый для разгона до номинальной подачи;
 A – номинальное ускорение;
 F – подача;
 t – время.

Таким образом, путь разгона в 10 раз больше типичного расстояния между точками. Отсюда следует, что график изменения скорости в кадре имеет вид равнобедренного треугольника. Исходя из этого, найдём время t , требуемое для прохождения половины кадра:

$$S = 2 \times \frac{At^2}{2}, \text{ откуда } t = \sqrt{\frac{S}{A}} = \sqrt{\frac{0.00015}{0.3}} \approx 0.02 \text{ с} \quad (3)$$

Отсюда следует, что полное время прохождения кадра приблизительно равно 40 мс. В то же время, период импульсов, соответствующий номинальной частоте 40 Гц, равен 25 мс.

Таким образом, среднее время прохождения кадра при отсутствии синхронизации движения с излучением составляет 2 периода импульсов лазера с учетом того, что после останова станок находится в состоянии ожидания очередного импульса время, равное $25 \times 2 - 40 = 10$ мс.

Номинальное значение подачи позволяет пройти кадр за время, заведомо меньшее одного периода излучения, если скорость в кадре поддерживается постоянной:

$$S = Ft, \text{ откуда } t = \frac{S}{F} = \frac{0.00015}{0.03} \approx 0.005 \text{ с} \quad (4)$$

Таким образом, использование алгоритма опережающего просмотра, обеспечивающего проход точек без торможения за счет синхронизации движения с излучением, теоретически может дать значительный прирост производительности (вплоть до двукратного на длинных прямых участках для лазерного станка с указанными выше характеристиками).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установленные взаимосвязи между аппаратными и программными компонентами лазерных станков с ЧПУ позволили выделить совокупность общих модулей, необходимых для построения базовой системы – ЧПУ для широкого класса лазерного технологического оборудования. Благодаря чему, в работе решена задача, имеющая существенное значение для машиностроения, заключающаяся в разработке метода обеспечения гибкости систем ЧПУ лазерным технологическим оборудованием на основе обобщенного модульного архитектурного решения, позволяющего компоновать и расширять систему управления для конкретных технологических задач.

Результаты работы:

- разработанная методика компоновки системы управления для задач лазерной обработки на основе предложенного единого архитектурного решения позволяет сократить время и себестоимость процесса разработки систем управления для лазерных станков;

- повышение автоматизации за счет доработки структурной схемы автоматизированной подготовки программ управления элементами технологического модуля лазерного комплекса за счет управления подачей и выводом материала, наличие базы данных параметров и наличие функции для ускорения рабочих процессов;

- оптимизация технологических процессов лазерной обработки, за счет проведения расчета температурных полей при воздействии лазерного излучения на полупрозрачные среды и материалы, и было найдено соотношение скоростей перемещения лазера и мощности его воздействия для выполнения требуемых температурных режимов;

- разработаны алгоритмы нахождения максимально допустимой скорости на основе опережающего просмотра кадров (Look Ahead) и опережающего просмотра кадров, что привело к сокращению времени обработки изделий на 30–40% на станках с приводами подач по сравнению с использованием алгоритмов, не учитывающих синхронизацию движения с импульсами лазера.

Вследствие чего цель данного исследования была достигнута: повышение эффективности процесса разработки систем ЧПУ лазерного технологического оборудования на основе модульной организации архитектуры, обеспечивающей гибкость системы управления, сокращения времени обработки изделий низкочастотным импульсным лазерным излучением (по сравнению с обработкой на системах, не реализующих синхронизацию движения с импульсами).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- [1] Недабой Т.Д., Шахлевич Г.М. Аппаратное и программное обеспечение систем управления режимами лазерной обработки // Пятая Международная научно-практическая конференция «BIG DATA and Advanced Analytics. BIG DATA и анализ высокого уровня», Минск, Республика Беларусь, 13-14 марта 2019 года– БГУИР, 2019. – С. 263–266.
- [2] Шахлевич Г. М., Недабой Т. Д. Повышение эффективности системы управления режимами лазерной обработки // Материалы 12-я Международная научно-техническая конференция «Приборостроение – 2019», Минск, 17 апреля 2019 года– БНТУ, 2019. – С. 54–55.
- [3] Недабой Т. Д., Шахлевич Г. М. Система управления технологическим процессом лазерной обработки // Научно-техническая конференция при БНТУ, Минск, 15 ноября 2019 г.– БНТУ, 2019. – С. 33–34.
- [4] Шахлевич Г.М., Недабой Т.Д. Установка послыйного синтеза // 9-я Республиканская научная конференция студентов, магистрантов и аспирантов, Минск. – БГУИР, 2020.