На правах рукописи

Усов Денис Андреевич

РАЗРАБОТКА ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С МОДУЛЬНОЙ КОМПАНОВКОЙ СТАНИНЫ

АВТОРЕФЕРАТ
Магистерской диссертации на соискание
степени магистра по направлению Конструкторско-технологическое
обеспечение машиностроительных производств (15.04.05)
магистерская программа – **Автоматизация конструкторско-технологического проектирования** (15.04.05.01)

Красноярск 2017

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

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент Пикалов Яков Юрьевич

Рецензент:
Шахура Евгений Александрович, начальник бюро мощностей ОАО «НПП «Радиосвязь»

Защита диссертации состоится «28» июня 2017 г. в 9:00 часов в ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу:
660074, г. Красноярск, ул. Ак. Киренского 26 а, ауд. Д530

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

ВВЕДЕНПЕ

Актуальность работы.

Фрезерные станки с ЧПУ получили широкую сферу применения, начиная от отрасли дизайна, и заканчивая тяжелым производством.

Однако, наибольший интерес представляют станки для малого бизнеса:

- Деревообработка:
- Реклама:
- Архитектура и проектирование:
- Изготовление 3D-прототипов:
- Электроника и приборостроение:
- Ювелирная промышленность:

Зачастую приобретаемый для нужд производства станок удовлетворяет его потребностям на начальном этапе, но в дальнейшем его возможностей становиться недостаточно и возникает необходимость в замене оборудования на более дорогостоящее. В результате таких замен не малая доля финансовых средств просто теряется. Более целесообразно, было бы иметь оборудование, способное развиваться вместе с потребностями производства.

Актуальной является задача создания станка унифицированной конструкции, с возможностью применения в любом из описанных производств, и с возможностью доработки с условиями роста производственных мощностей и новыми потребностями.

Объект исследования – фрезерное станочное оборудование с ЧПУ с модульной компоновкой

Предмет исследования – эксплуатационные характеристики станка.

Цель диссертационной работы: повышение технологической гибкости и ремонтопригодности станочного оборудования

Основные задачи исследования:

- Анализ фрезерной станочной группы, выявление ключевых характеристик и особенностей при обработке различных материалов
- Определение предельных режимов резания и выбор параметров основных элементов станка
- Силовой расчет конструкции и выбор комплектующих
- Проектирование компоновки и оптимизация параметров станка по условию обеспечения жесткости и виброустойчивости

Научная новизна данной работы:

- Научная новизна заключается в новом подходе к конструированию станочного оборудования и выбору его основных элементов.
- Результаты исследования и оптимизации конструкции станка по критериям требуемой жесткости, виброустойчивости.

Методы исследования:

1. Методы математического моделирования на основе топологических методов исследования и численного моделирования, механики твердого тела;

2. Метод расчета по предельным состояниям

Достоверность полученных результатов

Достоверность теоретически полученных результатов обеспечивается общепринятыми методиками и методами.

Практическая значимость работы:

Конструкция станка должна обладать следующими ключевыми характеристиками:

- Низкая стоимость – доступность станка на начальном этапе (за счет использования технологичной, но прочной конструкции станин и стандартных комплектующих);
- Модульность – позволяет станку «расти» вместе с производством (сборная конструкция станка позволяет проводить последующую модернизацию путем замены или добавления каких-либо элементов)
- Универсальность - с точки зрения обрабатываемых материалов и областей применения
- Масштабируемость - единая компоновка станка для широкого спектра типоразмеров;
- Индифферентность к системам управления (возможность установки различных систем компьютерного управления под Linux или Windows)

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и сформулирована цель работы, отмечается ее новизна и практическая значимость.

Первая глав*а* работы посвящена анализу существующих фрезерных станков и основных элементов, а также области их применения. Проведены маркетинговые исследование по результату которых мы наблюдаем положительную динамику развития, выше указанных отраслей промышленности.

Рассмотрены основные компоновки фрезерных станков и выполнен их сравнительный анализ в зависимости от области применения, в ходе которого были определены какими ключевыми характеристиками должен обладать станок в зависимости от области применения.

Также в рамках первой главы проведен анализ современных элементов станочного оборудования, имеющегося в продаже. Выявлены основные виды комплектующих для станков и их характеристики, разработаны рекомендации по их выбору с учетом требований и желаний заказчика (покупателя станка).

