

На правах рукописи

Блудов Александр Николаевич

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ
КАТАНИЯ КОЛЁС ГРУЗОВОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими
процессами и производствами (промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Орел – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Чепчуров Михаил Сергеевич

Официальные оппоненты: Вороненко Владимир Павлович
доктор технических наук, профессор,
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Московский
государственный технологический университет
«СТАНКИН», профессор кафедры технологии
машиностроения

Халапян Сергей Юрьевич
кандидат технических наук, доцент
Старооскольский технологический институт им. А.А.
Угарова (филиал) федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Национальный
исследовательский технологический университет
«МИСиС», доцент кафедры «Автоматизированные и
информационные системы управления»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования «Брянский
государственный технический университет»

Защита состоится «7» апреля 2015г. в 13-30 на заседании диссертационного совета Д 212.182.01 при ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, ауд. 212, официальный сайт: www.gu-unpk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК» и на официальном сайте www.gu-unpk.ru

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК»: www.gu-unpk.ru/defence

Автореферат разослан «___» _____ 2015 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета _____ Волков Вадим Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Использование автоматизированного оборудования в ремонтных производствах различных отраслей промышленности – один из путей достижения эффективного функционирования современных экономических структур предприятий.

Крупные промышленные предприятия, в первую очередь горнорудные, имеют в своём составе транспортные железнодорожные подразделения подвижной состав которых подвергается интенсивной эксплуатации в жестких условиях, при этом в первую очередь изнашиваются колёсные пары как тяговых локомотивов, так и грузовых вагонов. В виду высокой стоимости новых колёсных пар предприятия организуют на базе собственных ремонтных подразделений процесс восстановления поверхностей катания колёс железнодорожного (ж/д) транспорта. В настоящее время технология восстановления поверхностей катания колёс подвижного состава ж/д транспорта включает в себя следующие процессы: демонтаж колеса; определение величины дефектов колеса; наплавка изношенной поверхности; восстановление поверхности катания колеса механической обработкой. Все операции выполняются вручную, а механическая обработка – на специальном токарном оборудовании также с применением ручного труда. Использование программного оборудования для выполнения операции механической обработки затруднено в связи с тем, что величина наплавляемого слоя материала изменяется в пределах 1..9 мм и не все участки подвергаются наплавке (чаще всего гребень колеса), что создаёт определённые трудности при разработке управляющей программы. Таким образом, она разрабатывается вновь для каждого наплавленного колеса. Разработка технологии программной обработки профиля колеса, при использовании оборудования, оснащённого автоматизированными приводами, позволила бы решить важную и актуальную задачу по повышению эффективности технологических процессов восстановления колёс подвижного состава ж/д транспорта.

Объектом исследования является автоматизированная технологическая система механической обработки колёс подвижного состава ж/д транспорта при использовании оборудования, оснащенного управляемыми приводами.

В качестве **предмета исследования** рассматриваются модели и методы получения профилей колёс ж/д транспорта и алгоритмы управления оборудованием.

Целью исследования является снижение себестоимости восстановления поверхностей катания железнодорожных колёс при условии обеспечения показателей качества путём совершенствования управления технологической системой восстановления профилей катания ж/д колёс. Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **задачи**:

1. Проанализированы современные технологические системы, применяемые в ремонтных производствах железнодорожных предприятий для восстановления колёс подвижного состава.

2. Разработана адаптивная схема управления специального токарного станочного модуля.

3. Разработана математическая модель получения профиля железнодорожного колеса при восстановительной механической обработке.

4. Исследована возможность использования разработанных моделей и алгоритмов управления для получения профилей колёс железнодорожного транспорта.

5. Разработан комплекс программно-аппаратных средств реализации автоматизированной системы управления специальным токарным оборудованием, входящим в состав технологической системы на базе токарного станка для проточки колёс железнодорожного транспорта.

6. Проведён анализ экспериментальных данных и их сравнение с теоретическими расчётами.

Методы исследования. Исследования проводились на основе принципа системно-структурного подхода и комплексного метода исследования, включающего теоретический анализ на основе теории управления и технологии машиностроения, а также экспериментально-теоретических исследований, апробированных в производственных и лабораторных условиях.

Научная новизна работы заключается в:

– разработанной математической модели движения режущего инструмента, основанной на заданном профиле обрабатываемой поверхности с линейной и круговой интерполяцией профиля катания колеса подвижного состава железнодорожного транспорта, отличающейся учётом предварительно рассчитанной скорости перемещения инструмента на каждом участке профиля в зависимости от величины наплавленного припуска и конфигурации участков, в которой целевой функцией является время получения профиля поверхности изделия, а аргументы представляют собой координаты опорных точек участков траектории, радиус интерполяции и назначенную для каждого участка траектории подачу, отражающую перемещение инструмента;

– разработанном алгоритме управления оборудованием на основе предложенной математической модели получения профиля катания колеса, реализованном в системе объектно-ориентированного программирования с прямым доступом к аппаратным ресурсам, и с интерфейсом, включающим в обратные связи видеоинформацию об обрабатываемом участке профиля колеса с учетом величин припуска наплавленного профиля и предварительно рассчитанной скорости для каждого участка.

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертационной работе, достигается за счет соответствия теоретических и экспериментальных исследований.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость заключается в следующем – созданы алгоритмы и программы управления специальным токарным оборудованием для механической обработки поверхностей катания колёс железнодорожного транспорта. Разработаны и реализованы в виде алгоритмов модели генерации

управляющих программ по величине припуска и библиотечному профилю железнодорожного колеса.

