

На правах рукописи



Ведрова Софья Александровна

**РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО МНОГОЦЕЛЕВОГО СТАНКАМС ЧПУ С
ОПТИМИЗАЦИЕЙ ПАРАМЕТРОВ ЕГО УПРУГОЙ СИСТЕМЫ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание

степени магистра по направлению Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств (151900.68)

магистерская программа – Автоматизация конструкторско-технологического
проектирования (151900.68.01)

Красноярск 2014

Работа выполнена на кафедре «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» Политехнического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Лимаренко Герольд Николаевич

Рецензент:

Егор Дмитриевич Крылов, главный конструктор, директор по производству ООО НПП Автономные аэрокосмические системы Геосервис

Защита диссертации состоится «9» июля 2014 г. в 9:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
660074, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского 26, ауд. Г 2-47

С авторефератом магистерской диссертации можно ознакомиться на сайте СФУ <http://edu.sfu-kras.ru/engineering> и в архиве открытого доступа: <http://elib.sfu-kras.ru>

Руководитель магистерской программы:

кандидат технических наук,
профессор



М. П. Головин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность

Тема исследования связана с работами, проводимыми в СФУ, по созданию беспилотных летательных аппаратов (Рисунок 1). Аэрофотосъёмка с помощью беспилотных летательных аппаратов позволяет решить множество проблем коммунальной, строительной, промышленной и лесной отраслей хозяйства.

Для фрезерной обработки шаблонов пространственных несущих конструкций беспилотника был создан деревообрабатывающий многоцелевой станок с ЧПУ. В станке реализованы 3 координаты обработки деталей (X, Y, Z) по управляющим программам. Станок представляет собой рамную конструкцию (Рисунок 1). Размеры рабочего пространства станка с ЧПУ 2500*1300*850 мм. Точность обработки станка 0,05мм. Рабочий орган – мотор-шпиндель установлен на консоли ползуна (ось Z), который перемещается с помощью ШВП на направляющих качения вдоль (ось X) и поперек (ось Y) основания станка.

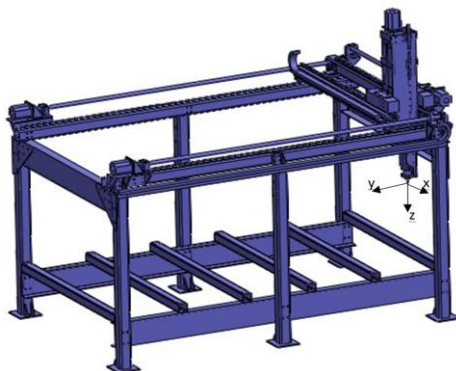


Рисунок 1 – Деревообрабатывающий станок

Для повышения аэродинамического качества и других летных характеристик необходимо усложнение геометрии легких БЛА, а следовательно оборудование с большим числом осей обработки. Для этого модернизируем станок созданием механизма поворота изделия.

Общий вид одного из таких шаблонов – для фюзеляжа БЛА приведен на рисунке 2. Размеры обрабатываемого изделия 1790x613x270 мм. Итоговая точность изделия лежит в пределах 0,3-0,4 мм.

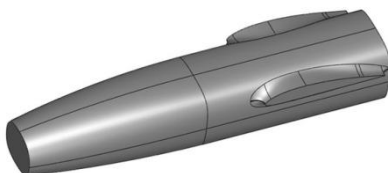


Рисунок 2 – Шаблон фюзеляжа БЛА

Для повышения точности и производительности обработки шаблонов было решено создать автоматизированный механизм поворота заготовок, устанавливаемый на столе станка. В настоящей работе рассматриваются

вопросы проектирования и исследования создаваемого механизма поворота изделия.

Объектом исследования является конструкция механизма поворота изделия

Цель работы разработка конструкции механизма поворота изделия и оптимизация на этапе проектирования параметров его упругой системы во взаимодействии с механизмами трехкоординатного деревообрабатывающего станка с ЧПУ, обеспечивающих необходимую точность обработки изделий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**

1. Определить характеристики рабочего процесса деревообработки изделий БЛА твердосплавной концевой фрезой, требования к кинематическим характеристикам, жесткости конструкции, а также к точности обработки.