Вторая глава посвящена проектированию станка и выбору комплектующих. Начало главы посвящено определению рациональных эксплуатационных показателей станка и выбору шпинделя с учетом обрабатываемого материала. В качестве исходных данных выступают обрабатываемые на станке изделия и материалы.

Рассматривались следующие обрабатываемые материалы: сталь конструкционная не закаленная, алюминий, дюралюминий, медные сплавы, пластики, дерево, композиционные материалы и т.д.

При анализе режимов резания при фрезеровании сталей, было проанализировано 16 различных комбинаций «материал инструмента-материал заготовки» (Таблица 1). Для каждой из комбинаций рассматривались по 51 вариации «инструментально-режимных параметров». То есть общее количество вариантов – 816. При анализе цветных сплавов рассмотрено дополнительно 10 материалов, для каждого из которых по 51 вариации «инструментально-режимных параметров». Таким образом, полное количество рассматриваемых вариантов составляет 1326.

Таблица 1 – Материалы режущих инструментов

Материал режущего инструмента	Применяемость материала к группе сталей				Пояснения
	С1	С2	С3	С4	
ВК8	да	да	да	редко	Обработка коррозионностойких высокопрочных и жаропрочных труднообрабатываемых сталей и сплавов, в том числе сплавов титана.
Т15К6	да	да	да	да	Получистовое и чистовое фрезерование сплошных поверхностей углеродистых и легированных сталей.
Т5К12В	да	да	да	да	Тяжелая черновая обработка поковок из всех видов сталей.
Р6М5	да	да	редко	редко	Применяется при изготовлении всех видов режущих инструментов для черновой и чистовой обработки.

После этого производился анализ эффективности затрат по стоимости 1 кВт мощности привода. На рисунке 1 показана зависимость стоимости 1 кВт мощности привода от его мощности.

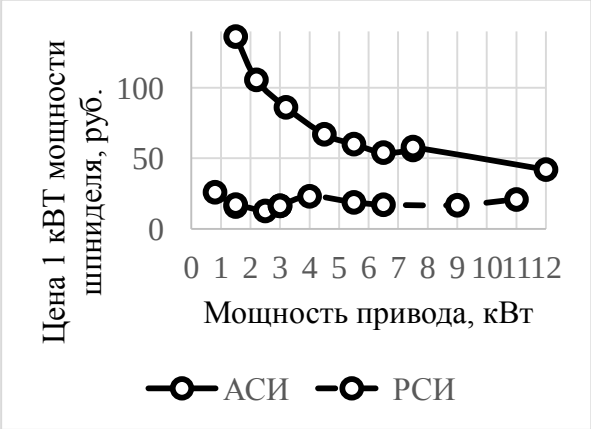

Рисунок 1– Функция цены 1 кВт мощности привода

Сопоставление шпинделей, и обрабатываемых материалов производилось по следующим показателям:

- скорость снятия материала – Q.
- скорость снятия материала на единицу затраченной мощности – $q_{1Вт}$.
- скорость снятия материала, приходящаяся на 1000 рублей, вложенную в шпиндель – $q_{1т.р.}$.
- отношение текущего значения диаметра инструмента к его предельному значению – k_D .

Для выбора шпинделя в контексте цены, а также при обработке нескольких материалов на одном станке, удобно использовать рейтинговую таблицу (таблица 2), в которой большее количество звездочек соответствует более высокому значению $q_{1т.р.}$. Столбец «Универсальность» показывает суммарный рейтинг по всем материалам, т.е. на сколько хорошо шпиндель способен работать с деталями из различных материалов в сравнении с аналогами.

Таблица 2– Рейтинговая таблица шпинделей ET

Смена инструмента	Шпиндель	Применимость для обработки различных материалов					Универсальность
		P1.2.Z.AN	N1.2.Z.AG	N3.1.U.UT	N3.3.U.UT	O1.0.U.NS	
Ручная	ET65-0.8	**	**	**	**	**	*
	ET80-2.5	****	****	***	****	****	***
	ET100-3-380	***	***	****	***	***	**
Автомат	ET110-30-24-4.5	*	**	***	****	***	***
	ET120-30-18-5.5	***	****	*	***	**	**
	ET120-30-24-6.5	**	*	****	**	*	*
	ET125-30-18-7.5	****	***	**	*	****	****

Были определены предельные режимы резания для рассматриваемых конструкционных материалов, которые использовались для дальнейшего расчета. Были составлены расчетные схемы вертикальных, продольных, поперечных подач (рисунок 2,3,4), после чего произведен их силовой расчёт. Также проводился силовой расчет механизма ходовой винт-гайка качения для трех приводов подач. Проведен выбор опор качения, шаговых двигателей и направляющих.

