

Анализ опыта современных отечественных научных школ в области точности металлорежущих станков*

Аникеева О.В.

Юго-Западный государственный университет
г. Курск, Российская Федерация
olesya-anikeeva@yandex.ru

Аннотация. В работе проведен анализ опыта современных отечественных научных школ, изучающих проблемы в области точности металлорежущих станков. Приведены сведения о направлениях работы школ, о вехах, нашедших широкое распространение. Рассмотрены наиболее известные методы, служащие основой для последующих исследований. Основной чертой рассмотренных работ является приверженность исследователя к одной из фундаментальных научных школ СССР в области научных основ точности станков. Обоснована роль систематизации и интеграции изученных работ для вывода научных исследований на качественно новый уровень.

Ключевые слова: научная школа, металлорежущие станки, геометрическая точность станков.

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на планомерное развитие с 30-х годов XX века по настоящее время теоретических основ расчета точности металлорежущих станков, в научных школах зарубежных стран (ФРГ, США, Япония) и Российской Федерации широко используют опыт научных школ СССР, развивая и углубляя подходы и методы, повышающие точность и надежность станков. Значительную часть научных результатов принадлежит научным школам профессоров: В.Э. Пуша [1], А.С. Проникова [2-4], А.В. Пуша [5], В.Т. Портмана [6-10], Б.М. Базрова [11, 12], М.Г. Косова [13-17]. Заложенные ими научные основы геометрической точности станков являются фундаментом современных направлений исследований.

Цель настоящей работы заключается в проведении анализа исследований современных научных школ, посвященных проблемам повышения точности металлорежущих станков, выявлении взаимосвязей между исследованиями.

НАУЧНАЯ ШКОЛА МГТУ «СТАНКИН»

В работах проф. Косова М.Г. влияние геометрической точности металлорежущих станков на точность обработки определялось с помощью системы нетвердотельного моделирования, разработанной в научной школе МГТУ «СТАНКИН» [13-17]. Автором была создана дискретная модель технологической машины, учитывающая характер геометрических, силовых и энергетических связей между ее деталями и узлами. Представление связей как набора нетвердотельных расчетных макроэлементов объемного, поверхностного и проволоочного типов, дает возможность

описания взаимосвязей между геометрическими и физико-механическими характеристиками расчетных макроэлементов и точностными, прочностными и жесткостными параметрами станка.

Гавриловым А.В. под руководством проф. М.Г. Косова была изучена физическая сущность влияния на погрешность базирования условий контактирования прилегающих поверхностей, учитывающих многообразие положений заготовки при ее перемещении [18]. Автором были разработаны математические модели образования погрешностей базирования деталей, отражающие совокупность действующих в пространстве факторов, геометрические размеры, контактные деформации, характер трения, относительные перемещения деталей в приспособлении. Особое внимание [18] было уделено динамическим факторам технологических систем. Разработанные им методики определения погрешности базирования корпусных деталей при различных схемах установки, позволяющие повысить эффективность и точность расчетов в процессе проектирования технологических процессов.

М.С. Белякова под руководством проф. М.Г. Косова разработала информационную модель автоматизированного построения реального геометрического образа изделий на основе создания математических моделей стыкуемых поверхностей, приближенных к реальному профилю [19]. М.С. Белякова выделила в качестве особенностей геометрического образа технической поверхности такие факторы, как: наличие отклонения формы поверхности от теоретического прототипа и отклонение расположения поверхности от идеально заданного. Оценку этих отклонений автор предложила определять показателями точности (отклонениями формы, расположения). В своем исследовании Белякова М.С. разработала систему связей между поверхностями деталей с учетом отклонения формы и положения поверхностей, а также методологию формирования геометрического образа изделия, приближенного к реальному прототипу.

Для повышения точности металлорежущих станков проф. Кузнецовым А.П. разработаны методы и средства создания автоматизированных систем управления их тепловым состоянием. В его работах отмечено, что доля тепловых деформаций в общем балансе погрешностей обработки и точности станка тем выше, чем жестче и выше требования к точности обрабатываемых деталей [20-24]. Проф. А.П. Кузнецовым предложена схема показателей точности

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-60049 мол_а_дк.

металлорежущего станка, в которой изделие выступает как интегрирующее звено всех целенаправленных воздействий и взаимодействий, направленных на достижение заданного качества, значений параметров и свойств [20].

Из разработанной схемы образования и формирования погрешностей металлорежущего станка была выделена и изучена последовательность формирования показателей теплового режима станка, что послужило основанием для формирования модели управления тепловым состоянием и точностью металлорежущих станков.

Повышение эффективности металлорежущего оборудования на основе диагностирования их состояния было изучено в научной школе МГТУ «СТАНКИН» проф. Сабировым Ф.С. [25]. Для повышения качества обработки им предложена система вибро-акустического контроля для оперативной диагностики состояния станка, при которой необходимо учитывать особенности динамики системы «станок-инструмент-деталь» [26-31]. Проведен теоретический анализ и получены зависимости, связывающие характеристики варьируемых подсистем с выходными характеристиками динамической системы станка. Автор ввел понятие технологического факторного пространства металлорежущих станков, которое определяет интервалы изменения факторов, связанных со станком, приспособлением, инструментом и заготовкой.