2. Разработать конструкцию механизма поворота изделия с приводом от шагового двигателя.

3. Разработать динамическую модель станка и механизма поворота изделия, определить с использованием ПК “ANSYS” и аналитически ее упруго-инерционные параметры.

4. Рассчитать собственные значения динамической системы четырехкоординатного станка, амплитуды вынужденных колебаний в системе инструмент-заготовка при работе мотор-шпинделя.

5. Выявить оптимальный вариант конструкции привода поворота изделия по критерию приведенной жесткости.

Научная новизна

1. Разработана динамическая модель фрезерного станка для обработки крупногабаритных деревянных шаблонов по четырем координатам, позволяющая расчетным путем определять спектр собственных частот и амплитуды виброперемещений инструмента и изделия в зоне обработки.

2. Разработана модель формирования волн на обработанной поверхности заготовки, вследствие колебаний упругих систем инструмента и суппорта. Показано, что рабочий режим фрезерования для разработанной конструкции механизма находится в резонансной зоне амплитудно-частотной характеристики с незначительным коэффициентом динамичности. Шероховатость обработанной поверхности в результате колебаний не превышает допустимых значений, что свидетельствует об оптимальности жесткости разработанной конструкции.

Практическая значимость работы

Устройство поворота изделия повышает точность обработки шаблонов на станке, вследствие чего повышаются летные характеристики БПЛА. Так же сокращается время обработки.

Личный вклад автора в исследование заключается в разработке основных положений, определяющих научную новизну и практическую значимость, в определении цели и задач работы. Основные научные результаты получены лично автором.

Апробация работы

Результаты проведенных исследований докладывались на:

1. Научно-практической конференции «Молодежь и наука» (СФУ, 2013),
2. X студенческой международной заочной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов 21 столетия» (Новосибирск 2013),
3. XII международной заочной научно-практической конференции «Прогрессивные процессы мирового научного знания в 21 веке» (Казань 2014),
4. Семинарах кафедры конструкторско-технологического обеспечения машиностроительных производств ПИ СФУ.

Публикации

По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность исследования проблемы поворота изделия на трехкоординатном станке, дана общая характеристика решаемой проблемы

В первом разделе диссертационной работы приведен обзор и анализ систем поворота изделия в металлорежущих и дереворежущих станках. Исследование норм жесткости станков, режимов резания. Рассмотрена первичная динамическая модель обработки на станке с отражением основных влияющих факторов и сделаны следующие выводы:

1. В деревообрабатывающих станках используется схема поворота изделия с креплением его в ведущем шпинделе и с поджимом свободного конца изделия вращающимся центром.

2. Рассмотрены основные теоретические положения в области динамики станков, разработанные В.А.Кудиновым и, в частности, динамики процесса резания на металлорежущих станках.

3. Предложена предварительная динамическая модель системы обработки деревянной заготовки, учитывающая конструктивную схему шпиндельной группы модернизируемого станка и разрабатываемого механизма поворота изделия.

4. Определены требования к проектируемому изделию: скорость поворота изделия $7,5 \text{ мин}^{-1}$, дискретность поворота изделия 0,6 угл.минуты, масса обрабатываемого изделия с оснасткой 100 кг, длина обрабатываемых изделий с оснасткой 500 - 2500 мм, оснастка изделия должна крепиться в трех кулачковом патроне, задний вращающийся центр должен переустанавливаться по длине изделия, отклонение от соосности патрона и вращающегося центра не более 0,1 мм.

Во втором разделе рассмотрена технология изготовления элементов беспилотных летательных аппаратов корпус и крыло БПЛА с помощью разработанных управляющих программ на основе программного продукта PowerMill. Определена последовательность обработки и схемы подачи заготовки (Рисунок3).

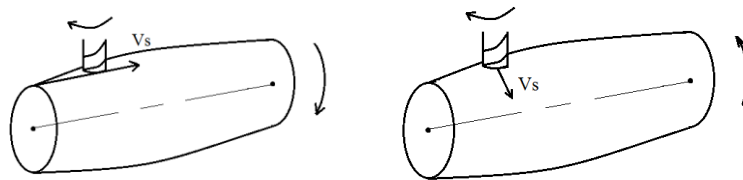


Рисунок 3 – Продольная и поперечная подачи заготовки

На точность обработки поверхности влияет скорость подачи и частота вращения инструмента. Шероховатость обработанной поверхности зависит от указанных режимов и схемы обработки. Величина, форма и направление микронеровностей зависят от методов, режимов и схемы обработки.