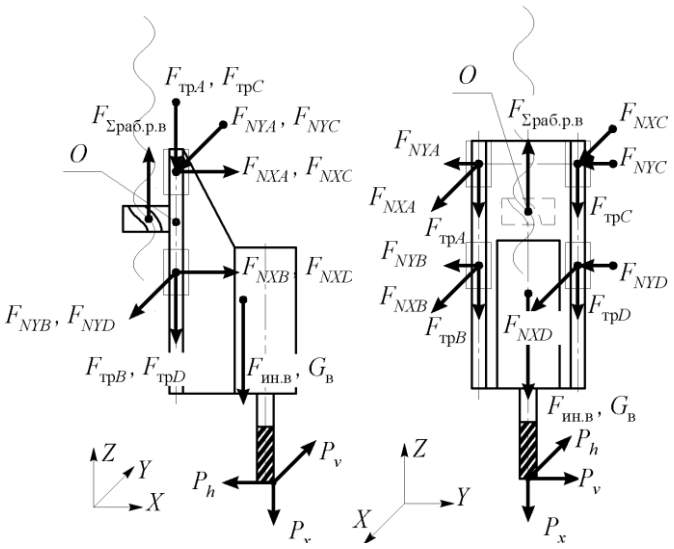

Рисунок 2 - Расчетная схема привода вертикальных подач в процессе резания

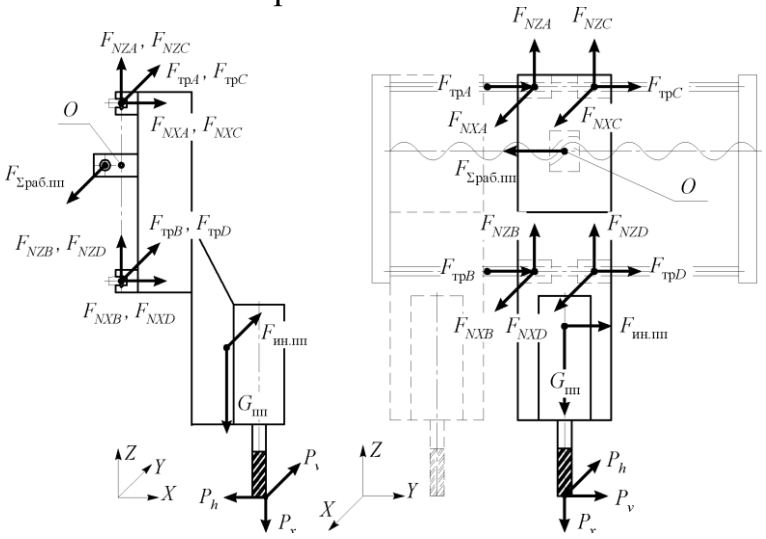

Рисунок 3 - Расчетная схема привода поперечных подач

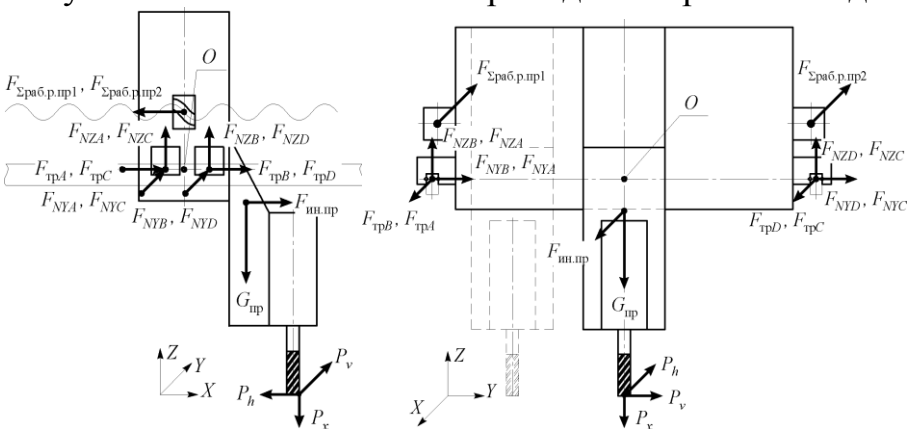

Рисунок 4 - Расчетная схема привода продольных подач

Третья глава посвящена проектированию компоновки и оптимизации параметров станка по жесткости и виброустойчивости. На первом этапе проводилась топологическая оптимизация несущей системы станка. Итогом

данной работы стало то, что мы получили конструкцию несущей системы станка (рисунок 5) с минимальной энергией деформации выполненной из заданного количества материала, определили окончательную форму поперечных сечений стоек станка, их взаимное расположение, а также связь между собой.

