

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <https://naukovedenie.ru/>

Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/vol9-6.php>

URL статьи: <https://naukovedenie.ru/PDF/08TVN617.pdf>

Статья опубликована 27.11.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Никитина И.П., Поляков А.Н., Мищенко Д.С. Автоматизированное проектирование горизонтально-фрезерного станка с числовым программным управлением, оснащенного мультишпиндельной головкой // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №6 (2017) <https://naukovedenie.ru/PDF/08TVN617.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.9:517.958

Никитина Инна Петровна

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Россия, Оренбург
Доцент кафедры «Металлообрабатывающих станков и комплексов»
Кандидат технических наук
E-mail: innanikitina@list.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=395600

Поляков Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Россия, Оренбург
Заведующий кафедры «Металлообрабатывающих станков и комплексов»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: anp_temos@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=631040

Мищенко Дмитрий Сергеевич

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Россия, Оренбург
Аэрокосмический институт
Кафедра «Металлообрабатывающих станков и комплексов»
Направление подготовки 15.03.06 – «Мехатроника и робототехника»
Студент
E-mail: devil99977@mail.ru

**Автоматизированное проектирование
горизонтально-фрезерного станка с числовым
программным управлением, оснащенного
мультишпиндельной головкой**

Аннотация. В работе представлена методика типовой модернизации фрезерного станка, который может быть реализован на любом среднем (по объемам производства) предприятии. Цель модернизации – повышение уровня автоматизации и создание условий для встраивания станка в высокотехнологичное производство, неотъемлемого компонента современной цифровой экономики. Типовая методика модернизации представлена для горизонтально-фрезерного станка. В качестве способов достижения поставленной цели были использованы: изменение кинематики коробки скоростей с расширением диапазона частот вращения горизонтального и вертикального шпинделей станка и коробки подач; установка мехатронного модуля в виде мультишпиндельной головки; установка системы числового программного управления. Для этого были выполнены: проект привода главного движения станка; проект привода подач станка; проект мехатронного модуля. Проектный расчет зубчатых передач был выполнен в системе «КОМПАС-3D». С помощью программ «Autodesk Inventor» рассчитаны

валы и подшипники. В работе представлены результаты инженерного анализа несущей системы станка, выполненные с использованием автоматизированной системы инженерного анализа «Ansys». Трехмерная модель станка была создана в программной среде трехмерного моделирования «SolidWorks». Расчетная модель использовала типовые конечные элементы: «Solid185», «Solid186», «Solid226», «Solid227» и «Combine14». Инженерный анализ станка включал расчет статических, динамических и тепловых характеристик станка.

Ключевые слова: металлорежущие станки; станки с числовым программным управлением; модернизация; мультишпиндельная головка; автоматизированное проектирование

По материалам, изложенным в работе [1] коэффициент обновления станочного парка в СССР составлял от 5 до 6 % в год. Сегодня в развитых странах этот показатель составляет до 10 %. В России, после фактического уничтожения отечественного станкостроения в 90-е годы, менее 0,5 %. Чистый математический расчет показывает, что при сохранении таких темпов обновления основных средств производства России потребуется не одно столетие. Опыт машиностроительных производств последних лет показывает, что значительного повышения технико-экономических показателей можно добиться за счет глубокой модернизации оборудования [2, 3]. В условиях реализации нового статуса экономики – «Цифровая экономика», основным направлением модернизации действующего парка станков является повышение их уровня автоматизации. В этом случае можно добиться обеспечения их наибольшей эффективности за счет комплексного решения всех действующих факторов.

В настоящее время наиболее востребованными путями модернизации станков являются: оснащение их системой числового программного управления (ЧПУ) и дополнительными средствами технологического оснащения. Это неизбежно приводит к повышению их производительности и точности.

Станки с ЧПУ имеют расширенные технологические возможности при обеспечении необходимой надежности работы. Конструкция станков с ЧПУ должна, как правило, обеспечивать совмещение различных видов обработки, удобство загрузки заготовок, выгрузки деталей, автоматическое или дистанционное управление сменой инструмента и т. д.

Повышение точности обработки достигается высокой точностью изготовления и жесткостью станка, превышающей жесткость универсального станка того же служебного назначения.

В данной работе представлена методика типовой модернизации фрезерного станка, который может быть реализован на любом среднем (по объемам производства) предприятии.

Цель модернизации – повышение уровня автоматизации и создание условий для встраивания станка в высокотехнологичное производство, неотъемлемого компонента современной цифровой экономики.

В качестве базового станка принят широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок модели 6Р82Ш.

Были выбраны следующие способы достижения поставленной цели:

- изменение кинематики коробки скоростей с расширением диапазона частот вращения горизонтального и вертикального шпинделей станка и коробки подачи;
- установка мехатронного модуля: шестишпиндельная револьверная головка;
- установка системы ЧПУ.

Для этого были решены следующие задачи:

- выполнить проект привода главного движения станка;
- выполнить проект привода подач станка;
- выполнить проект мехатронного модуля.

При решении сформулированных задач были выполнены следующие расчеты:

- выбор режимов резания;
- кинематический расчёт привода главного движения;
- инженерный анализ несущей системы станка (НСС) [4-6].

