

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Хрульков Владимир Николаевич

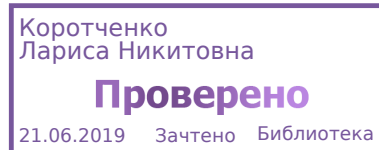
**Разработка информационного и алгоритмического обеспечения
системы управления процессом роботизированной сварки**

Направление подготовки

27.04.04 «Управление в технических системах»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2019



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Научный руководитель

кандидат технических наук,
доцент Сухоруков Сергей Иванович

Рецензент

кандидат физико-математических наук,
исполняющий обязанности заведующего
кафедрой «Информационной безопасности,
информационных систем и физики»
Анисимов Антон Николаевич

Защита состоится «20» июня 2019 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 27.04.04 «Управление в технических системах» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 207/3.

Автореферат разослан 07 июня 2019 г.

Секретарь ГЭК

В.П. Егорова

Диссертация посвящена разработке информационного и алгоритмического обеспечения системы управления процессом роботизированной сварки.

Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников, который включает в себя 50 наименования и трех приложений. В работе присутствует 48 рисунков и 16 таблиц. Диссертация представлена на 83 страницах.

В первой главе рассмотрен вопрос области применения роботизированной лазерной сварки и ее преимущества по отношению к другим автоматизированным системам лазерной сварки. Так же были определены контролируемые параметры и составлены таблицы с параметрами сварки для нержавеющей стали и алюминия.

Во второй главе были определены основные элементы системы управления их функционал и назначение. Была составлена структура роботизированного комплекса и разработана система безопасности от лазерного излучения.

В третьей главе было определено основное программное обеспечение для функционирования системы управления и составлена структура взаимодействия программного обеспечения роботизированного комплекса. Были составлены алгоритмы работы программ на ПЛК и панели оператора. Была разработана СППР для упрощения определения параметров сварки.

В четвертой главе было произведено моделирование процесса сварки для подбора параметров сварки. Был разработан интерфейс для более удобной работы с моделью.

В пятой главе представлено технико-экономическое обоснование разрабатываемой системы. Предложенный роботизированный комплекс лазерной сварки является экономически выгодным, дающей возможность быстро и качественно изготавливать трубопровод авиационного назначения сложной конфигурации.

Для решения цели работы необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор и анализ существующего технологического оборудования для реализации роботизированной лазерной сварки;
- провести анализ требований к технологическому процессу лазерной сварки;
- определить функциональное назначение основного технологического оборудования и основные взаимосвязи между элементами;
- разработать систему безопасности комплекса лазерной сварки;
- разработать схему подключения лазера к промышленному контроллеру;
- разработать структуру программного обеспечения роботизированного комплекса;
- разработать алгоритмы работы программы на ПЛК и панели;
- построить математическую модель и модель в среде MatLab;
- выполнить технико-экономическое обоснование.

Основное содержание работы базируется на решении поставленных задач.

Объект исследования - система управления роботизированной лазерной сваркой.

Предмет исследования - пути и методы разработки технологии управления роботизированным комплексом и технико-экономическое обоснование ее эффективности.

Методы исследований. Для решения поставленной задачи применялись методы методов математического моделирования и методы компьютерного моделирования.

Научная новизна. Диссертационная работа раскрывает алгоритмы управления роботизированным комплексом лазерной сварки и взаимодействие программного обеспечения. Разработанная система поддержки принятия решений выбора параметров сварки для оператора наглядно демонстрирует генерацию параметров. Рассчитанная математическая модель позволяет контролировать расплавление металла.

Апробация работы. Результаты и положения, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на ежегодной научно-технической конференции студентов и аспирантов КнАГУ (г. Комсомольск-на-Амуре, апрель 2018 г.), II всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Комсомольск-на-Амуре, 10 апреля 2019 г.).

По теме диссертации опубликованы 2 статьи:

1 Хрульков, В. Н. Разработка системы поддержки принятия решений для роботизированной лазерной сварки / В. Н. Хрульков, С. И. Сухоруков, Д. О. Савельев // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 29.09.2017г., С. 174 – 180.