Практическая значимость работы:

– разработанные структурные схемы управления приводами оборудования позволяют реализовать специальные программные модули на основе ПК, ПЛК и сервоприводов;

– разработанные алгоритмы реализации библиотеки технологий получения поверхностей катания ж/д колёс позволяют программировать ПЛК для их реализации;

– прибор контроля круглости получаемой поверхности катания позволяет обеспечить качество восстанавливаемых изделий.

Результаты работы внедрены на предприятии ООО «ЛебГОК-РМЗ» (г. Губкин, Белгородской обл.).

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты теоретических и экспериментальных исследований управления оборудованием при восстановлении профиля колеса железнодорожного транспорта.

2. Математическая модель получения профиля колеса железнодорожного транспорта с использованием специального оборудования оснащённого автоматизированными приводами.

3. Алгоритм генерации управляющей программы по величине припуска на основе данных о требуемом профиле.

4. Комплекс аппаратно-программных средств, обеспечивающих управление специальным оборудованием, оснащённым автоматизированными приводами.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на Международной научно-технической конференции молодых ученых СТИ НИТУ МИСиС «Образование, наука, производство, управление» (Старый Оскол, 2010); международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении» (Брянск, 2010).

По теме диссертации опубликовано 12 научных трудов: 5 работ в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, входящих в Перечень ВАК; 5 работ в сборниках международных научно-технических конференций. Получены: один патент и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа изложена на 155 страницах и состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 122 наименований и трёх приложений. Содержит 15 таблиц и 51 рисунок. Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении **гранта: «Проект ПСР № 2011-ПР- 146», договор № А-7/14 от 10.04.2014 г.**

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, определены объект и предмет исследования, научная новизна, методы исследования, обоснована достоверность полученных результатов, определена научная значимость и практическая ценность, реализация работы; приводятся данные об апробации работы, публикациях, структуре и объеме диссертации.

В первой главе проведен анализ требований к точности изготовления колёс подвижного состава железнодорожного транспорта и технологии их восстановления, рассмотрены методы получения профиля катания колёс, особенности автоматизированных технологических систем механической обработки. Проанализированы работы ведущих учёных, занимающихся вопросами восстановления колёс ж/д транспорта, таких как: М.М. Машнев, А.Е. Цикунов, А.Ф. Богданов, И. А. Иванов, Л.А. Шадур, П.С. Анисимов, и организаций, имеющих опыт разработки технологий ремонта подвижного состава ж/д транспорта: *Standard Steel*, *GENERAL ELECTRIC COMPANY*, ВНИИЖТ, ОАО «РЖД», ОАО «Лебединский ГОК». Рассмотрены варианты реализованных систем адаптивного управления оборудованием, разработанные под руководством Б. С. Балакшина, Ю. М. Соломенцева, В. Г. Митрофанова и др.

Выводами первой главы служит заключение о возможности достижения цели исследований на основе имеющихся теорий и опыта в области автоматизированных технологий восстановления колёс ж/д транспорта с использованием оборудования, оснащённого специальными системами управления.

Во второй главе предложен вариант модернизации специального оборудования для обточки колёс ж/д транспорта (рисунок 1), отличающегося наличием устройства ввода изображения (УВИ).

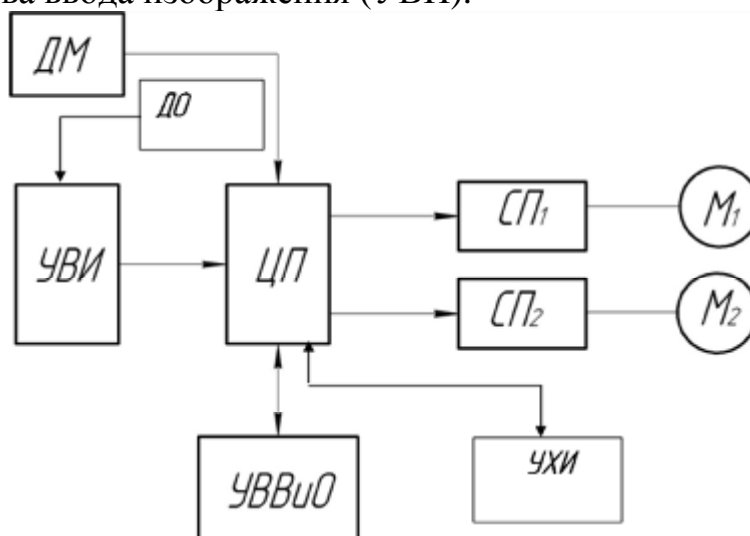


Рисунок 1. Схема адаптивной системы управления станком для проточки колес ж/д транспорта

Для реализации метода получения изображения «реального» профиля наплавленного колеса автором разработан алгоритм обработки изображения и алгоритм управления оборудованием, представленный на рисунке 2.