Анализ выбранных режимов резания позволил определить диапазон частот вращения шпинделей и подач, мощность используемых в приводах электродвигателей. Проектный расчет зубчатых передач был выполнен в системе «КОМПАС-3D». С помощью программ «Autodesk Inventor» рассчитаны валы и подшипники. На рисунке 1 представлена кинематическая схема модернизированного станка модели 6P82Ш.

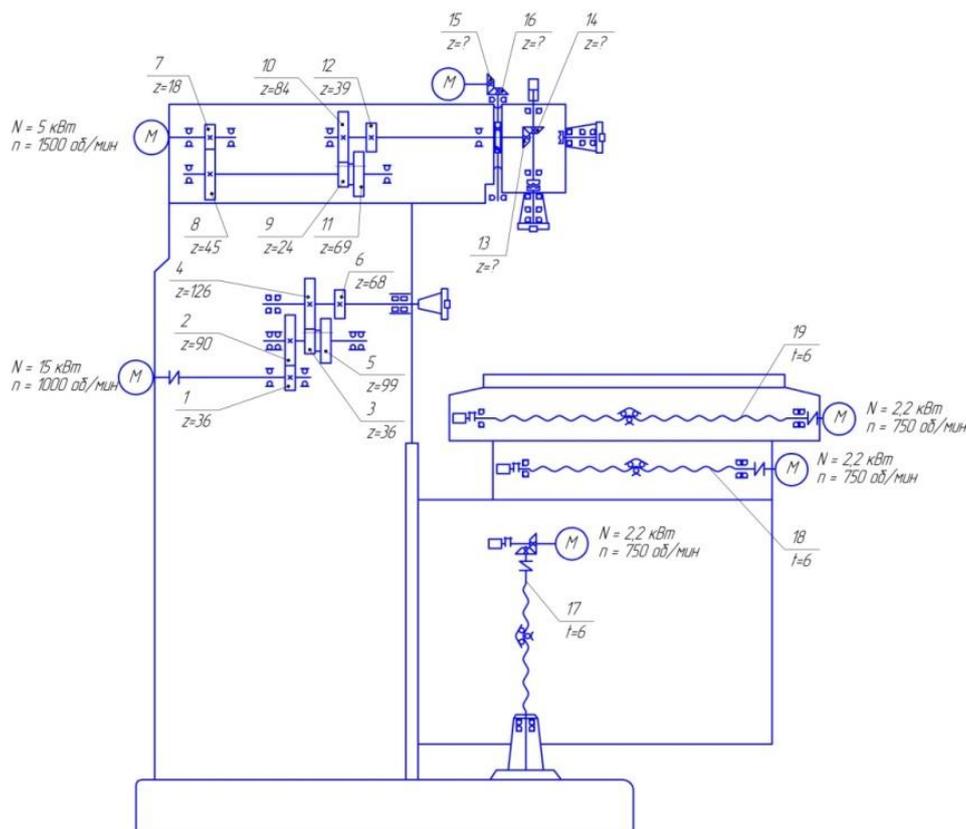


Рисунок 1. Кинематическая схема модернизированного станка (разработано авторами)

Рассчитанные механические характеристики в виде графиков зависимостей мощностей и крутящих моментов от частоты вращения представлены на рисунках 2 и 3.

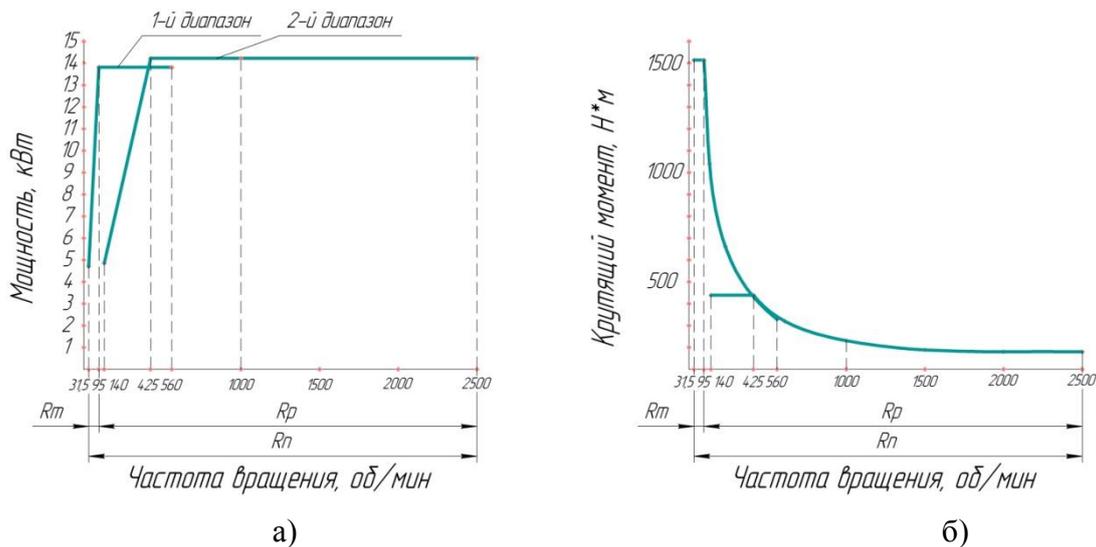


Рисунок 2. Механические характеристики для вертикального шпинделя: а – по мощности, б – по моменту (разработано авторами)