Увеличение надежности обработки при использовании предельных глубин резания и подачи может быть достигнуто путем устранения технологических перегрузок, возникающих обычно в момент врезания и выхода инструмента из зоны резания. Система ЧПУ позволяет автоматически менять величину подачи на этих переходах цикла. Производительность и надежность повышают так же путем рационального выбора скорости резания.

Выполнен расчет режимов резания деревянной заготовки (Сосна $\sigma_b=41-100$ МПа) по методике И.Т.Глебова. Инструментом резания является концевая твердосплавная фреза. При черновой обработке диаметр концевой фрезы $d = 14$ мм, количество зубьев $z = 2$. Чистовая обработка выполняется сферической фрезой $d = 6$ мм, количество зубьев $z=2$.

Расчет окружного и радиального усилия резания определяется следующими параметрами: глубина фрезерования, ширина фрезерования, обороты шпинделя, скорость подачи. Целевая функция – минимизация погрешности обработки изделия. Выходным параметром является радиальная сила. Зависимые параметры: обороты шпинделя, n об/мин, скорость подачи, V_s м/мин.

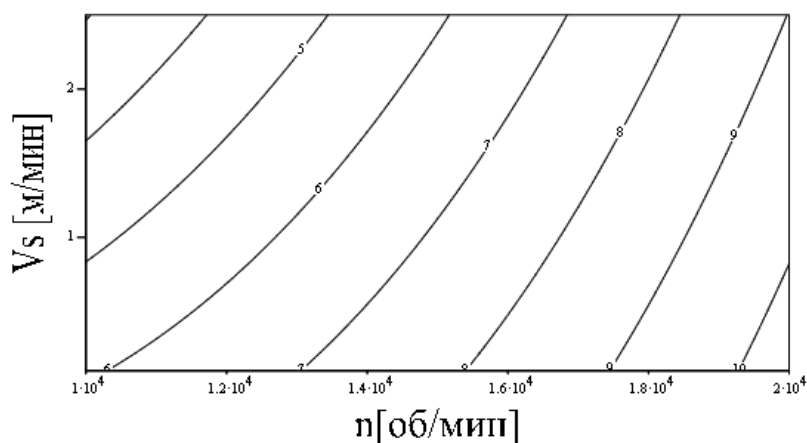


Рисунок 4 – Зависимость радиальной силы резания от скорости подачи инструмента и вращения изделия

На графике видно, что радиальная сила резания увеличивается при увеличении любого из зависимых параметров. Из расчетов и графиков определены оптимальные режимы резания (Таблица 1).

Таблица 1 – Силы резания

	Черновая обработка	Чистовая обработка
Обороты шпинделя об/мин,	20000	20000
Скорость подачи м/мин	2,5	2,5
Окружная сила резания, Н	30	18,17
Радиальная сила, Н	9,02	1,64

В третьем разделе представлена разработка конструкции механизма вращения заготовки (МВЗ). МВЗ состоит из основания 1, передней бабки 2 и бабки задней 3.

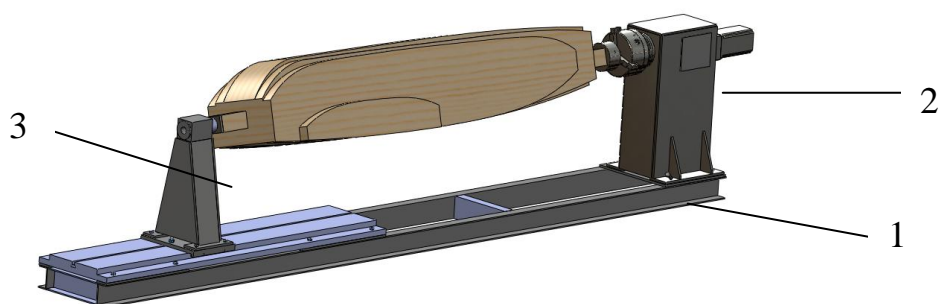


Рисунок 5 – Механизм вращения заготовки

Основание состоит из рамы и пластины (крепится винтами к раме).