На основе данных о профиле колеса по ГОСТ 10791-2011 получена модель его формирования и условия целевой функции скорости съема припуска, мм/мин:

$$V = f(T_{\sigma}, R_i, X, Z), \quad (1)$$

Полученное исходное выражение для определения времени съема припуска с учетом того, что скорость съема припуска выражена минутной подачей (мм/мин):

$$T_{\sigma} = I \times \sum_{i=1}^n \frac{z_i + z_{i-1}}{S_i} + \Sigma T_{x.x.} \rightarrow \min, \text{ мин.} \quad (2)$$

В результате теоретических исследований получена модель:

$$T_{\sigma} = \sum_{j=1}^I (T_{0j} + T_{ej} + \sum_{i=1}^{e+1} \frac{z_i - z_{i-1}}{S_i}) + (\frac{x_{01} - x_{e+1}}{S_{\text{уск}}} + \frac{|z_{01}| - |z_{02}|}{S_{\text{уск}}} + \frac{x_{03} - x_{0-1}}{S_{\text{уск}}}) \cdot (I - 1), \text{ мин.} \quad (3)$$

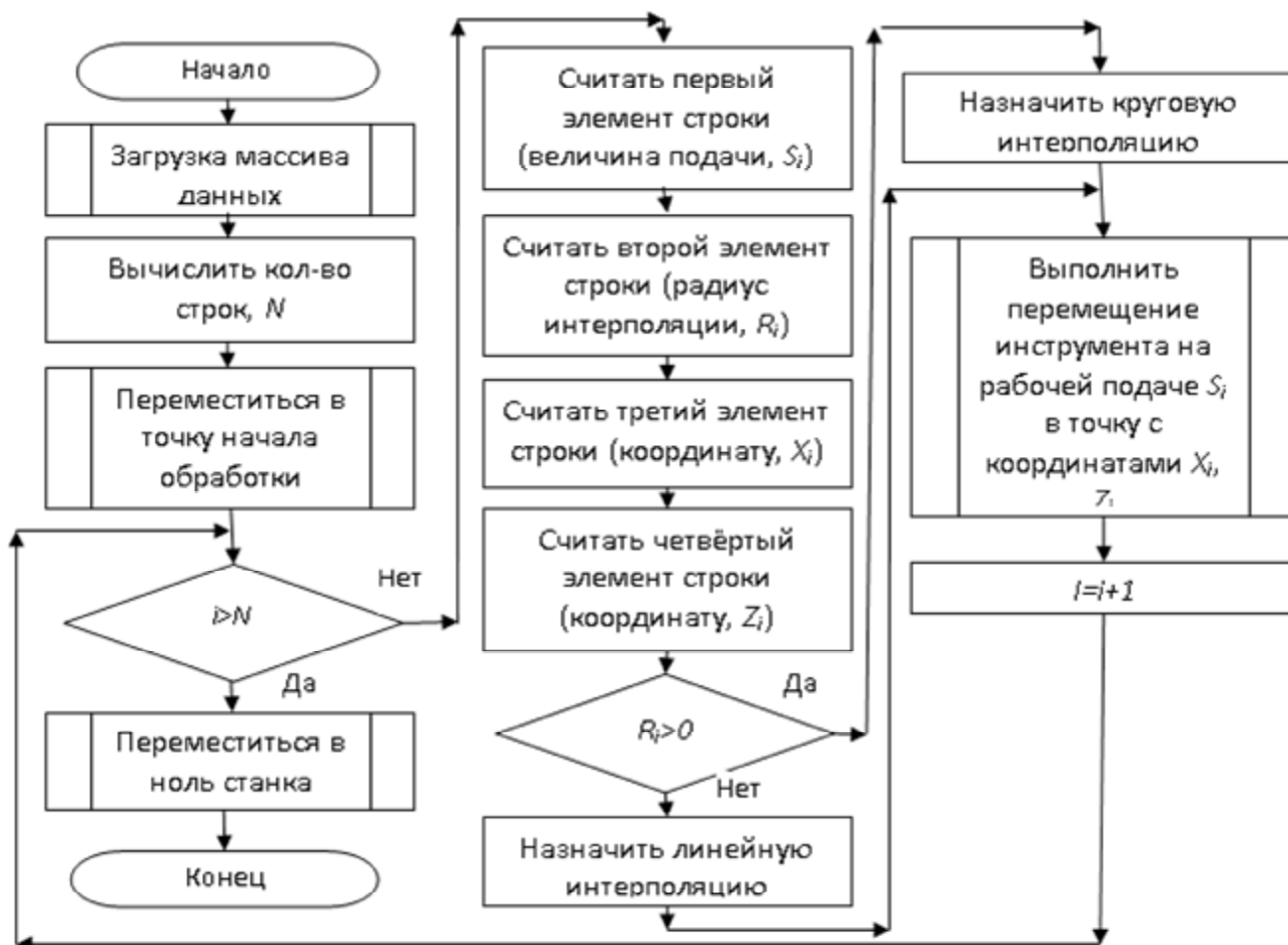


Рисунок 2. Блок схема алгоритма управления оборудованием

Ускоренная подача позволила получить алгоритм генерации управляющей программы, приведенный на рисунке 3.

Особенностью метода, реализованного в алгоритме формирования траектории движения инструмента, является предлагаемая автором технология

прохода с повышенной подачей тех участков траектории, на которых уже снят припуск.