2 Хрульков, В. Н. Разработка структуры программно-аппаратного комплекса для управления роботизированным комплексом лазерной сварки тонкостенных конструкций / В. Н. Хрульков, С. И. Сухоруков // II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» Комсомольск-на-Амуре, 10.04.2019 г.

Летательные аппараты (ЛА) являются наиболее сложными и совершенными машинами с конструктивной точки зрения – в них присутствует огромное число различных систем и агрегатов, поддерживающих работоспособность всей машины. При этом не малая часть этих систем включает в себя различного рода трубопроводы. К наиболее важным и жизненно-необходимым системам ЛА, включающим в себя различного рода и конфигурации трубопроводные системы, можно отнести: топливную систему; гидро- и пневмосистемы; масляную систему; систему пожаротушения; систему очистки и кондиционирования воздуха.

Практически все трубопроводные системы (ТПС) ЛА металлические и сварные. В условиях филиала ПАО «Компания “Сухой” “КнААЗ им. Ю.А. Гагарина”» ежедневно производится сварка элементов ТПС как из алюминиевых и титановых сплавов, так и из нержавеющей сталей. Отличительными

особенностями ЭТПС ЛА являются небольшая толщина (0,8-1,5 мм) и довольно небольшие диаметры (12-60 мм), сложная трехмерная геометрия, поэтому преобладающим способом их соединения выбрана ручная аргодуговая сварка неплавящимся вольфрамовым электродом с присадкой, где стоит учитывать, что получение стабильных геометрических характеристик на всей протяженности сварного шва определяется в равной степени режимами сварки и квалификацией сварщика, выполняющего сварные швы. На рисунке 1 представлена статистика дефектов свариваемых трубопроводов за период с 2011 по 2015 гг., в которой оценено 14 425 стыков.

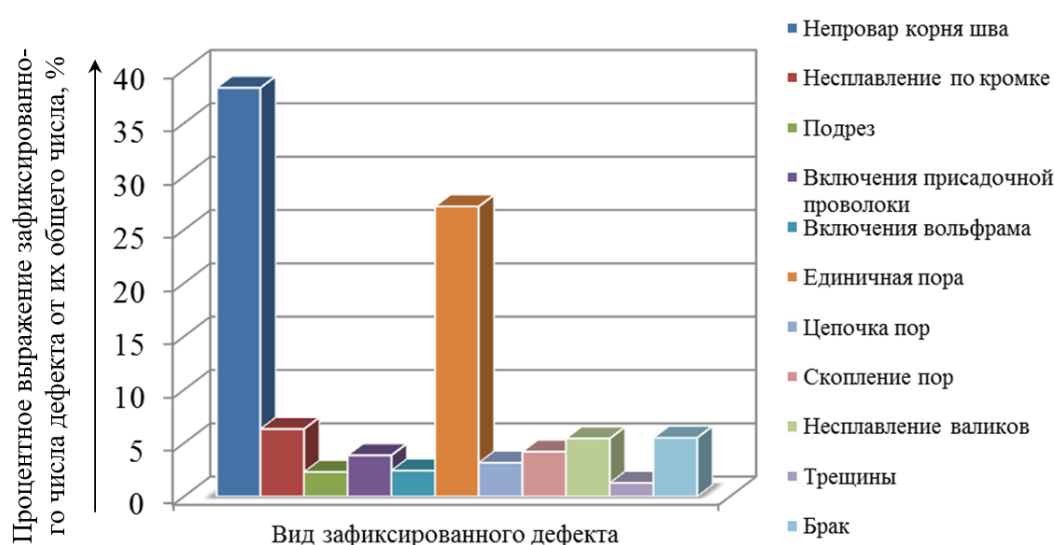


Рисунок 1 – Статистика дефектов стальных нержавеющей сварных авиационных трубопроводов

Так как подавляющее большинство изготавливаемых трубопроводов изготавливается вручную можно утверждать, что:

1. Низкая эффективность при использовании ручной электродуговой сварки;
2. Проблемы с точность изготовления;
3. Высокая вероятность непровара корня шва;
4. Низкая повторяемость результатов.