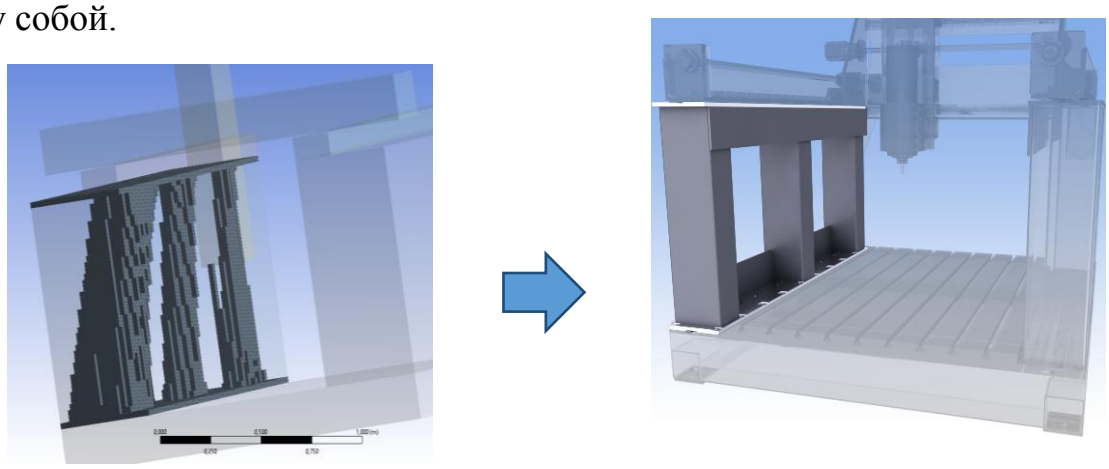

Рисунок 5 - Результаты топологической оптимизации

Далее производилась оптимизация геометрических параметров станины по критерию максимальной точности. Целью данного раздела является определение жесткости элементов конструкции станка. Деформации элементов станка, возникающие под действием сил резания, приводят к изменению относительного положения инструмента и обрабатываемой детали, т.е. к потере станком точности.

Одним из элементов, деформация которого приводит к изменению относительного положения инструмента и обрабатываемой заготовки, является модуль продольных перемещений. Для расчета жесткости модуля продольных перемещений был использован статистический анализ в Ansys Workbench. Результаты расчета представлены на рисунке 6.

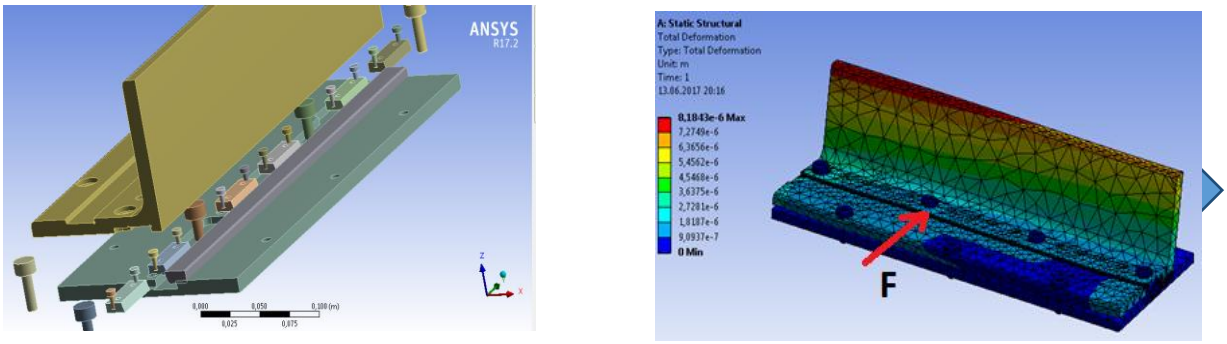

Рисунок 6 - Результаты расчета жесткости крепления модуля продольных перемещений

Наибольшая деформация составила 3 мкм. Это означает то, что данный элемент конструкции станка обладает достаточной жесткостью и не требует дальнейшей оптимизации.