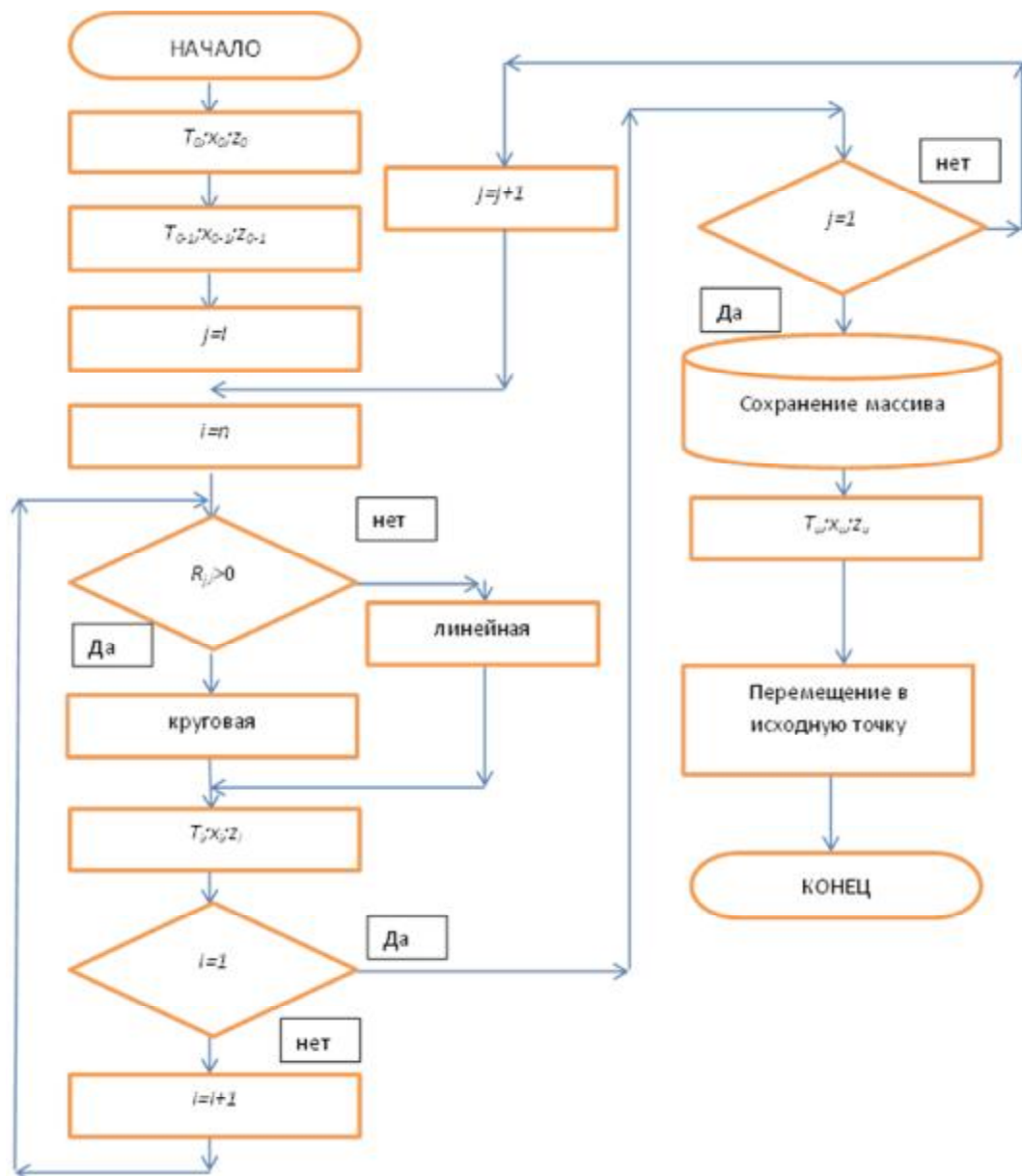


Рисунок 3. Блок-схема алгоритма процедуры генерации управляющей программы

Формирование управляющей программы происходит условно построчно, аналогично *ISO 7bit*, но в отличие от него команды представляются не семантически, а своим положением в строке. Строка будет выглядеть следующим образом:

Подача	Интерполяция	Координата x	Координата z
--------	--------------	----------------	----------------

Поскольку в библиотеке присутствуют участки траектории в виде профиля, то задавать направление интерполяции не стоит, а следует всегда держать это значение в памяти, в противном случае появляется блок строки, задающей направление круговой интерполяции.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований по проверке модели получения профиля колеса ж/д транспорта.

Для проведения виртуального эксперимента была разработана программа получения профиля колеса в G-кодах:

%

G21* Метрическая система

G54Z50* Установить начальную позицию инструмента

G94* Подача в мм/мин

G18T1* Установить плоскость интерполяции X Z, выбрать 1-й инструмент

G96S0003M03* Установить работу с постоянной скоростью, установить частоту вращения шпинделя 3 об/мин, включить шпиндель

G00X600* Быстрое перемещение

G00Z39* Быстрое перемещение

G00X442* Быстрое перемещение в точку начала обработки

G01X444.249Z6.98F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин подвод инструмента

G01X478.498F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 1

G03X506.901Z-0.321R58.9F1* Круговая интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 2

G03X520.57Z-23.449R26.4F1* Круговая интерполяция с подачей 1 мм/мин в точку 3

G03X507.357Z-46.32R26.4F1* Круговая интерполяция с подачей 1 мм/мин в точку 4

G01X492.921Z-54.643F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин

G03X492.37Z-55.594R1.1F1* Круговая интерполяция с подачей 1 мм/мин в точку

G01X492.368Z-56.945F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 6

G01X492.356Z-77.845F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 7

G01X488.112Z-109.754F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 8

G01X479.97Z-138.136F2* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 9

G01X467.27Z-150.82F5* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин в точку 10

G01X443.803F1* Линейная интерполяция с подачей 2 мм/мин (отвод инструмента

M30* Конец программы

Виртуальная проверка показала, что при увеличении скорости рабочей подачи до 10 мм/мин и более происходит искажение получаемой поверхности ввиду сложности выполнения круговой интерполяции (рисунок 4).

