

*Никитина И.П., канд. техн. наук, доц.,  
Поляков А.Н., д-р техн. наук, проф.  
Оренбургский государственный университет*

## МЕТОДИКА МОДЕРНИЗАЦИИ СТАНКОВ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ С РУЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

[innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru)

*Целью данной статьи является представление разработанной методики модернизации станков фрезерной группы. В работе показана актуальность для отечественной промышленности модернизации имеющегося парка фрезерных станков. Рассматриваются возможные пути модернизации станков данной группы и способы их достижения. В качестве основного направления модернизации станков представлено оснащение их системой числового программного управления. Переход к числовому управлению приводит к необходимости замены кинематической схемы. Расширение технологических возможностей станка неизбежно связано с внесением изменений в несущую систему станка. Это приводит к необходимости выполнения инженерного анализа несущей системы станка. Описаны основные этапы инженерного анализа несущей системы станка. Автоматизированное проектирование и инженерный анализ станков реализован с помощью программ КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, Solid Works, CAE-системы ANSYS. В статье приведены примеры проектов конструкций станков, реализованные по разработанной методике.*

**Ключевые слова:** *металлорежущие станки, модернизация, автоматизированное проектирование, КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, Solid Works, CAE-система ANSYS.*

**Введение.** Технологическая независимость страны невозможна без развития ключевых отраслей экономики. Правительство, утверждая в качестве одного из драйверов роста экономики базовые и критические военные и промышленные технологии для создания перспективных видов вооружения, военной и специальной техники, начиная с 2000 года, никогда не задумывалось о необходимости заботиться в равной мере о развитии другой ключевой отрасли машиностроения – станкостроении.

При анализе проблем и перспектив развития экономики СССР многие экономические показатели соотносили с показателями экономики российской империи 1913 года. Сейчас многие экономисты соотносят современный уровень развития отечественной экономики с уровнем 1990 года [1]. В 1990 году СССР по уровню развития станкостроения в отдельных его сегментах, в частности по качеству отдельных компонентов и развитию электронных систем уступал отдельным производителям из Японии, Германии, США, Швейцарии. Однако, при этом по уровню потребления станков СССР занимал третье место, по объему производства – второе место. Это обеспечивало стране полную технологическую независимость, во всяком случае, в машиностроении.

В настоящее время лидеры развития информационных технологий: Китай, Япония, Германия, Южная Корея, США - являются бесмен-

ными лидерами производства и потребления металлорежущих станков [2, 3]. Очевидно, именно этот факт призвал правительство обратиться к проблемам отечественного станкостроения [4].

Оцениваемый экспертами уровень потребления станков в России даже в кризисный 2009 год составлял около 1 млрд. долларов США, а в 2008 году составлял более 1,7 млрд. долларов США [2]. В современном посткризисном периоде для предприятий машиностроительного профиля наметилась тенденция к продолжению тренда на техническое перевооружение, прерванное обвалом национальной валюты 2014 года.

В начале 90-х годов после разрушения отечественного станкостроения, как отрасли, только часть предприятий станкостроения смогла приспособиться к рыночным условиям. На первых этапах выживания важнейшим, а для многих предприятий единственным источником дохода, являлась деятельность, связанная с модернизацией станков. Несмотря на то, что российское станкостроение существует уже более 25 лет (ведя отсчет с 1991 года) отрасли не удалось преодолеть кризис. И как следствие этого, многие предприятия, производственный процесс которых во многом зависит от механообработки, занимаются модернизацией своего станочного парка.