Рама состоит из продольных и поперечных швеллеров и пластинок (приваренных к швеллерам). Пластики должны быть обработаны как одна плоская поверхность для установки передней бабки и пластины с Т-образным пазом. Продольные швеллеры должны быть связаны поперечными швеллерами того же профиля (два по торцам и два в середине продольных швеллеров). В основание войдут и винты, которые крепят пластину с Т-образным пазом к раме.

Передняя бабка состоит из патрона, в котором крепится заготовка, шпиндель передает момент от двигателя к патрону и корпусу, крепящемуся к основанию. Передняя бабка в разрезе представлена на рисунке 6.

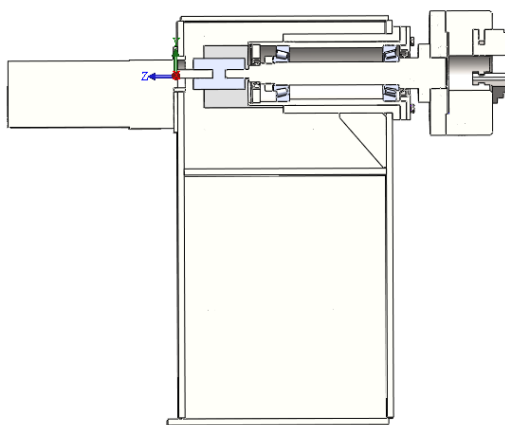


Рисунок 6 – Передняя бабка

Задняя бабка состоит из вращающегося центра, который подпирает заготовку и корпуса, крепящегося к основанию.

При разработке конструкции основное внимание уделялось обеспечению требуемой жесткости системы.

В четвертом разделе разработана динамическая модель четырехкоординатного фрезерного станка для обработки крупногабаритных, деревянных шаблонов, позволяющая расчетным путем определять спектр собственных частот и амплитуды виброперемещений инструмента и изделия в зоне обработки.

На основании анализа конструкции трехкоординатного станка в качестве динамической модели привода перемещения инструмента была принята наиболее податливая часть – ползун с установленным мотор шпинделем (Рисунок 7).

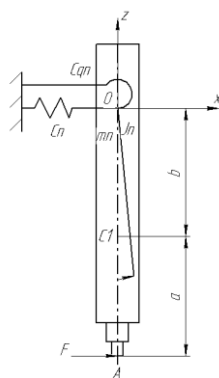


Рисунок 7 – Динамическая система привода инструмента

где, C_1 – центр масс, O_1 – центр жесткости.

Динамическая модель МВЗ представлена как суппортная группа (рис. 8).

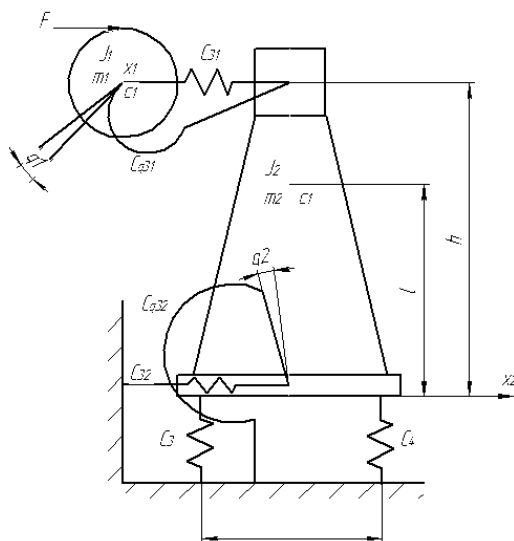


Рисунок 8 – Динамическая система суппортной группы

где, C_1 , C_2 – центр масс заготовки и механизма

В результате динамическая система станка была представлена шестью обобщенными координатами. Уравнения движения системы представлены в матричном виде.