Аналогичным образом, был проведен расчет жесткости ходового винта модуля продольных перемещений, в результате которого мы получили большие деформации данного элемента конструкции (28 мкм.) В результате оптимизации данной конструкции, нам удалось увеличить жесткость в два раза (рисунок 7).

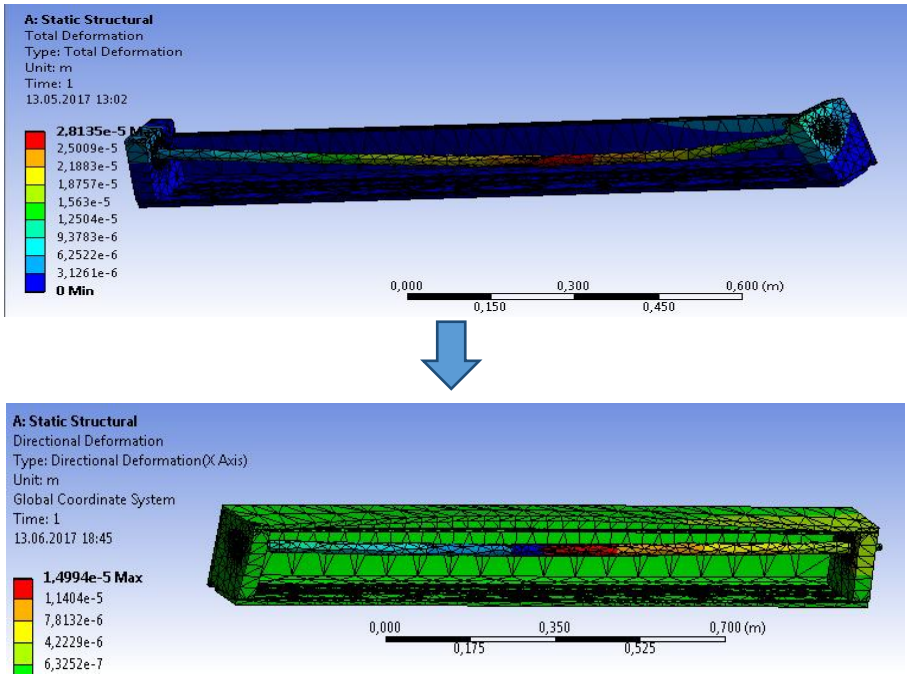

Рисунок 7 - Результаты оптимизации конструкции модули продольных перемещений

После этого аналогичным образом производился расчет жесткости станины станка. Результаты расчета представлены на рисунке 8. Деформация стоек станины станка составила 110 мкм.

Из расчета видно, что слабым местом данной конструкции является место крепления нижней пластины стоек станка

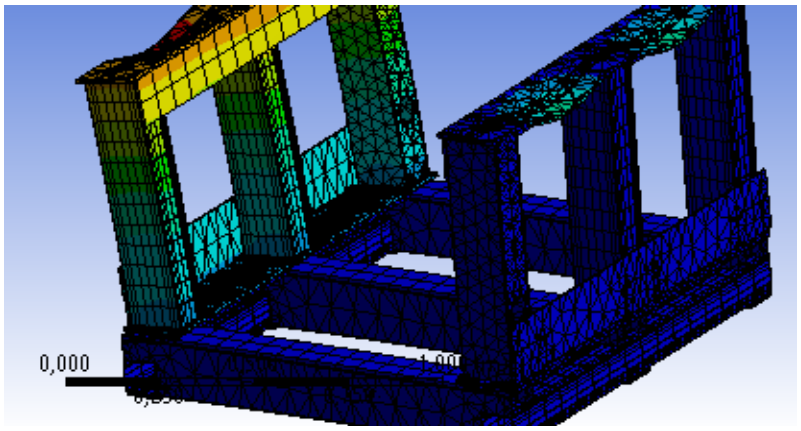

Рисунок 8 – Результаты расчета жесткости стоек станка

Для повышения жесткости было решено модернизировать конструкцию данного узла путем добавления дополнительных упорных элементов (рисунок

9). Расчет показал, что жесткость станка увеличилась в 2 раза, наибольшая деформация составила 56 мкм.