**Постановка задачи модернизации.** В современном механообрабатывающем производстве фрезерные станки составляют не менее 10 % всего металлорежущего оборудования. На

современных универсальных фрезерных станках выполняют большое число различных технологических переходов. Однако, даже несмотря на использование большой номенклатуры вспомогательных инструментов и приспособлений, как правило, невозможно выполнить все технологические переходы, предусмотренные технологией обработки корпусной детали. Для их реализации используют станки другого типа, что серьезно усложняет технологию обработки детали и вносит дополнительные погрешности обработки. Таким образом, можно сформулировать основное направление модернизации фрезерных станков – это расширение технологических возможностей станка. Расширение технологических возможностей станка, неизбежно приводит к усложнению конструкции станка. Для снижения зависимости качества эксплуатации станка и повышения эффективности использования всех его технологических возможностей встает задача совершенствования системы управления станка на основе повышения уровня его автоматизации, то есть переход от ручного управления к числовому.

Глубокая модернизация станка приводит к изменению структуры штучного времени.

Анализ структуры штучного времени для универсальных станков с ручным управлением показывает, что машинное время составляет менее половины штучного времени. Поэтому при проведении модернизации следует разрабатывать мероприятия, обеспечивающие сокращение не только машинного времени, связанного, как правило, с обеспечением возможности производить обработку твердосплавными инструментами на современных режимах резания, но и вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, связанного:

- с установкой и креплением детали;
- с осуществлением рабочего цикла: введение механизмов ускоренного перемещения стола, автоматизация циклов обработки;
- с введением автоматических измерительных устройств, позволяющих производить замеры деталей во время обработки.
- с применением устройств, обеспечивающих очистку станка от стружки, ее удаление и защиту рабочего.

В настоящее время наиболее востребованными путями глубокой модернизации станков являются [5–7]: оснащение их системой числового программного управления (ЧПУ) и дополнительными средствами технологического оснащения. Это неизбежно приводит к повышению производительности и точности обработки деталей и сокращению затрат времени на их контроль. Станки с ЧПУ имеют расширенные техно-

логические 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.

Таким образом, обеспечение возможности работы на станке твердосплавными инструментами на современных режимах резания и одновременное проведение мероприятий по сокращению затрат вспомогательного и подготовительно-заключительного времени, обеспечение полной безопасности работы на станке, повышение долговечности отдельных деталей и узлов станка – весь этот комплекс мероприятий позволит значительно повысить производительность фрезерных станков с ручным управлением.

**Базовые мероприятия модернизации.** В данной работе представлена методика типовой модернизации фрезерных станков, которая может быть реализована на любом среднем (по объемам производства) предприятии:

- изменение кинематики коробок передач за счет расширения диапазона частот вращения шпинделей станка и подач, а также мощности резания;
- установка системы ЧПУ, которая обеспечит необходимое изменение скорости вращения шпинделя, величины рабочей подачи и скоростей холостого хода, а также управление устройств электроавтоматики станка;
- установка мехатронных модулей, связанных с установкой и креплением детали или инструмента и их смены;
- обеспечение подачи смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону резания;
- разработка мероприятий по очистке станка от стружки и защите рабочего.

**Описание модернизации станка.** С целью снижения трудоемкости процесса проектирования и проведения кинематических и силовых расчетов привода с бесступенчатым регулированием, расчетов зубчатых передач, валов и подшипников и других виды расчета используются системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D, Autodesk Inventor, SolidWorks, CAE-система ANSYS и программное обеспечение, разработанное на кафедре технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов (Оренбургский государственный университет) [8].

*Первый этап* – анализ компоновки станка и разработка кинематической схемы привода. Выполняется анализ взаимного расположения рабочих органов станка, особенности исходной кинематической схемы модернизируемого станка,

пространственное положение источников движения. Особенностью реализации привода главного движения с бесступенчатым регулированием является расширение диапазона регулирования за счет увеличения верхнего диапазона частот вращения шпинделя, при условии или сохранении нижнего ряда частот или незначительного его изменения, а также исключения падения мощности привода. Это достигается за счет использования автоматической коробки скоростей (АКС) или редуктора.

На рис. 1 и 2 представлены кинематическая сема и график частот вращения широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели 6Р82Ш до и после модернизации.