В машиностроении широко используются различные трубопроводные системы, предназначенные для транспортировки жидкостей и газов внутри того или иного механизма. В частности, в авиационном и судостроении тру-

бопроводные системы занимают значительный объем конечного изделия. Учитывая специфику применения конечных изделий, к используемым в них трубопроводным системам предъявляются следующие требования:

- высокая точность изготовления для обеспечения стыковки с другими элементами конструкции:

- высокое качество соединения отдельных элементов, из которых изготавливается трубопровод для предотвращения аварий и утечек;

- высокая повторяемость результатов при массовом изготовлении однотипных трубопроводов.

Сложность массового изготовления трубопроводных систем авиационного и судостроительного назначения повышается за счет следующих факторов:

- сложность, а зачастую – нерегулярность конфигурации трубопровода (переходы между различными диаметрами, изгибы под большими углами, некруглая форма поперечного сечения и т.д.);

- малая толщина металла, из которого изготавливается трубопровод (от 0,5 до 1,5 мм);

- использование материалов, требующих высокой квалификации персонала (нержавеющие стали, алюминиевые сплавы, титановые сплавы).

Все это приводит к тому, что сегодня трубопроводы сложной конфигурации изготавливают вручную с широким использованием плазов и шаблонов, а также прочей оснастки, предназначенных для изготовления конкретного типа трубопровода. При этом требуется большое количество подготовительных работ при малейших изменениях в конфигурации изготавливаемого трубопровода и ручное производство характеризуется низкой эффективностью и значительным процентом брака. При этом применение различных автоматизированных средств производства, таких как трубогибочные станки с ЧПУ, практически невозможно в связи с вышеперечисленными особенностями изготавливаемой продукции.

Для повышения производительности и эффективности производства трубопроводных систем, снижения доли брака и повышения качества конечных изделий необходима разработка и внедрение автоматизированных комплексов, построенных с учетом вышеперечисленных особенностей и требований к продукту.

В настоящее время на базе Комсомольского-на-Амуре государственного университета ведется разработка роботизированного комплекса лазерной сварки тонкостенных конструкций сложной конфигурации, ориентированного к применению в авиастроительной отрасли.

Разработка данного комплекса направлена на:

1. Повышение качества изготавливаемого изделия;
2. Сокращение операций по подготовке и производству изделия;
3. Удобство управления комплексом через панель оператора, на которой будет удобно выбирать рекомендуемые параметры сварки для различных материалов генерируемой системой поддержки принятия решений (СППР);

Для управления функционированием и синхронизации действий всех элементов разрабатываемого комплекса необходимо построение системы управления верхнего уровня, к которой будут подключены системы управления основного технологического оборудования. Такие системы управления строятся на промышленных программируемых логических контроллерах (ПЛК). В качестве одного из стандартных подходов при интеграции роботов Kuka в технологический комплекс является использование специализированных программных пакетов для взаимодействия с ПЛК по промышленной сети. Такой подход позволяет сильно сократить количество необходимых цифровых и аналоговых входов/выходов при обеспечении широкого набора функциональных возможностей по управлению роботом. У компании Kuka такое решение представлено пакетом mxAutomation, который позволяет организовывать взаимодействие с такими ПЛК как Siemens S7-300, S7-400, S7-1500, AllenBradley, B&R, Schneider-Electric и т.д.

В качестве контроллера для построения системы управления верхнего уровня применяется ПЛК Siemens серии S7-1500. Данный контроллер обладает достаточным быстродействием (время реакции терминал-терминал не превышает 100 мкс) и возможностью подключения необходимого числа модулей расширения. Обмен данными с контроллером робота осуществляется по промышленной сети Profinet.

Интерфейс оператора реализуется на промышленной сенсорной панели SIMATIC TP1200 COMFORT.