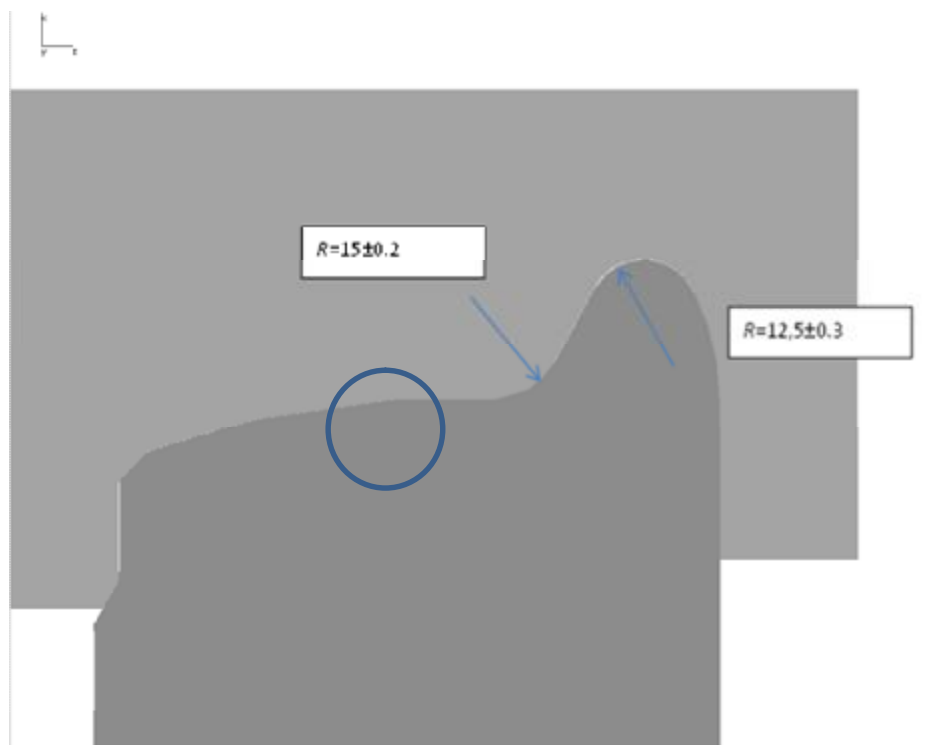


Рисунок 4. Отклонения профиля колеса

График изменения времени обработки при различных комбинациях подач представлен на рисунке 5.

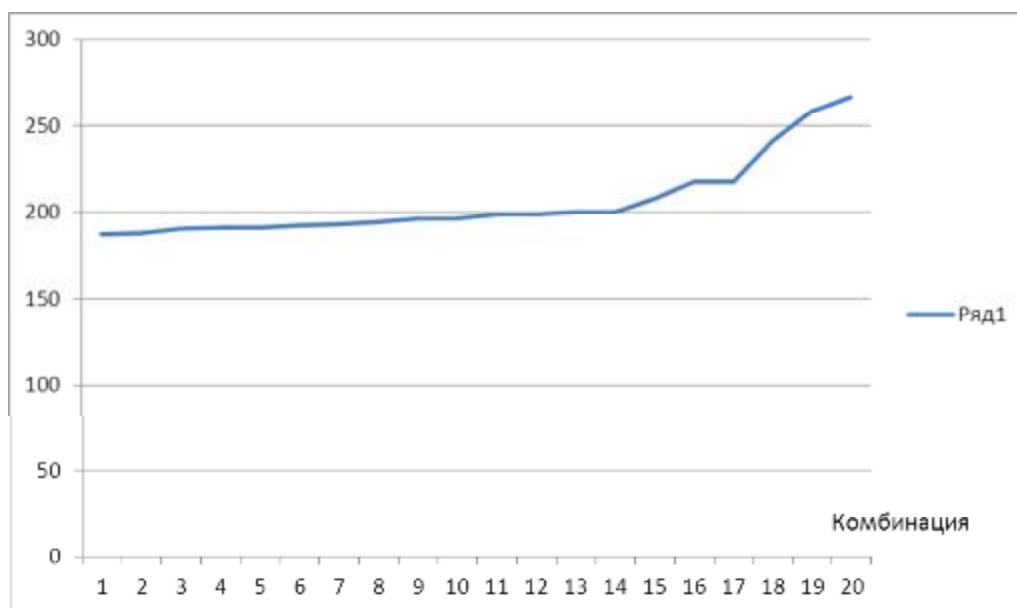


Рисунок 5. Время обработки для различных комбинаций подач

При комбинации подачи прохождения участков с круговой интерполяцией с максимальным рекомендуемым производителем инструмента значением – 1.5 мм/мин, и подачах на других участках с линейной интерполяцией – 2 мм/мин, возможно достижение времени обработки в 147 мин.