В предлагаемом варианте модернизации допущено незначительное увеличение нижней частоты вращения до 95 об/мин при сохранении прежней мощности резания. Это повышение минимальной частоты вращения не приводит к потере прежней функциональности станка.

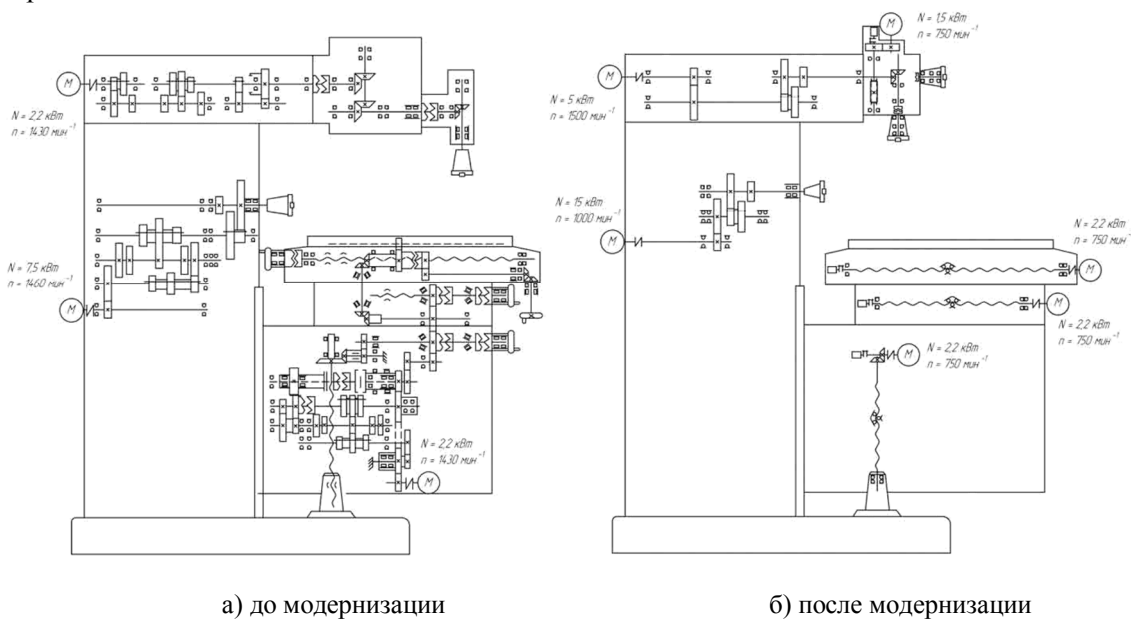


Рис. 1. Кинематическая схема широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели 6Р82Ш