Для генерации лазерного излучения и проведения сварки был выбран иттербиевый волоконный лазер ЛС-2 с мощностью излучения 2 кВт производства компании IPG Photonics. Лазерный источник позволяет работать в непрерывном режиме или с модуляцией, с возможностью регулирования выходной мощности от 10 до 100% от номинальной. Основными преимуществами данного лазера являются: высокий КПД (около 30%); небольшие габариты; доставка лазерного излучения до сварочной оптической головки с помощью гибкого оптоволокна. Лазерный источник оснащен встроенным контроллером, подключение которого к внешним системам для управления в режиме реального времени осуществляется через три шины: 64-контактный цифровой разъем Hardwiring, 24-контактный разъем системы безопасности и разъем аналогового управления. Цифровой разъем Hardwiring - внешний интерфейс управления лазера роботом или другими робототехническими устройствами – «Параллельный интерфейс». Интерфейс Hardwiring осуществляет управление запуском программы, запуском лазера, переключение канала оптического переключателя, включение излучения и др. Интерфейс безопасности – обеспечивает блокировки безопасности при работе с лазером. Интерфейс безопасности осуществляет контроль аварийного отключения, состояния излучения, статуса блокировки и др.

Для охлаждения самого генератора лазерного излучения используется чиллер фирмы IPG Photonics, который охлаждает воду и источник излучения. Для управления и диагностики работы чиллера используется «интерфейс

чиллера», который отображает ошибки, состояние, температуру, проводимость воды для внешней оптики и др.

В качестве выходной оптики для осуществления процесса сварки применяется оптическая сварочная головка IPG FLW D30 со встроенным набором датчиков для диагностики состояния ее элементов. Сигналы с датчиков подаются на штатную систему контроля состояния головы, которая генерирует диагностические сигналы для внешней системы управления.

Контроль подачи защитного газа в зону сварочной ванны осуществляется при помощи электропневматического пневмораспределителя. При подаче сигнала управления на пневмораспределитель от контроллера осуществляется подача защитного газа в зависимости от свариваемых материалов (для алюминия: защита верхней и нижней сварочной ванны – гелий (возможно использование аргона для защиты нижней сварочной ванны); для нержавеющей стали: защищать поверхность шва можно гелием или смесью гелия с аргоном в соотношении 2:1). Так же в систему входит датчик давления, который говорит нам о том, что если на первом датчике малое давления или оно отсутствует, то в баллоне мало газа или он пуст.

В систему безопасности роботизированного комплекса входит:

- датчики открытия и закрытия дверей. Они необходимы для того, чтобы робот останавливался, отключил излучение и подачу газа, если при работе откроют двери;
- аварийный выключатель оператора для остановки работы всей системы;
- активная система защиты от прожигания внешнего окружения. В случае если лазерный луч попадает на изолирующий каркас, и начинает его прожигать, то система подает сигнал на контроллер и отключает излучение, подачу газа и останавливает работа.

WHAM - Система контроля состояния сварочной головы (система контроля) NTO IRE-Polus предназначена для использования в сварочных головах серии FLW-DXX. Система контроля генерирует световые сигналы состояния

сварочной головы, будучи связанной с головой посредством 9-ти контактного разъема D-SUB. Дополнительно система контроля снабжена электронным выходом для удобного соединения с системным контроллером посредством 15-ти контактного разъема D-SUB. Система контроля состояния сварочной головы генерирует сигналы о 4-х типах неисправностей сварочной головы: отсутствие защитного стекла, перегрев защитного стекла, загрязнение защитного стекла, перегрев зеркала, готовность сварочной головы, наличие питающего напряжения. В системе контроля предусмотрены два входа: 15-ти контактный (I/O) и 9-ти контактный (HEAD) гнездовые разъемы D-SUB.

Для перемещения лазерной головки в процессе сварки выбран промышленный робот-манипулятор немецкой фирмы Kuka модели KR-60. Это шестиосевой робот с радиусом действия 2033 мм, грузоподъемностью до 60 кг и повторяемостью позиционирования $\pm 0,06$ мм.

Структура системы управления роботизированного комплекса лазерной сварки приведен на рис. 2.