Инерционная матрица динамической системы инструмента:

$$A_x = \begin{pmatrix} m_n & m_n a \\ m_n a & J_n + 2m_n a^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Матрица жесткости динамической системы инструмента:

$$B_x = \begin{pmatrix} C_n & 0 \\ 0 & C_\varphi \end{pmatrix} \quad (2)$$

Инерционная матрица динамической системы суппортной группы:

$$A_c := \begin{pmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & J_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_2 & m_2 l \\ 0 & 0 & m_2 l & J_2 m_2 l^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

Матрица жесткости динамической системы суппортной группы:

$$B_c := \begin{pmatrix} C_{31} & 0 & -C_{31} & -C_{31} h \\ 0 & C_{31} & 0 & -C_{31} \\ -C_{31} & 0 & C_{32} & C_{31} h \\ -C_{31} h & -C_{31} & C_{31} h & C_{31} h^2 + C_{\varphi 32} + C_{\varphi 31} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Инерционные динамические параметры системы были получены с помощью программного комплекса SolidWork, упругие – аналитически. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики жесткости

Ползун		
Поперечная жесткость ползуна	C_n	$1,87 * 10^6 \text{ Н/м}$
Угловая жесткость ползуна	C_φ	$1,63 * 10^8 \frac{\text{Н} * \text{м}}{\text{рад}}$
Суппорт		
Поперечная жесткость заготовки	C_{31}	$1,11 * 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
Угловая жесткость заготовки	$C_{\varphi 31}$	$4,4 * 10^3 \frac{\text{Н} * \text{м}}{\text{рад}}$
Поперечная жесткость установки	C_{32}	$7,67 * 10^9 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
Угловая жесткость установки	$C_{\varphi 32}$	$1,8 * 10^8 \frac{\text{Н} * \text{м}}{\text{рад}}$

Рассчитаны жесткости передней и задней бабки по трем осям под действием единичной нагрузки в программной среде Ansys (Таблица 3).

Таблица 3 – Деформации передней и задней бабки от действия единичной нагрузки

Ось приложения нагрузки	Передняя бабка		Задняя бабка	
	Перемещение, мм	Жесткость, $\frac{\text{кН}}{\text{мм}}$	Перемещение, мм	Жесткость, $\frac{\text{кН}}{\text{мм}}$
x	$1,5 * 10^{-2}$	67	0,29	3,44
y	$3,07 * 10^{-3}$	325,73	0,36	2,78
z	$8,5 * 10^{-3}$	$j_z = 117,64$	0,05	20

Упрощенная динамическая модель механизма поворота изделия может быть представлена в виде системы передаточных функций, изображенной на рисунке 9.

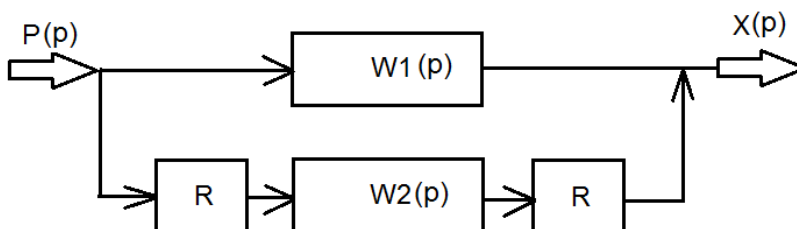


Рисунок 9 – Динамическая система поворота изделия:

$W1(p)$ и $W2(p)$ – передаточные функции поперечной и угловой упругой системы заготовки и механизма; R – радиус точки приложения воздействия $P(p)$; $X(p)$ – упругое смещение системы

Определяются собственные частоты и амплитуды вынужденных колебаний системы инструмента и суппортной группы методом модального анализа (Рисунок 9) по формуле:

$$A(p) = \sqrt{U(p)^2 + N(p)^2} \quad (5)$$

где p – частота колебаний, $U(p)$ – реальная составляющая комплексной амплитуды, $N(p)$ – мнимая составляющая комплексной амплитуды.