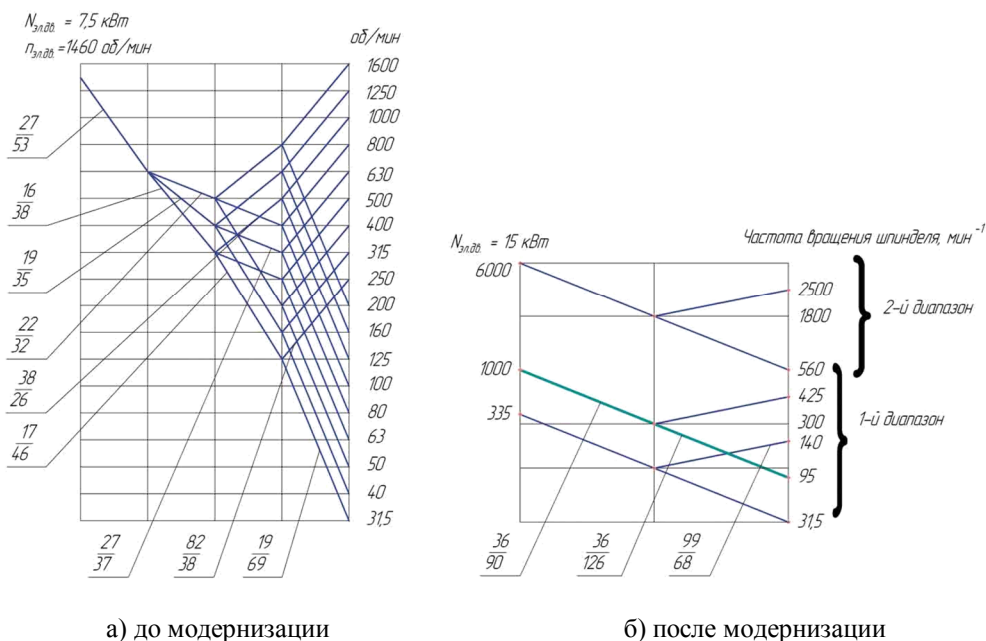


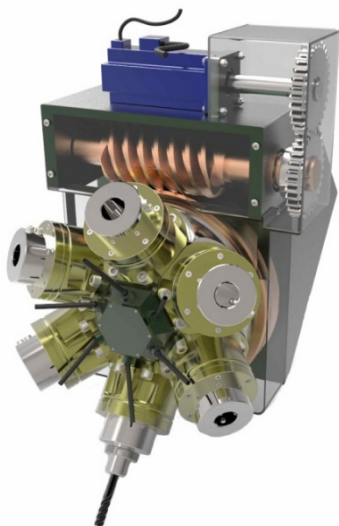
Рис. 2. Графики частот вращения горизонтального шпинделя широкоуниверсального консольно-фрезерного станка модели 6Р82Ш

Вместе с кинематическим расчетом выполняется силовой расчет коробки скоростей, в ходе

которого уточняются числа зубьев зубчатых передач, используемых в АКС.

*Второй этап.* К приспособлениям, расширяющим технологические возможности фрезерных станков, относятся круглые поворотные столы, многошпиндельные сверлильные головки, фрезерные головки и др. Некоторые головки позволяют производить быструю смену инструмента между технологическими переходами.

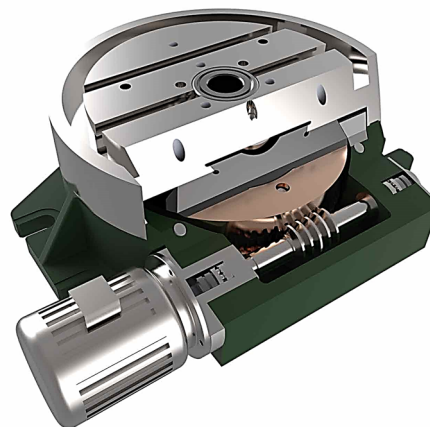
На рис. 3, а показана мехатронная револьверная головка, разработанная при модернизации широкоуниверсального консольно-фрезерного



а) шестишпиндельная револьверная головка

станка модели 6Р82Ш [9]. Головка содержит необходимый набор устройств, механизмов и элементов оснащения: устройство фиксации поворотного механизма, механизм поворота инструмента, для контроля угловой позиции головки предусмотрен комплект датчиков.

На рис. 3, б показан мехатронный поворотный стол, разработанный при модернизации вертикального консольно-фрезерного станка модели 6Р13.



б) поворотный стол

Рис. 3. Мехатронные модули

*Третий этап.* Правильно сконструированное и изготовленное ограждение обеспечивает надежную защиту не только работающего оборудования, но и оператора-станочника и другой работающий в цеху персонал. Ограждение не должно дребезжать и вибрировать при работе основного оборудования. Для защиты от отлетающей стружки при фрезеровании применяют различные защитные прозрачные ограждения, решетки, ширмы, кабинетную защиту [10].

На рис. 4 и 5 показаны фрезерные станки до и после модернизации.