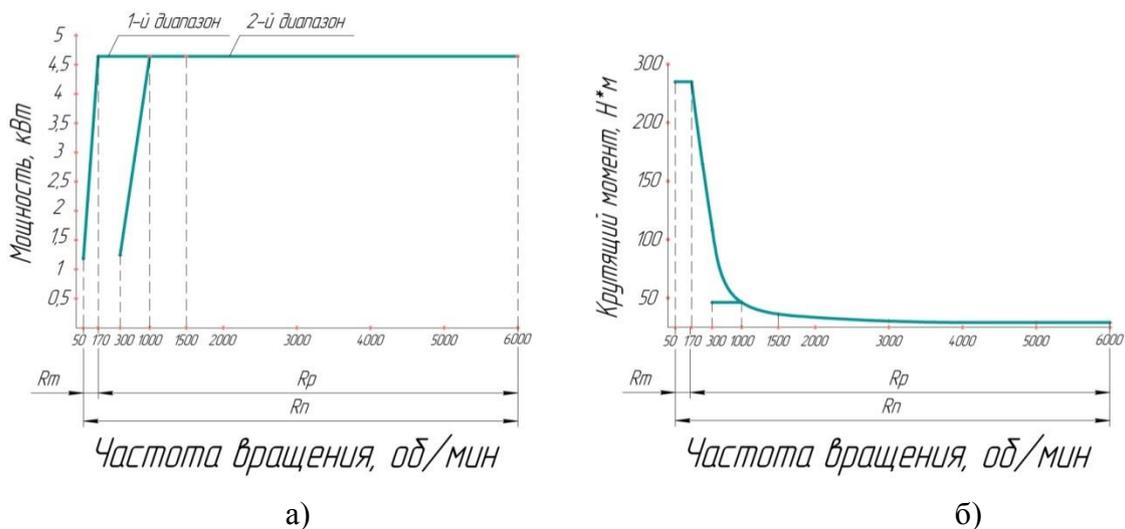


Рисунок 3. Механические характеристики для горизонтального шпинделя: а – по мощности, б – по моменту (разработано авторами)

Графики частот вращений в логарифмической системе координат горизонтального и вертикального шпинделей представлены на рисунке 4.

Проект револьверной головки. Для быстрой смены инструмента между технологическими переходами, а также расширения технологических возможностей станка была разработана револьверная головка.

Револьверная головка содержит необходимый набор механизмов, устройств и элементов оснащения: механизм поворота инструмента, устройство фиксации поворотного механизма, комплект датчиков для контроля угловой позиции револьверной головки.

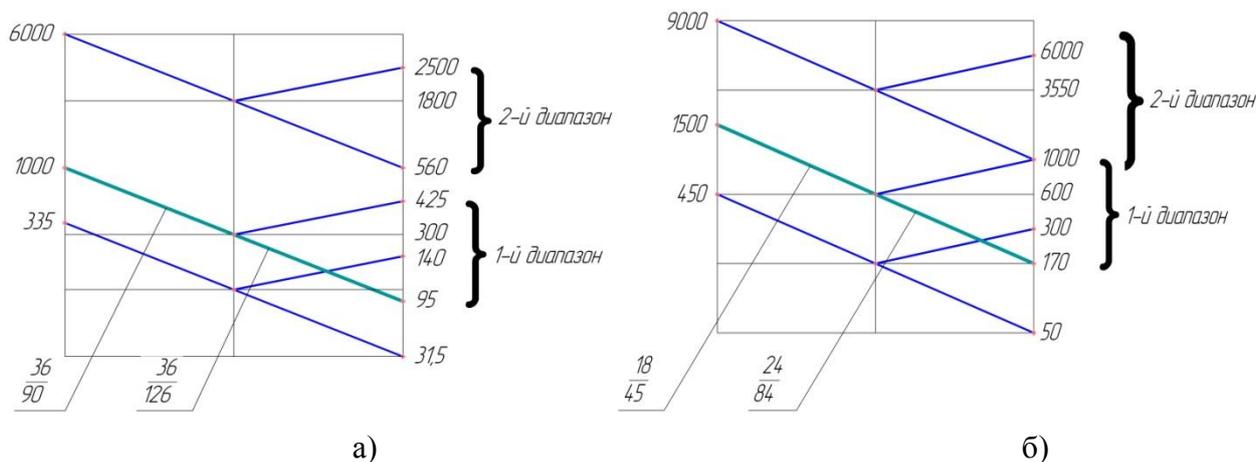


Рисунок 4. График частот вращения: а – горизонтального шпинделя, б – вертикального шпинделя (разработано авторами)

Механизм поворота инструмента обычно состоит из нерегулируемого электро-или гидродвигателя и редуктора. В качестве редуктора может использоваться цилиндрический зубчатый или червячный, а также более компактные, но и более дорогие планетарные, циклоидальные или волновые. Значительно реже применяют храповые и мальтийские механизмы поворота.

Проанализировав конструкции современных револьверных головок фрезерных станков, для дальнейшего проектирования был выбран следующий вариант механизма поворота револьверной головки – электродвигатель и червячный редуктор.