Исследование износа режущей пластины *RPUX 2709MO-B* диаметром 28,7 мм показало возможность её повторного использования после перезаточки до диаметра 28 мм. Графики износа режущей пластины представлены на рисунке 6

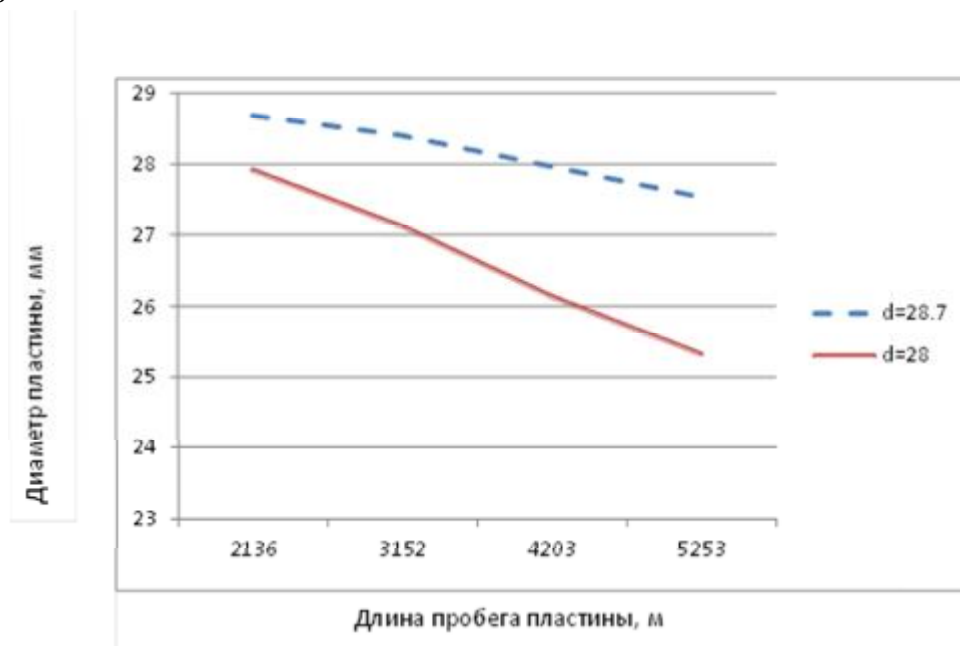


Рисунок 6. Износ режущей пластины

При моделировании пути, пройденного режущей пластиной, выполнялись аналитические расчеты, исходя из следующего условия: диаметр катания восстанавливаемого колеса составляет $D=957$ мм, следовательно радиус катания – $R=478.5$ мм. Каждой точке профиля X_i будет соответствовать своя точка Y_i при $\Delta X=S_{об}$, в этом случае расчет длины пути составляет:

$$L = \sum_{i=0}^{\left\lfloor \frac{L_{пп}}{S_{об}} \right\rfloor} (\pi \cdot 2 \cdot Y_i) / 1000 \text{ м}, \quad (4)$$

Виртуальное моделирование обработки позволило выявить отсутствие влияния износа инструмента менее 0,2 мм на точность получаемого профиля.

Экспериментальные исследования позволили выявить точки траектории, в которых производится включение корректора инструмента.

В четвертой главе дана оценка времени выполнения съёма припуска по предлагаемой автором модели.

С целью определения целесообразности выполнения модернизации оборудования проведен экономический анализ предлагаемых технических мероприятий, в результате которого доказано, что затраты, вложенные в дополнительное аппаратное и программное обеспечение оборудования, окупаются в течение 1 года.

Оценка точности получаемого профиля колеса, обработанного по сгенерированной в соответствии с предложенным автором алгоритмом программе, показала, что отклонения контура профиля колеса не превышали значений, указанных в стандарте ГОСТ 10791-2011, и составляли не более 0,1 мм.

Оценка круглости профиля катания колеса, выполненная с использованием прибора, предложенного автором [6], доказала возможность его применения как устройства оперативной диагностики.

По результатам экспериментальных исследований модель процесса съема припуска, предложенная в главе 2, была откорректирована с целью полного отражения состояния технологической системы при съеме припуска:

$$T_{\sigma} = \sum_{j=1}^I \left(T_{0j} + T_{ej} + \sum_{i=1}^{e+1} \left(\frac{\sqrt{(|z_i| - |z_{i-1}|)^2 + (|x_i| - |x_{i-1}|)^2}}{S_i} \cdot (1 - |Interp_i|) + \frac{\sin^{-1} \left(R \sqrt{\frac{(|z_i| - |z_{i-1}|)^2 + (|x_i| - |x_{i-1}|)^2}{2}} \right)}{360} \cdot |Interp_i| \right) + \left(\frac{x_{01} - x_{e+1}}{S_{yск}} + \frac{|z_{01}| - |z_{02}|}{S_{yск}} + \frac{x_{03} - x_{0-1}}{S_{yск}} \right) \cdot (I - 1) \right) \quad (5)$$

Эта модель послужила основой для разработки специального программного обеспечения по генерации управляющей программы и управления специальным оборудованием. Интерфейс этой программы изображен на рисунке 7.