*Четвертый этап.* Модернизация станков реализуется двух типов. Первый тип модернизации предполагает минимальные изменения в несущую систему станка. В качестве примера рассматривается установка накладного стола (рис. 4, б). Второй тип модернизации связан с более существенным внесением изменений в конструкцию основных элементов несущей системы станка. Например, основание или стойка станка остаются без изменений, а изменения вносятся в шпиндельную головку (рис. 5 б). В этом случае для несущей системы станка необходимо произвести инженерный анализ на основе любой САЕ-системы [11–17]. В зависимости от особенностей модернизации несущей системы станка (НСС)

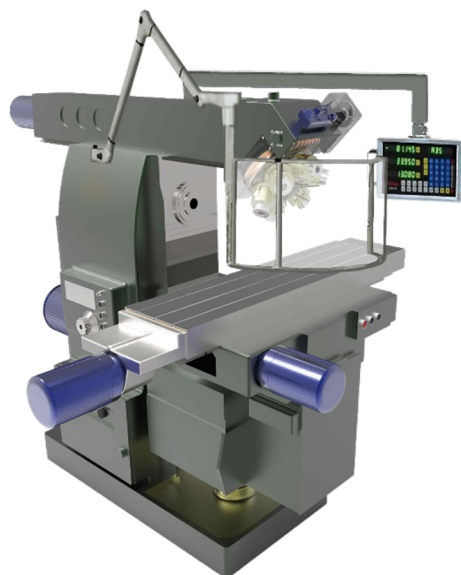
необходимо выполнить комплекс типовых расчетов, методика которых для САЕ-системы Ansys представлена в работе [17].

На первом этапе инженерного анализа станка осуществляется расчет статических характеристик станка с условиями жесткого закрепления в опорных элементах станка на фундамент. Этот вид расчета выполняется только в качестве базового, позволяющего оценить качество выполненной геометрической модели НСС и правильность задания необходимых входных параметров расчетной модели, формирующих условия однозначности.

На втором этапе инженерного анализа выполняется статический расчет НСС с условиями упругого закрепления в опорных элементах станка на фундамент. Результатом данного расчета является относительное пространственное положение инструмента и заготовки, которое обязательно соотносится с требуемыми параметрами размерной точности обработки. Приемлемым результатом является трехкратное превышение требуемого допуска на размер над максимальным относительным статическим перемещением, зафиксированным на шпинделе. Здесь для расчета относительного перемещения принимается базовое перемещение верхней поверхности стола.



а) до модернизации



б) после модернизации

Рис. 4. Широкоуниверсальный консольно-фрезерный станок модели 6P82Ш



а) до модернизации



б) после модернизации

Рис. 5. Вертикальный консольно-фрезерный станок модели 6P13

На третьем этапе инженерного анализа для получения более достоверных значений перемещений предлагается осуществлять статический расчет НСС с учетом неидеальных стыков. При этом, для НСС предлагается использовать упрощенную модель стыка, основанную на использовании упругих пружинных элементов, например, COMBIN 14, а не специальных контактных элементов.

Статический расчет не дает полного представления о влиянии внесенных в конструкцию НСС изменений. Поэтому на четвертом этапе инженерного анализа выполняется модальный расчет НСС. При этом используется расчетная мо-

дель на упругих опорах. Модальный расчет позволяет оценить проявление собственных или резонансных частот НСС.

Для получения количественных оценок динамического качества НСС на пятом этапе инженерного анализа проводят динамический расчет НСС с условиями упругого закрепления. Результатом данного расчета является рабочий диапазон частот вращения станка с учетом виброустойчивости станка.

Если принципиально меняется верхний диапазон частот вращения шпиндельного узла, то обязательным этапом инженерного анализа является расчет его тепловых характеристик. В ходе которых оценивается и температурное поле



станка, и поле температурных деформаций. При этом может выполняться как расчет стационарного температурного поля, так и его нестационарный расчет. Тепловой стационарный расчет НСС дает только предельную оценку сверху. Для оценки влияния температурной погрешности станка имеет значение только нестационарный расчет как температурного поля, так и относительных температурных перемещений.