При проектировании револьверной головки была использована в качестве прототипа инструментальная корончатая револьверная головка фирмы SAUTER. Данные револьверные головки предназначены для применения на высокопроизводительных фрезерных станках. Они обладают всеми качествами современных высокопроизводительных револьверных головок.

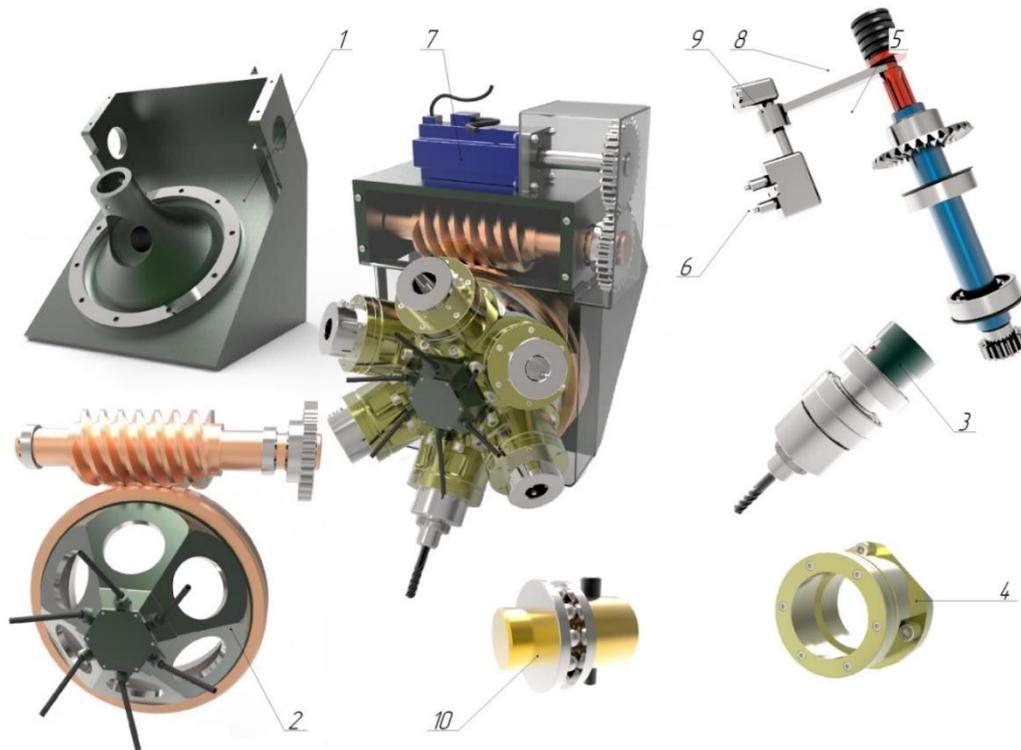
Сначала была разработана компоновочная схема револьверной головки, включающая привод углового поворота и привод вращающегося инструмента. Затем были спроектированы основные конструктивные элементы револьверной головки, 3D-модели которых представлены на рисунке 5. В окончательном варианте модернизированный станок 6P82Ш представлен на рисунке 6.

Инженерный анализ станка. Трехмерная модель станка модели 6P82Ш была создана в программной среде трехмерного моделирования «SolidWorks» и импортирована в САЕ-систему «ANSYS», в которой была произведена операция склеивания твердотельных элементов модели и выполнена процедура построения сеточной модели на базе выбранных конечных элементов для проведения необходимых расчетов. В расчетах использовались элементы Solid 185, Solid186, Solid226, Solid227 и Combine14.

Были проведены следующие расчеты:

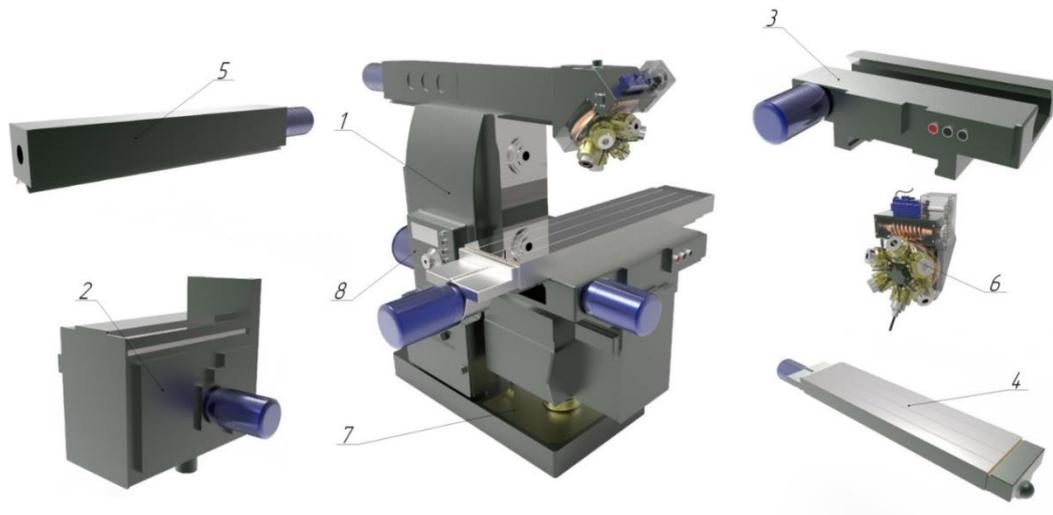
- статический расчет НСС с условиями жесткого закрепления в отдельных узлах;
- статический расчет НСС с условиями упругого закрепления в отдельных узлах;
- статический расчет НСС с учетом неидеальных стыков [7-9];
- модальный расчет НСС с условиями жесткого закрепления в отдельных узлах;
- модальный расчет НСС с условиями упругого закрепления в отдельных узлах;
- динамический расчет НСС с условиями упругого закрепления в отдельных узлах;