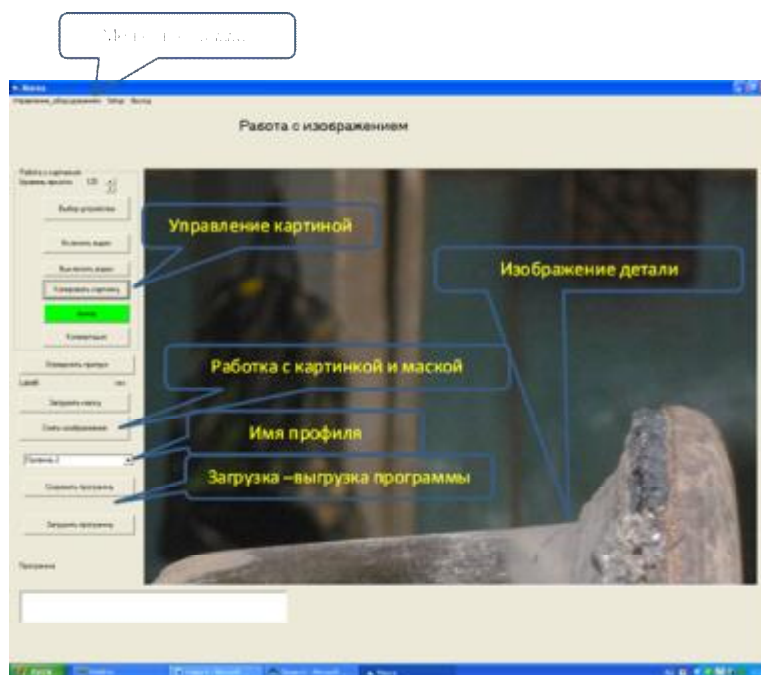


Рисунок 7. Главное окно программы

Работа программы основана на конвертации полученного от видеоустройства изображения в монохромное с привязкой его к профилю колеса, имеющемуся в библиотеке, а затем вычислению величины припуска и генерации управляющей программы.

Сравнительный анализ используемой в настоящее время и предлагаемой технологии восстановления поверхностей катания колеса ж/д транспорта показал, что затраты по предлагаемой автором технологии ниже, чем традиционной, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Оценка стоимости восстановления колеса при механической обработке

Статья затрат	Стоимость обработки одной единицы, руб.		
	С однокоординатной интерполяцией	С двух координатной интерполяцией	Ручное выполнение обработки
Основные и вспомогательные материалы	4650,00	4650,00	4650,00
Основная З.П.	980,19	642,30	2400,00
Дополнительная З.П.	98,02	64,23	240,00
Отчисления на с/с	394,63	258,59	966,24
Накладные расходы	918,43	842,27	1238,44
ИТОГО:	7041,27	6457,38	9494,68
Годовая программа обработки, шт.	82	82	82
Стоимость обработки годовой программы, руб.	577 383,92р.	529 504,78р.	778 563,43р.

Практическая реализация мероприятий по совершенствованию технологии восстановления поверхностей катания колеса ж/д транспорта привела автора к заключению о необходимости создания специального автоматизированного модуля, схема которого приведена на рисунке 8.

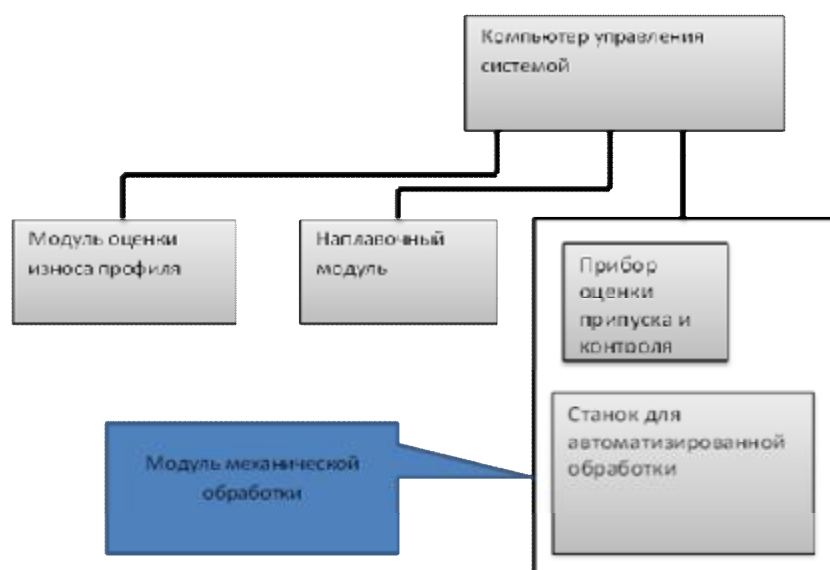


Рисунок 8. Предлагаемая схема автоматизированной системы восстановления колес ж/д транспорта

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. Разработана математическая модель движения режущего инструмента, основанная на заданном профиле обрабатываемой поверхности с линейной и круговой интерполяцией профиля катания колеса подвижного состава железнодорожного транспорта, отличающаяся учетом скорости перемещения инструмента на каждом участке профиля в зависимости от величины наплавленного припуска и конфигурации участков, в которой целевой функцией является время получения профиля поверхности изделия, а аргументы представляют собой координаты опорных точек участков траектории, радиус интерполяции и назначенную для каждого участка траектории подачу, отражающую перемещение инструмента.

2. Разработан алгоритм управления движением режущего инструмента на основе предложенной математической модели получения профиля катания колеса и генерации управляющей программы, реализованной в системе объектно-ориентированного программирования с прямым доступом к аппаратным ресурсам и с интерфейсом, включающим в обратные связи видеоинформацию об обрабатываемом участке профиля колеса.

3. Предложенный способ определения фактической глубины резания путём сравнения пиксельного изображения наплавленного профиля с его библиотечным изображением позволяет повысить точность управляемого процесса обработки в два раза.

4. Реализованный алгоритм генерации управляющей программы непосредственно в командах приводов оборудования позволяет полностью исключить в подготовке технологического процесса восстановления колёс ж/д транспорта процедуру разработки управляющей программы.

5. Установлено, что получение профиля катания на повышенных подачах возможно при прохождении участков с линейной интерполяцией со скоростью не более 5 мм/мин., с круговой интерполяцией – не более 2 мм/мин, что требует создания определённых ограничений в алгоритме программы, реализующей управление оборудованием.

6. В результате экспериментальных исследований в генерируемой программе найдены точки, определяющие включение корректора, и позволяющие при той же стойкости инструмента дополнительно произвести обработку четырёх колёс.