Инженерный анализ НСС позволяет в целом оценить статические, динамические и тепловые характеристики. Для детальной проработки конструкции важнейших элементов НСС следует выполнить отдельные расчеты по более подробной геометрической и расчетной модели. Заключительным этапом инженерного анализа станка является расчет шпиндельного узла [18].

К модернизируемым станкам, предназначенным для работы при повышенных режимах, должны быть предъявлены высокие требования в отношении виброустойчивости, что определенным образом связано с повышением жесткости станков. Станок должен быть проверен на жесткость по нормам, установленным соответствующими ГОСТ. Быстровращающиеся детали станка должны быть отбалансированы. Это требование относится в первую очередь к шпинделям, патронам, шкивам и роторам электродвигателей. Станки быстроходные, предназначенные для скоростного резания, должны подливаться цементом и укрепляться фундаментными болтами и только в особо ответственных случаях устанавливаться на индивидуальные фундаменты.

#### Выводы.

1. Представлена методика модернизации металлорежущих станков с ручным управлением, построенная на использовании современных автоматизированных систем проектирования различного назначения.

2. Представленный в работе иллюстративный материал дает представление об эффективности реализации предлагаемой методики модернизации металлорежущих станков.

3. Учитывая универсальность предложенной методики, она может быть легко адаптирована к другим техническим системам, имеющим схожие с металлорежущим оборудованием проблемы модернизации.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бодрова Е.В., Калинов В.В. Развитие отечественного станкостроения как отражение процессов деиндустриализации и демодернизации страны на рубеже XX-XXI вв // Наука и современность. 2016. № 42. С. 7–11.

2. Мировое станкостроение 2006-2016 гг. // Комплект: ИТО. Инструмент. Технология. Оборудование. 2017. №5. С. 97–102.

3. Григорьев С.Н. Перспективы развития отечественного станкостроения в интересах обеспечения технологической независимости российского машиностроения // Станкоинструмент. 2017. № 1. С. 18–23.

4. Григорьев С.Н. Развитие российского станкостроения с использованием научно-технического потенциала МГТУ «СТАНКИН» // Вестник МГТУ «Станкин». 2017. № 1. С. 7–14.

5. Чикунов Г., Политов В. Модернизация станочного парка в рамках мировой кооперации [Электронный ресурс] // Умное производство. Выпуск 39 от 09.2017. URL:

[http://www.umpro.ru/index.php?page\\_id=17&art\\_id\\_1=249&group\\_id\\_4=62](http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=249&group_id_4=62) (дата обращения: 28.02.2018).

6. Петрешин Д.И., Федонин О.Н., Хандожко А.В., Прокофьев А.Н. Модернизация систем управления металлорежущих станков с ЧПУ для расширения функциональных возможностей станков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. №3. С. 148–153.

7. Петрешин Д.И., Суслов А.Г., Федонин О.Н. Модернизация станков с ЧПУ и автоматизированная система сбора данных их функционирования // Научные технологии в машиностроении. 2016. № 4. С. 42–48.

8. Кинематический расчет привода с бесступенчатым регулированием «Besstup» // А.Н. Поляков, К.С. Романенко; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»; свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013610688; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9.01.2013 г.

9. Никитина И.П., Поляков А.Н., Мищенко Д.С. Автоматизированное проектирование горизонтально-фрезерного станка с числовым программным управлением, оснащенного мультишпиндельной головкой [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Наукоедение». 2017. Том 9. №6. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/08TVN617.pdf> (дата обращения: 28.02.2018).

10. Защитные ограждения для фрезерных станков [Электронный ресурс]. URL: <http://bultehstan.ru/zapchasti/zashhitnye-ustrojstva/zashhitnye-ustrojstva-dlya-frezernyh-stankov/> (дата обращения: 28.02.2018).