- тепловой расчет несущей системы станка (стационарный и нестационарный расчеты [10]);
- термдеформационный расчет.



1 – корпус, 2 – механизм поворота, 3 – шпиндель, 4 – корпус шпинделя, 5 – шлицевый вал, 6 – пневмоцилиндр, 7 – сервопривод, 8 – тарельчатая пружина, 9 – вилка, 10 – ось

Рисунок 5. Компоновка шестишпиндельной револьверной головки (разработано авторами)



1 – стойка, 2 – консоль, 3 – салазки, 4 – стол, 5 – хобот, 6 – шестишпиндельная поворотная головка, 7 – плита, 8 – пульт управления

Рисунок 6. Модернизированный станок 6P82Ш (разработано авторами)

Статический расчет позволяет определить перемещения в любой точке расчетной модели НСС в зависимости от действующих сил резания.

Для проведения инженерного анализа НСС необходимо задание условий однозначности: физические характеристики материалов НСС; граничные условия в виде условий закрепления узлов основания станка и распределенной нагрузки на узлы шпинделя и стола станка. Задание начальных условий особенно актуально для решения тепловой задачи.

Результатом расчета является деформированное состояние НСС. Статический расчет НСС с условиями упругого закрепления в отдельных узлах отличается от предыдущего наличием упругих элементов между узлами основания и мнимыми узлами фундамента. На рисунке показаны контурные представления деформированного состояния модели под действием приложенной нагрузки и жестком и упругом закреплении основания модели.

Сравнительный анализ представленных результатов расчета показал, что при использовании упругого закрепления максимальные значения упругих перемещений незначительно превышают максимальные значения упругих перемещений элементов НСС, рассмотренных при жестком закреплении. Однако, характер деформаций меняется. Поэтому расчет при жестком закреплении необходим только для отладки расчетной модели.

Модель станка 6Р82Ш, сформированная в статическом расчете с учетом упругого закрепления в отдельных узлах, является базовой моделью для проведения последующих расчетов.

Использованные на рисунках 7 и 8 расчетные модели учитывали идеальные стыки в сопряжениях. Для построения модели с неидеальными стыками была реализована методика, изложенная в работе [7]. После построения модели с идеальными стыками были поочередно скопированы объемы (Volumes) с созданными конечными элементами и размещены на расстоянии от исходной модели, исключая пересечение двух расчетных моделей: исходную и копируемую. Далее были удалены конечные элементы базовой модели, а затем и геометрическая модель. В новой скопированной модели для обеспечения связи в сопряженных поверхностях, принадлежащих разным объемам, были введены новые конечные элементы типа COMBIN14. Вновь сформированное деформированное состояние НСС представлено на рисунке 9. Анализ изоповерхностей показывает, что новое деформированное состояние также отличается от двух предыдущих моделей по характеру распределения в верхней части НСС. По абсолютному значению максимальных перемещений отличие малозаметное – около 10 %.

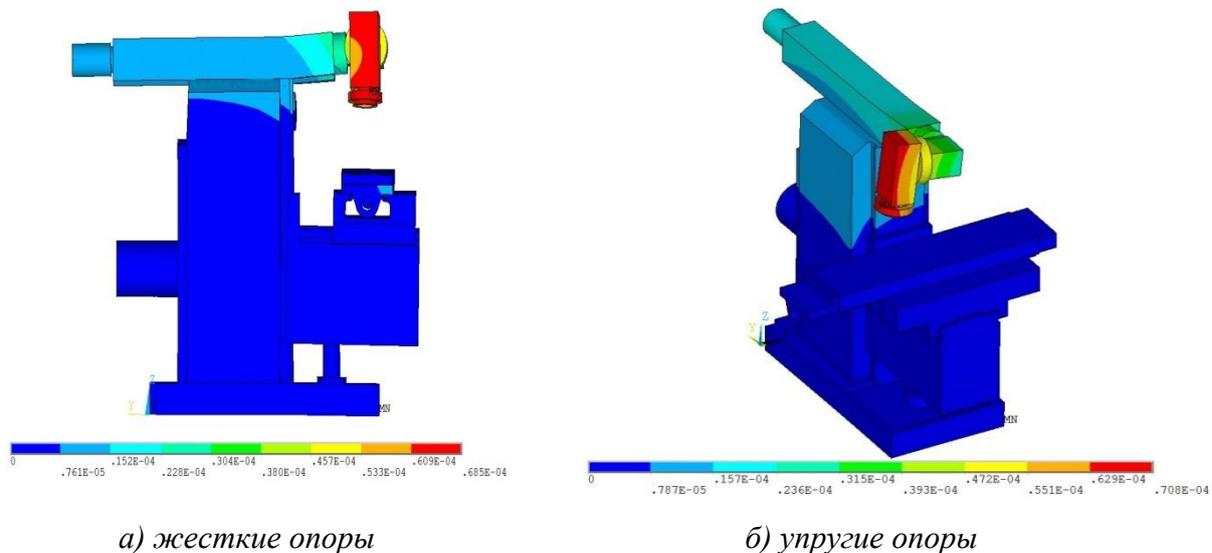


Рисунок 7. Статический расчет НСС с условиями жесткого и упругого закрепления в отдельных узлах (разработано авторами)