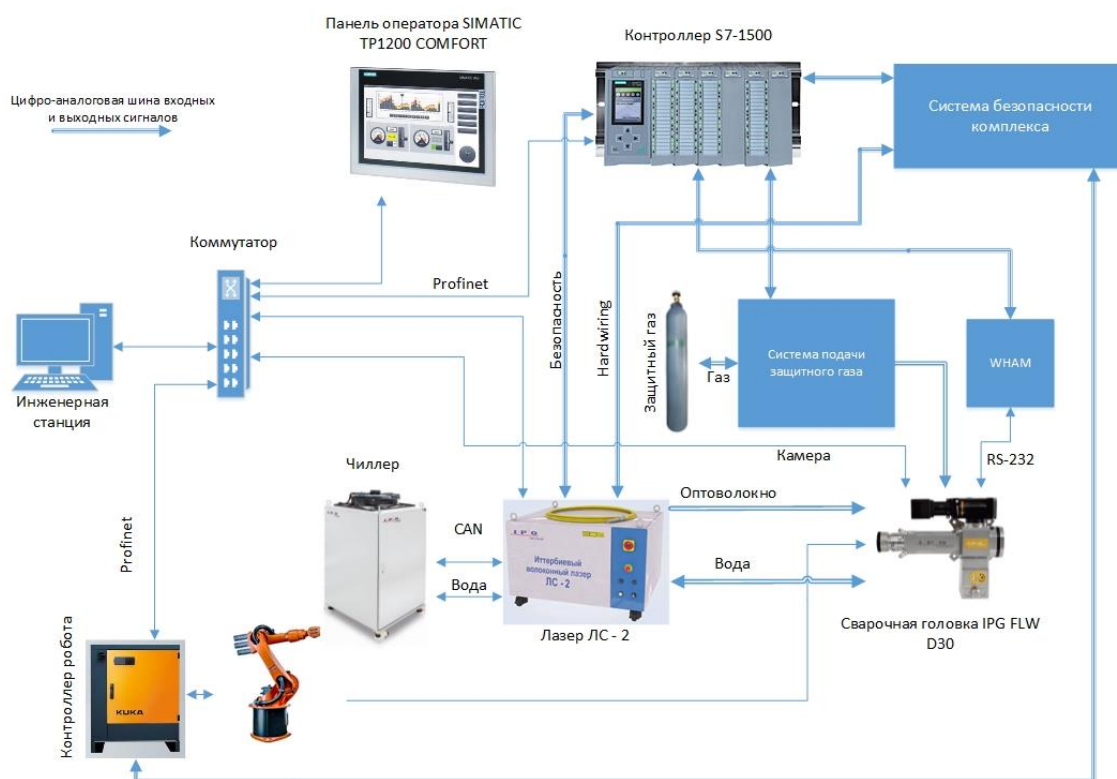


Рисунок 2 – Структура роботизированного комплекса лазерной сварки

В приведенных разделах диссертации были приведены, из каких элементов состоит структура комплекса и какое программное обеспечение необходимо для взаимодействия между ними. Для этого разработаем алгоритм управления роботизированной системы.

Первоначально алгоритм должен проверять состояния готовности всех систем к работе.

Первым делом необходимо проверить состояние работы системы безопасности от лазерного излучения. Если защитное ограждение было повреждено, то систем подает логический сигнал на ПЛК контроллера и запрещает дальнейшую эксплуатацию остальных систем даже если остальные системы полностью исправны.

Далее проверяется состояния готовности работа. С помощью функционального блока библиотеки `mxAutomation KRC_Initialize` инициализирует интерфейс `mxA` на контроллере работа. Если при инициализации произошла ошибка ограничиваем работу дальнейших систем.

После проверки работа проверяется состояние работы лазера. Если на оборудовании лазера появилась ошибка, например, недостаточная или высокая температура воды, перегрев электроники, недостаточный поток воды, вода в лазере, то эксплуатации системы невозможна до устранения ошибок. Эти ошибки можно просмотреть через предоставляемое ПО `LaserNet`.

Далее осуществляется проверка состояния сварочной головки. У сварочной головки, как описывалось выше, имеется блок контроля состояния сварочной головы, который показывает следующие ошибки:

1. Отсутствие защитного стекла;
2. Перегрев защитного стекла;
3. Загрязнение защитного стекла;
4. Перегрев зеркала.