11. Кирилин Ю.В., Демидов С.А., Спиридо-

нов Е.А. Анализ влияния качества сетки твердотельных конечных элементов на точность расчетов динамических характеристик несущих систем станков // Автоматизация процессов управления. 2016. № 4. С. 29–34.

12. Атапин В.Г. Некоторые вопросы проектирования многоцелевых станков // Актуальные проблемы в машиностроении. 2016. № 3. С. 199–204.

13. Hong C.C., Cheng-Long Chang, Chien-Yu Lin Static structural analysis of great five-axis turning–milling complex CNC machine // Engineering Science and Technology, an International Journal. 2016. Vol. 19, Issue 4. Pp. 1971–1984.

14. Мурашов М.В. Особенности численного решения задачи контактного деформирования шероховатых тел в ANSYS // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2016. № 1. С. 129–144.

15. Aadeshra N., Patel R.L. Static and Dynamic Analysis of Base of Vertical Machining Center - A Review // International Journal of Engineering

Trends and Technology (IJETT). Vol. 21, no. 9. March 2015. Pp. 419–422.

16. Koura M.M., Zamzam M.L. Simulation approach to study the behavior of a milling machine's structure during end milling operation // Turkish journal of engineering and environmental sciences. 2014. No 38. P. 167–183.

17. Додоров А.И., Поляков А.Н. Моделирование несущих систем станков на основе стержневых и твердотельных конечных элементов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб. материалов всероссийской научно-методической конференции // Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2017. С. 98–103.

18. Каменев С.В., Марусич К.В. Методика автоматизированного построения тепловой модели шпиндельного узла с использованием CAE-системы [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Том 9. №6. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: <https://naukovedenie.ru/PDF/19TVN617.pdf> (дата обращения: 28.02.2018).

#### Информация об авторах

**Никитина Инна Петровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов.

E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru).

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

**Поляков Александр Николаевич**, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения, металлообрабатывающих станков и комплексов, профессор.

E-mail: [anp\\_temos@mail.ru](mailto:anp_temos@mail.ru).

Оренбургский государственный университет.

Россия, 460018, г. Оренбург, просп. Победы, д. 13.

---

Поступила в марте 2018 г.

© Никитина И.П., Поляков А.Н., 2018

---

**I.P. Nikitina, A.N. Polyakov**

#### **METHOD OF MILLING MACHINES WITH MANUAL CONTROL MODERNIZATION**

*The purpose of this article is to present the developed methodology for milling group machines modernization. The work shows the relevance for the domestic industry of the modernization of the existing park of milling machines. The possible ways of machines modernization of this group and ways of their achievement are considered. The main direction of machines modernization is represented by equipping them with a system of numerical program control. The transition to numerical control leads to the need of replacing the kinematic scheme. The expansion of the technological capabilities of the machine is inevitably associated with the introduction of changes in the carrier system of the machine. This leads to the need of engineering analysis performance of the carrier system of the machine. The main stages of engineering analysis of the bearing system of the machine are described. Automated design and engineering analysis of machines is implemented using the programs KOMPAS-3D, Autodesk Inventor, Solid Works, CAE-system ANSYS. The article gives examples of machine tool projects of designs implemented according to the developed technique.*

**Keywords:** metal-cutting machines, modernization, computer-aided design, KOMPAS-3D, Autodesk Inventor. Solid Works, CAE-system ANSYS.