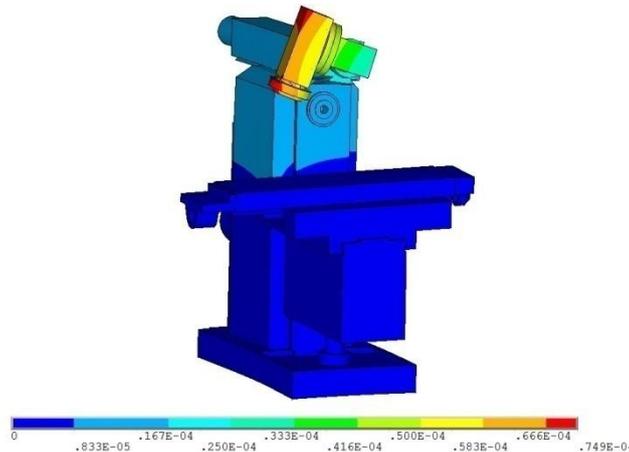


Рисунок 8. Деформированное состояние модели (разработано авторами)

Модальный расчет НСС с условиями жесткого и упругого закрепления в отдельных узлах нужен для того, чтобы построить часть динамических характеристик рассматриваемой модели: собственные частоты; формы колебаний. Знание этих характеристик позволяет сформировать представление о динамическом поведении модели НСС. Результатами расчета являются значения собственных частот, представленные в таблице 1 и формы колебаний для двух условий закреплений НСС. На рисунке 9 представлены четыре первые формы колебаний для условий упругого закрепления.

Сравнительный анализ полученных собственных частот не выявил существенных расхождений. Анализ форм колебаний показал, что жесткое закрепление существенно искажает формы колебаний реальной НСС, так как на практике все станки располагаются на упругом основании.

Динамический расчет НСС позволил построить амплитудно-частотные (АЧХ) и амплитудно-фазовые частотные характеристики (АФЧХ). АЧХ были построены для узлов, в которых была приложена нагрузка. Например, была построена АЧХ для узла шпинделя № 6676 (рисунок 10) и узла стола станка № 5946.

На рисунке 11 показаны суммарные АФЧХ шпинделя и стола по осям X (рисунок 11а), Y (рисунок 11б) и Z (рисунок 11в).

Таблица 1

Значения частот

№ частоты	Значение частоты	
	Жесткое закрепление	Упругое закрепление
1	27	32
2	64	53
3	128	103
4	163	124
5	176	174
6	190	212
7	266	266
8	290	302
9	330	337
10	412	407
11	486	447

Разработано авторами

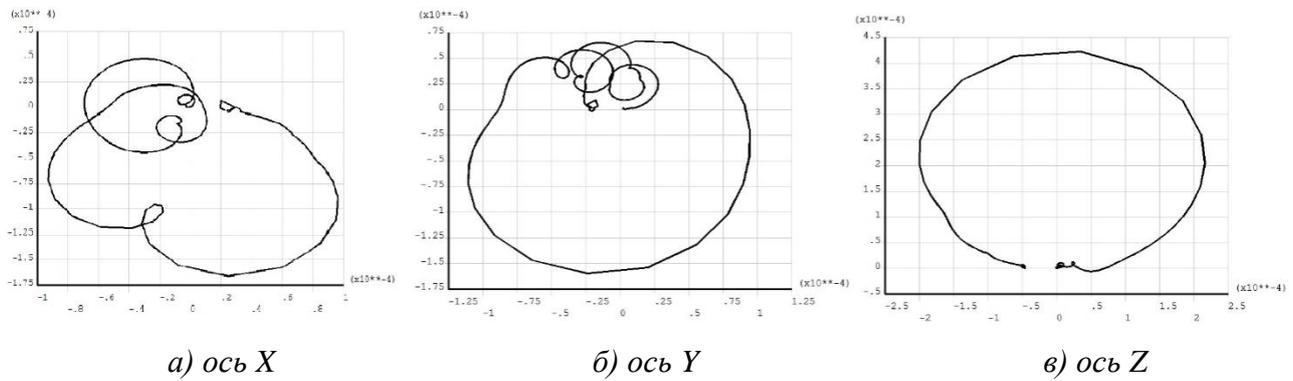


Рисунок 11. Суммарные АФЧХ колебаний шпинделя и стола (разработано авторами)