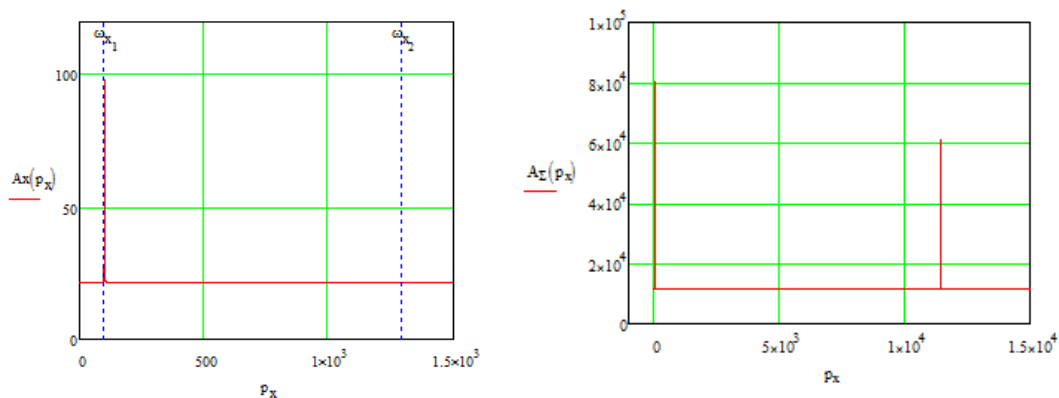


Рисунок 10 – Амплитудно-частотная характеристика системы инструмента и суппортной группы

На основе полученных результатов произведена оптимизация точности обработки. Шероховатость поверхности древесины характеризуется числовыми значениями параметров неровности. Значения величин параметров неровностей колеблются в пределах 2,5 ... 1600 мкм.

Целевой функцией является шероховатость обработанной поверхности. Варьируемыми параметрами является скорость подачи инструмента, жесткость системы. Вибрации при фрезеровании вызывают относительное смещение инструмента и заготовки вследствие деформации упругих систем шпинделя и суппорта. На обрабатываемой поверхности от этого возникают волны, шаг которых можно определить по зависимости.

$$l_B = \frac{V_s}{f_{sp}} \quad (6)$$

где V_s – скорость подачи, мм/с; f_{sp} – частота колебаний, Гц. Глубина волн определяется суммарной амплитудой колебаний систем шпинделя и суппорта в точке приложения динамического воздействия, $R_a = 230,827$ мкм, что не превышает допустимых значений.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен обзор фрезерных станков с механизмами поворота обрабатываемого изделия и стандартов на нормы их жесткости, рассмотрены требования к механизму поворота изделия в деревообрабатывающем станке с ЧПУ, предназначенного для обработки шаблонов сборных конструкций беспилотного летательного аппарата.

2. Определены характеристики рабочего процесса деревообработки изделий БЛА твердосплавной концевой фрезой, требования к кинематическим характеристикам и жесткости конструкции, а также к точности обработки.

3. Разработан программный модуль автоматизированного расчета оптимального режима резания деревянной заготовки.

4. Разработана конструкция механизма поворота изделия с приводом от шагового двигателя.

5. Разработана динамическая модель станка и механизма поворота изделия, определены аналитически и с использованием ПК "ANSYS" ее упруго-инерционные параметры.

6. Рассчитаны собственные значения динамической системы четырехкоординатного станка, амплитуды вынужденных колебаний в системе инструмент-заготовка при работе мотор-шпинделя.

7. Разработан программный модуль автоматизированного расчета собственных частот и амплитуд вынужденных колебаний.

8. Выявлен оптимальный вариант конструкции привода поворота изделия по критерию приведенной жесткости.

9. Подготовлен комплект рабочей конструкторской документации.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

В изданиях по списку ВАК

1. Ведрова, С.А. Расчет и оптимизация режимов деревообработки шаблонов беспилотных летательных аппаратов // Интеграция мировых научных процессов как основа общественного прогресса: материалы XII международной заочной научно практической конференции по всем наукам «Прогрессивные процессы мирового научного знания в 21 веке» (Казань 2014)

2. Ведрова, С.А. Расчет динамических характеристик механизма вращения заготовок на трехкоординатном фрезерном станке // Международный научно-исследовательский журнал Екатеринбург 2014 №5

В других изданиях:

3. Ведрова, С.А. Анализ механизмов поворота изделия в деревообрабатывающих станках с ЧПУ и их жесткости // материалы X студенческой международной заочной научно - практической конференции «Научное сообщество студентов 21 столетия» (Новосибирск 2013)

4. Ведрова, С.А. Проектирование механизма изделия в деревообрабатывающем станке с ЧПУ// материалы научно - практической конференции «Молодежь и наука» (СФУ, 2013)