На ПЛК поступает только логический сигнал о неисправности сварочной головки.

Далее проверяется система подачи защитного газа. Если на болоне с газом будет недостаточное давление, определяемое датчиком давления, то запуск сварки будет ограничен.

После проверки всех систем на панель оператора выводится информация, что комплекс исправен или эксплуатация комплекса ограничена до устранения неисправностей.



Рисунок 5 - Алгоритм проверки систем на состояние готовности

На панели оператора находится своя собственная программа, которая осуществляет работу интерфейса, СППР и обработки программы для выполнения сварки.

Рассмотрим два основных варианта загрузки и обработки программы для выполнения лазерной сварки.

Вариант 1.

Оператор подключает в панель оператора USB – накопитель, на которой загружен файл, в заголовке которого указано, что режим сварки необходимо брать из настроек панели оператора.

Вариант 2.

Оператор подключает в панель оператора USB – накопитель, на которой загружен файл, в заголовке которого указано, что моменты включения и выключения лазера, конкретные режимы работы лазера, координаты перемещения команды при которых должна работать система необходимо брать из самого файла, а не из настроек панели оператора.

Принцип работы.

Оператор вызывает меню настройки режимов работы лазера, вызывает меню настройки СППР для предварительного расчета возможных режимов сварки. Через это меню настраивает параметры и сохраняет эти режимы. Это фиксируется в тегах памяти панели оператора при запуске программы на выполнение. Обработчик на панели оператора читает файл с координатами перемещения, анализирует каждую строку файла и определяет какая именно команда сейчас используется (PTP, LIN, CIRC), т.е. разбивает строку на блок данных, в котором в первой ячейке идет строковая переменная, где указывается какая именно команда. Далее в виде набора переменных передаются координаты, куда необходимо переместиться.

Передача на контроллер осуществляется следующим образом. Программа на панели оператора дожидается момента, когда некоторый бит в памяти контроллера будет установлен в единицу. Этот бит означает то, что контроллер предыдущую команду загруженную в блок памяти отправил на выполнение исполнительного устройства (робот или лазер). После выполнения программа дождалась единицы, записывает туда новую команду и обнуляет бит. Для контроллера это показатель того что это уже новая команда.

Когда к контроллеру, например, от робота приходит сигнал, что предыдущая команда была выполнена и можно выполнять следующую, обработчик берет новую команду, читая, какая именно команда в заголовке и интерпретирует ее, т.е. выбирает конкретную команду на отправку к определенному функциональному блоку. После отправки новой команды роботу выставляется бит в единицу указывающую, что эту команду он уже отправил. Программа на панели оператора видит эту единицу и записывает в блок данных следующую команду и опять обнуляет эту единицу. Контроллер видит, когда ему придет сигнал, что предыдущие команды выполнены, берет следующую команду устанавливает следующим устройством и выставляет единицу, что он уже ее поставил. Так происходит циклически, пока не закончится программа.

Разница со стороны панели оператора.

1 вариант.

Если в настройках файла в заголовке говорилось то, что режимы брать установленные на самой панели тогда когда встречаются команды вкл/выкл лазер, команды в упрощенном виде, панель берет конкретику, т.е. команду вкл лазер в каком режиме, в какой мощности, без модуляции или с модуляцией она отправляет эту команду взяв данные из своей памяти.

2 вариант.

Когда все параметры прописаны в файле. То панель читает все настройки из файла и просто анализирует, раскладывает и загружает на контроллер.