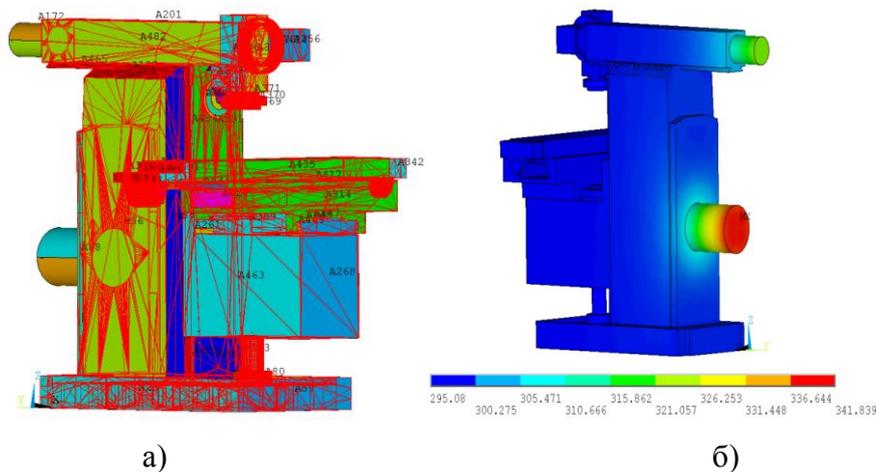


Рисунок 12. Тепловой расчет несущей системы станка:
 а – расчетная модель, б – температурное поле станка (разработано авторами)

В качестве результатов теплового нестационарного расчета НСС наряду с выводом теплового состояния (рисунок 13а) в любой заранее установленный момент времени используется построение температурных характеристик в фиксированных узлах модели НСС в виде функциональных зависимостей «температура – время» для шпинделя и для стола (рисунок 13б).

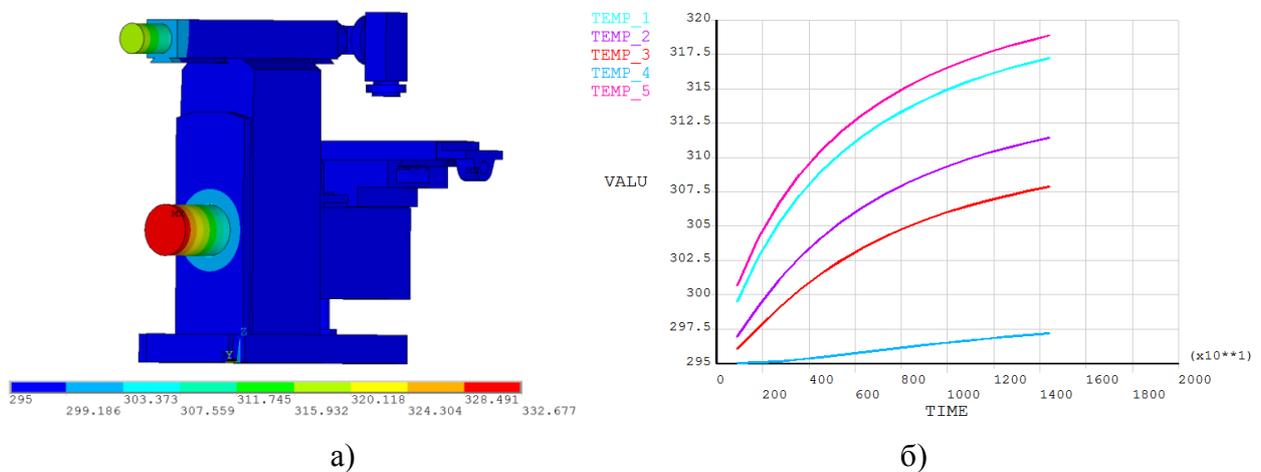


Рисунок 13. Результаты теплового нестационарного расчета НСС:
 а – температурное поле НСС в конечный момент времени, б – зависимость температуры от времени (разработано авторами)

Термодеформационный расчет НСС – это расчет деформированного состояния НСС, вызванного сложившимся тепловым состоянием.

Современные CAE-системы позволяют решать связанную и несвязанную задачи термоупругости. Связанная задача термоупругости решается при наличии взаимосвязи тепловых деформаций и температурного поля. При односторонней связи решается несвязанная задача термоупругости. Поэтому в «Ansys» термодеформационный расчет НСС может быть выполнен двумя способами – путем решения связанной и несвязанной задач термоупругости.

Результатом расчета является деформированное представление НСС от принятых тепловых потоков (рисунок 14).

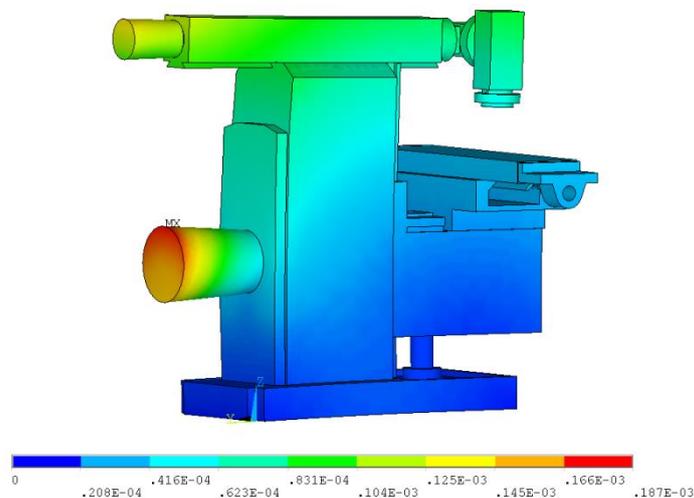


Рисунок 14. Термодеформационное состояние НСС (разработано авторами)

Количественный анализ сформированного термодеформационного состояния показал несколько увеличенные температурные перемещения, что в первую очередь связано с несколько завышенными результатами по уровню температур.