7. Разработано программное обеспечение для ПЭВМ, позволяющее выполнять анализ графического изображения, с целью сравнения реального припуска с маской профиля, выполняющее по его результатам генерацию управляющей программы.

8. Результаты теоретических и экспериментальных исследований прошли апробацию на ООО «ЛебГОК-РМЗ» и позволяют снизить себестоимость восстанавливаемых колёс на 27 %.

9. В результате теоретических и экспериментальных исследований автоматизированной системы управления технологическим оборудованием достигнуто снижение себестоимости при обеспечении требуемого качества ж/д

колёс путем сокращения основного времени съёма припуска при управлении специальным станочным оборудованием и автоматической генерацией программы обработки.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК России:

1. Чепчуров, М.С. Восстановление поверхностей катания железнодорожного оборудования с использованием адаптивного управления / М.С. Чепчуров, А.Н. Блудов // Ремонт, восстановление, модернизация. –2012. – № 8. – С. 24 – 26. (личное участие 50%)

2. Маслова, И.В. Обоснование использования управляемого процесса при восстановлении формы крупногабаритного тела вращения, не имеющей стационарную ось вращения / И.В. Маслова, А.Н. Блудов // Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». — 2012. – № 3. С.76 – 79. (личное участие 40%)

3. Блудов, А. Н. Технологические предложения продления межремонтных интервалов думпкаров / А.Н. Блудов, А.А. Погонин // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2010, №8. – С.12 – 13. (личное участие 90%)

4. Блудов, А. Н. Модернизация оборудования и технологического процесса восстановления колес железнодорожного транспорта. / И.А. Тетерина, А.Н. Блудов, Н.А. Табекина / Научно-теоретический журнал «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». – 2014. – № 4. – С. 96 – 100. (личное участие 40%)

5. Блудов, А.Н. Автоматизированное определение величины припуска наплавленного железнодорожного колеса. / Е.М. Жуков, А.Н. Блудов / Информационные системы и технологии. – 2014 г. – № 5(85). – С. 74 – 80. (личное участие 60%)

Патенты, свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

6. Патент 121362 РФ, МПК G01B11/00. Лазерное устройство для определения погрешности формы крупногабаритных объектов. / Четвериков Б.С., Чепчуров М.С., Блудов А.Н. № 2012126282/28, заявлено 22.06.2012, опубликовано 20.10.2012. Бюл. №29. (личное участие 40%)

7. Программа для определения линейных размеров объекта с использованием конвертации цветного изображения в монохромное. [Программа для ЭВМ] / М.С. Чепчуров, Н.А. Табекина, Б.С. Четверяков, Д.А. Погонин, А.Н. Блудов // – № 2014661814.– Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.12.2014. Заявка № 2014619777 от 30.09.2014. (личное участие 30%)

Публикации в других научных журналах и изданиях:

8. Блудов, А. Н. Устройство оперативной бесконтактной диагностики отклонения профиля колеса железнодорожного. / М.С. Чепчуров, Е.М. Жуков, А.Н. Блудов // Механики XXI века. – 2014. – №13. – С. 139 – 144. (личное участие 40%)

9. Блудов, А.Н. Управление процессом обработки восстанавливаемых поверхностей колес железнодорожных вагонов / А.Н. Блудов, М.С. Чепчуров // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст./ Белгород. гос. технолог. ун-т. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. – Вып. X. – С.42 – 44. (личное участие 50%)

10. Блудов, А.Н. Выбор метода контроля точности восстанавливаемых поверхностей катания колёсных пар подвижного состава железнодорожного транспорта/ А.Н. Блудов // Энергосберегающие технологические комплексы и оборудование для производства строительных материалов: межвуз. сб. ст./ Белгород. гос. технолог. ун-т. –Белгород: Изд-во БГТУ, 2011. –Вып. X. – С. 39 – 42.

11. Блудов, А. Н. .Повышение эффективности изготовления деталей из титановых сплавов/ А.Д. Короп, А.Н. Блудов // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов. – Брянск: 2010. – С. 60 – 64.(личное участие 60%)

12. Блудов, А. Н. Модернизация процесса фрезерования, с целью оценки мощности резания при обработке титанового сплава/ А.Н. Блудов, А.Д. Короп // Образование, наука, производство, управление. Сборник научно-методических трудов. Том 1. – Старый Оскол: изд. СТИ НИТУ МИСиС: 2010. – С.121 – 123. (личное участие 60%)

Система основных буквенных обозначений

T_{0j} – время подвода инструмента, мин.; T_{ej} – время отвода инструмента, мин.; i – номер участка траектории; z_i и x_{01} – соответствующие координаты опорных точек траектории, мм.; S_i – подача на i -м участке траектории, мм/мин.; $S_{уск}$ – ускоренная подача, мм/мин; $L_{пр}$ – длина профиля, мм.; I – количество проходов; T_{σ} – время съёма припуска, мин; R_f –интерполяция (вид, направление); X и Z – координаты опорных точек профиля, мм; z – абсолютная координата по оси Z ; $\Sigma T_{х.х.}$ – суммарное время выполнения холостых ходов, или время подвода-отвода инструмента, выполняемое на ускоренной подаче ($S_{уск}$), мин.

ЛР ИД № 00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати « 3 » февраля 2015 г.

Усл. печ. л.1 Тираж 100 экз.

Заказ № 188.

Полиграфический отдел «Госуниверситет-УНПК»

302030, г. Орел, ул. Московская, 65