---

## REFERENCES

1. Bodrova E.V., Kalinov V.V. The development of domestic machine-tool construction as a reflection of the processes of de-industrialization and demodernization of the country at the turn of XX-XXI vv. *Science and modernity*, 2016, no. 42, pp. 7–11.
2. The world machine-tool industry 2006-2016. Set: ITO. Tool. Technology. Equipment, 2017, no. 5, pp. 97–102.
3. Grigoriev S.N. Prospects for the development of the national machine-tool industry in the interests of ensuring the technological independence of the Russian engineering industry. *Stankoinstrument*, 2017, no. 1, pp. 18–23.
4. Grigoriev S.N. The development of the Russian machine tool building using the scientific and technical potential of the MGTU «STANKIN» // *Bulletin of MSTU «Stankin»*, 2017, no. 1, pp. 7–14.
5. Chikunov G., Politov V. Modernization of the machine park in the framework of world cooperation. *Smart production*, Issue 39 of 09.2017. Available at: [http://www.umpro.ru/index.php?page\\_id=17&art\\_id\\_1=249&group\\_id\\_4=62](http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=249&group_id_4=62) (accessed 28.02.2018)
6. Petreshin D.I., Fedonin O.N., Handozhko A.V., Prokofiev A.N. Modernization of control systems for metal-cutting machine tools with numerical control for expansion of functional capabilities of machine tools. *Fundamental and applied problems of technology and technology*, 2014, no. 3, pp. 148–153.
7. Petreshin D.I., Suslov A.G., Fedonin O.N. Modernization of CNC machines and automated data collection system for their operation. *High technology in engineering*, 2016, no. 4, pp. 42–48.
8. Polyakov A.N., Romanenko K.S. Kinematic calculation of the drive with infinitely adjustable «Besstup». Certificate of state registration of the computer program no. 2013610688, 2013.
9. Nikitina I.P., Polyakov A.N., Mishchenkov D.S. Automated design of a horizontal milling machine with numerical program control, equipped with a multi-spindle head. *Internet-journal «Naukovedenie»*, 2017, tom 9, no. 6. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/08TVN617.pdf> (accessed 28.02.2018).
11. Kirilin YU.V., Demidov S.A., Spiridonov E.A. Analysis of the influence of the quality of the grid of solid-state finite elements on the accuracy of calculations of the dynamic characteristics of the bearing systems of machine tools. *Automation of management processes*, 2016, no. 4, pp. 29–34.
12. Atapin V.G. Some issues of designing multipurpose machines. *Actual problems in mechanical engineering*, 2016, no. 3, pp. 199–204.
13. Hong C.C., Cheng-Long Chang, Chien-Yu Lin. Static structural analysis of great five-axis turning–milling complex CNC machine. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 2016, vol. 19, Issue 4, pp. 1971–1984.
14. Murashov M.V. Features of the numerical solution of the problem of contact deformation of rough bodies in ANSYS. *Bulletin of the Moscow State Technical University. N.E. Bauman. Series: Instrument making*, 2016, no. 1, pp. 129–144.
15. Aadeshra N., Patel R.L. Static and Dynamic Analysis of Base of Vertical Machining Center - A Review. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, vol. 21, no 9, March 2015, pp. 419–422.
16. Koura M.M., Zamzam M.L. Simulation approach to study the behavior of a milling machine's structure during end milling operation. *Turkish journal of engineering and environmental sciences*, 2014, no. 38, pp. 167–183.
17. Dodorov A.I., Polyakov A.N. Modeling of bearing systems of machine tools on the basis of rod and solid-state finite elements. University complex as a regional center of education, science and culture: *Sat. materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference*. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2017, pp. 98–103.
18. Kamenev S.V., Marusich K.V. Technique of automated construction of a thermal model of a spindle unit using a CAE system. *Internet-journal «Naukovedenie»*, 2017, vol. 9, no. 6. Available at: <https://naukovedenie.ru/PDF/19TVN617.pdf> (accessed 28.02.2018)

*Information about the author*

**Inna P. Nikitina**, PhD, Assistant professor.  
E-mail: [innanikitina@list.ru](mailto:innanikitina@list.ru).  
Orenburg State University.  
Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

**Aleksandr N. Polyakov**, PhD, Professor.  
E-mail: [anp\\_temos@mail.ru](mailto:anp_temos@mail.ru).  
Orenburg State University.  
Russia, 460018, Orenburg, av. Pobedy, 13.

---

*Received in March 2018*