Вывод

Представленный в работе подход к созданию сложных механических систем, заключающийся в сочетании автоматизированных систем проектирования различного уровня CAD/CAE-систем, дает возможность не только создавать многовариантное проектирование с использованием CAD-систем, но и, используя возможности CAE-систем, добиваться оптимальности конструкторских решений по нескольким критериям одновременно – решать многокритериальную задачу оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чикунов Г., Политов В., Модернизация станочного парка в рамках мировой кооперации // Умное производство. Выпуск 39 от 09.17 – Режим доступа: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=249&group_id_4=62.
2. Федонин, О. Н. Модернизация металлообрабатывающих станков, применяемых в условиях автоматизированного производства / О. Н. Федонин, Д. И. Петрешин, В. А. Хандожко, А. В. Агеенко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 3. – С. 57-59.
3. Амосёнок, Э. П. Проблемы обновления и модернизации парков оборудования в РФ на основе фондосоздающих видов деятельности обрабатывающих производств / Э. П. Амосёнок // Мир экономики и управления. – 2011. – Т. 11. – № 3. – С. 5-11.
4. Кирилин, Ю. В. Исследование динамических характеристик несущей системы горизонтально-расточного станка / Ю. В. Кирилин, Е. А. Спиридонов // СТИН. – 2013. – № 11. – С. 6-8.
5. Атапин, В. Г. Проектирование несущих конструкций тяжёлых многоцелевых станков с учётом точности, производительности, массы / Атапин В. Г. // Вестник машиностроения. – 2001. – № 2. – С. 3-6.
6. Hong, C. C. Static structural analysis of great five-axis turning-milling complex CNC machine / C. C. Hong, Cheng-Long Chang, Chien-Yu Lin // Engineering Science and Technology, an International Journal. – 2016. – Vol. 19, Issue 4. – P. 1971-1984.
7. Поляков, А. Н. Исследование эффективности моделирования корпусных деталей металлорежущих станков / А. Н. Поляков, С. В. Каменев // Техника машиностроения. – 2006. – № 3. – С. 2-6.
8. Мурашов, М. В. Особенности численного решения задачи контактного деформирования шероховатых тел в ANSYS / М. В. Мурашов, С. Д. Панин // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. – Серия: Приборостроение. – 2016. – № 1 (106). – С. 129-144.
9. Кулишов, С. Б. Определение контактных напряжений при моделировании задач в ANSYS MECHANICAL / С. Б. Кулишов, А. В. Куприевич, А. А. Вакунов // Динамика и прочность машин. – 2012. – Т. 15. – № 3-4. – С. 77-81.
10. Mian, Naeem S. Efficient estimation by FEA of machine tool distortion due to environmental temperature perturbations / Naeem S. Mian, S. Fletcher, A. P. Longstaff, A. Myers // Precision Engineering. – 2013. – Vol. 37. – P. 372-379.

Nikitina Inna Petrovna

Orenburg state university, Russia, Orenburg
E-mail: innanikitina@list.ru

Poliakov Aleksandr Nikolaevich

Orenburg state university, Russia, Orenburg
E-mail: anp_temos@mail.ru

Mishchenkov Dmitriy Cergeevich

Orenburg state university, Russia, Orenburg
E-mail: devil99977@mail.ru

Automated design of a horizontal-milling machine with numerical program control, equipped with a multi-spindle head

Abstract. The paper presents a technique for a typical modernization of a milling machine, which can be implemented at any average (in terms of production volumes) of the enterprise. The purpose of modernization is to increase the level of automation and create the conditions for embedding the machine in high-tech production, an integral part of the modern digital economy. A typical modernization technique is presented for a horizontal-milling machine. As ways to achieve this goal were used: the change in the kinematics of the gearbox with the expansion of the speed range of the horizontal and vertical spindles of the machine and the feed box; installation of a mechatronic module in the form of a multi-spindle head; installation of a numerical control system. For this purpose, the following was accomplished: the drive for the main machine motion; project drive machine; project mechatronic module. The design calculation of the gears was carried out in the «KOMPAS-3D» system. «Autodesk Inventor» software calculates shafts and bearings. The paper presents the results of the engineering analysis of the carrier system of the machine, performed using the automated system of engineering analysis «Ansys». A three-dimensional model of the machine was created in the 3D modeling software environment of «SolidWorks». The design model used the typical finite elements: «Solid185», «Solid186», «Solid226», «Solid227» and «Combine14». The engineering analysis of the machine included the calculation of the static, dynamic and thermal characteristics of the machine.

Keywords: machine tools; numerical control machines; modernization; multi-spindle head; computer-aided design