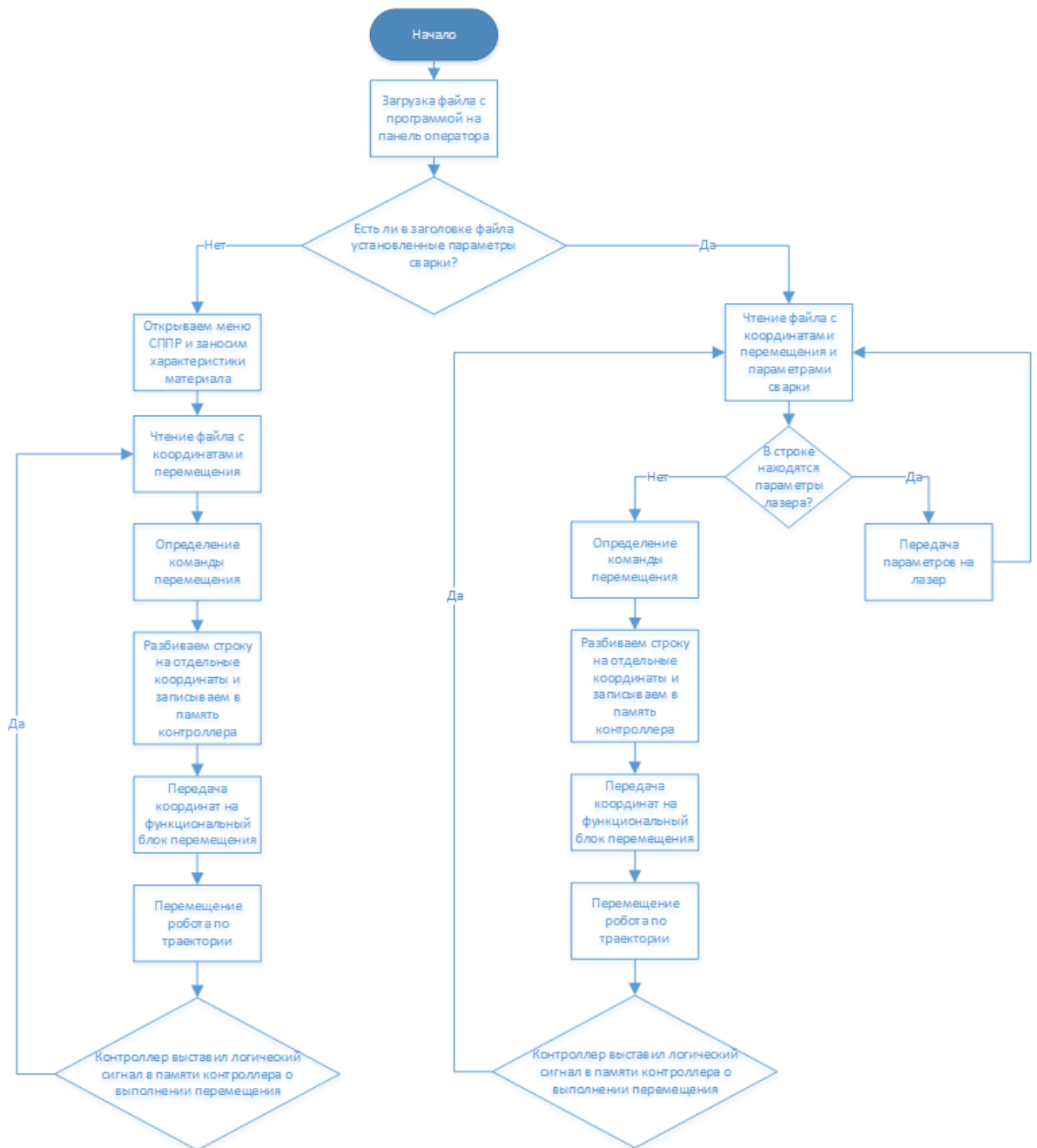


Рисунок 6 – Алгоритм обработки файла с траекторией сварки

Список публикаций

1 Хрульков, В. Н. Разработка системы поддержки принятия решений для роботизированной лазерной сварки / В. Н. Хрульков, С. И. Сухоруков, Д. О. Савельев // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы междунар. науч.-практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 29.09.2017г., С. 174 – 180.

2 Хрульков, В. Н. Разработка структуры программно-аппаратного комплекса для управления роботизированным комплексом лазерной сварки тонкостенных конструкций / В. Н. Хрульков, С. И. Сухоруков // II Всероссийская национальная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований» Комсомольск-на-Амуре, 10.04.2019 г.