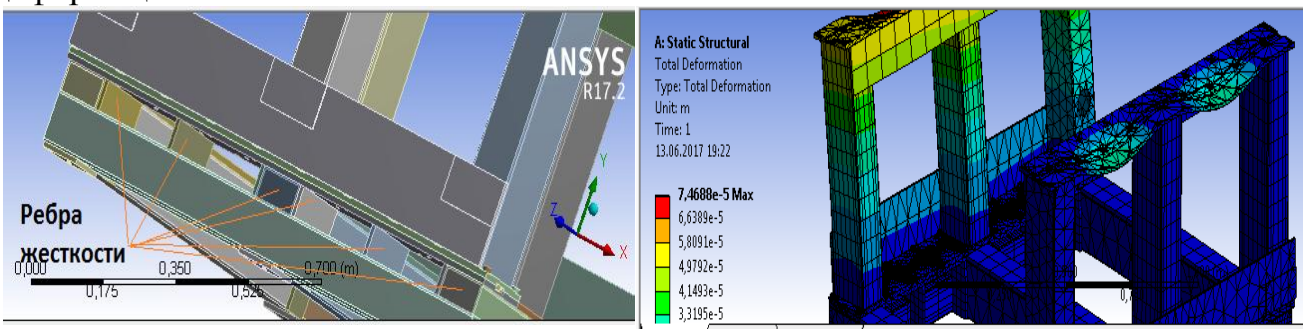

Рисунок 9 – Результаты расчета жёсткости стоек станка с дополнительными упорными элементами

Еще одним мероприятием по повышению жесткости станка стало использование наполнителя, в виде бетона, в элементах конструкции станины. Как и предполагалось использование наполнителя в элементах конструкции станины, привело к уменьшению деформации стоек с 56 до 30 мкм.

Результаты оптимизации геометрических параметров элементов конструкции станка представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оптимизации геометрических параметров элементов конструкции станка

	Деформация, мкм.			
Ходовой винт модуля продольных перемещений	Первоначальный вариант конструкции	С косынками	С пластиной	С уголком
	28	26	20	14
Стойки станка	Первоначальный вариант конструкции	С дополнительными ребрами жесткости	С наполнителем в виде бетоны	
	110	50	30	

Нам удалось достигнуть увеличение жесткости станка в 2 раза, тем самым повысить точность обработки деталей на данном станке. Повышение жесткости позволяет повышать режимы резания, не снижая точности обработки, что приводит к увеличению производительности станка. Также достаточная жесткость позволяет расширить линейку обрабатываемых материалов на данном станке.

Проведен динамический анализ, непосредственной целью которого является настройка несущей системы станка от резонансных режимов резания, что напрямую скажется на улучшение качества обработки. Для расчета был использован модальный анализ, в ходе которого был найден диапазон

собственных частот. Одновременна были найдены частоты вынужденных колебаний возникающие в процессе резания для всех рассчитанных во второй главе режимов резания. В результате был составлен график плотности распределения рабочих частот для отечественного и зарубежного инструмента (рисунок 10), по которому можно увидеть в каких из рассчитанных режимов резания происходит совпадение собственных и вынужденных колебаний. При работе станка необходимо избегать данные режимы резания программным способом во избежание резонанса путем изменения частоты вращения шпинделя или количеством кромок режущего инструмента.

Отечественный инструмент

Sandvik Coromant

Рисунок 10 – Графики плотности распределения рабочих частот

ВЫВОДЫ

По результатам выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Выполнен анализ существующих фрезерных станков и основных элементов, а также области их применения. Проведены маркетинговые исследование. Рассмотрены основные компоновки фрезерных станков и выполнен их сравнительный анализ в зависимости от области применения.
2. Определены характеристики рабочих органов станка: мощность главного привода, мощности приводов вертикальных, продольных и поперечных перемещений, типы направляющих и т.д.
3. Проведен силовой расчет конструкции станка и выбраны комплектующие
4. Разработана компоновочная схема несущей системы станка с помощью топологической оптимизации
5. Проведена оптимизация параметров станка, в результате которой удалось увеличить жесткость станка в два раза.
6. Проведен динамический анализ станка, в результате которого установлен диапазон собственных частот
7. Разработан эскизный проект станка унифицированной конструкции с модульной компоновкой станины

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Усов Д.А., Пикалов Я.Ю. Обрабатываемость современных конструкционных материалов и сравнительный анализ режущих инструментов и методик расчета режимов резания//Журнал «Вестник машиностроения»
2. Усов Д.А. Prototype development of milling machine using CAD/CAM// Электронный сборник материалов международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Проспект свободный» 2016 г.