В.А. Соколовым под руководством проф. В.И. Телешевского разработан метод коррекции систематических геометрических погрешностей многокоординатных систем [32]. Особое внимание в исследованиях уделено способу программной автоматической коррекции объемных геометрических погрешностей таких систем с помощью лазерных интерференционных измерений [33-35]. Для решения поставленных задач авторы использовали методы кинематики твердого тела и нотацию Денавита-Хартенберга для описания движений подвижных узлов машин. Одним из результатов исследования является карта пространственной точности машины, которая позволила в цифровой и графической форме находить искажения обрабатываемых поверхностей изделия.

Под руководством проф. Бушуева Владимира Васильевича В.В. Молодцовым решалась проблема повышения эффективности, в т.ч. обеспечения заданной точности металлорежущих станков, при росте их производительности, за счет разработки методов их проектирования как мехатронных систем [36]. С помощью разработанных специальных методов и средств повышения точности и производительности металлообрабатывающих станков как мехатронных систем, осуществляется научно-обоснованный, согласованный выбор параметров конструкции электро-механических приводов подачи и главного движения.

Под руководством В.В. Молодцова Бушуевым Виктором Валерьевичем решалась проблема повышения точности многокоординатных станков с ЧПУ для контурной обработки деталей со сложным профилем решалась с помощью улучшения динамических характеристик электро-механических приводов подачи с шариковыми винтовыми передачами при параметрическом синтезе их конструкции [37].

Научные школы СГТУ, УГАТУ, КФУ

В Саратовском государственном техническом университете им. Гагарина Ю.А. Митиным С.Г. была решена

проблема создания и развития методологии синтеза технологических операций со сложной структурой. Предложенные разработки позволяют не только автоматизировать разработку технологического процесса на уровне технологических операций, но и обеспечить эффективное использование технологических возможностей производственной системы [38]. Особое место в исследовании автор отводит требуемой точности обработки и качеству получаемой поверхности, которые влияют на выбор структуры технологической операции в конкретных условиях производства [39].

В Уфимском государственном авиационном техническом университете проф. Р.Г. Кудояров и Р.Р. Кадыров вели научную работу по исследованию зависимости геометрической точности станка и отклонений изготавливаемых на нем деталей. Их исследования проводились над методами анализа точности металлообрабатывающего станка с ЧПУ, позволяющими прогнозировать влияние геометрических погрешностей станка на отклонения деталей [40-42].

В Набережночелнинском институте Казанского федерального университета Хусаинов Р.М. проводил исследование механизма влияния погрешностей отдельных звеньев цепи деления зубофрезерного станка на циклические погрешности нарезаемых зубчатых колес с учетом динамических факторов [4]. Им разработана математическая модель станка, с помощью которой возможно производить расчет погрешности нарезаемого колеса с учетом колебательных процессов в системе станка. В более поздних работах [44-49] автор занимался вопросами диагностики и компенсации геометрических погрешностей станка, моделированием показателей точности обрабатываемых на токарном станке поверхностей с учетом геометрических погрешностей станка [50]. Здесь особенно следует упомянуть работу проф. Решетова Д.Н. и проф. Портмана В.Т. [10], послужившую первоосновой для проводимого моделирования.

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА

В МГТУ им. Н.Э. Баумана вопросами повышения точности обработки занимаются ученые научных школ кафедр: «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки», «Системы автоматизированного проектирования».

И.И. Кравченко [51] разработал математическую модель расчета отклонений формы, размера и взаимного расположения плоских поверхностей [52, 53]. В работе автор для нахождения вектора отклонений от номинального положения каждой точки рассматриваемой поверхности предложил использовать разработанную им математическую модель торцового фрезерования, учитывающую анизотропные свойства упругой технологической системы. В качестве базы отсчета отклонений И.И. Кравченко предложил использовать среднюю плоскость, а оценку погрешностей обработки плоскости производить с помощью векторного поля, описывающего отклонения точек реальной поверхности от номинального положения.

Совместно с В.Л. Киселевым, выполнен анализ причин возникновения погрешностей обработки при получении отверстий [54].

Киселев В.Л. изучил проблему возникновения деформаций базовых деталей приспособлений для закрепления

заготовки под действием сил закрепления, а также их влияния на погрешность обработки [55]. Разработаны методики для оценки деформаций, которые можно применять к компоновкам универсально-сборных и специальных приспособлений, имеющим в качестве базовых деталей угольники и плиты.

Проф. В.М. Утенковым проводилась разработка методик прогнозирования потери точности металлорежущих станков при износе направляющих скольжения и моделирования следа обработки поверхности, позволяющая осуществлять расчет погрешностей детали, учитывая погрешности станка и инструмента. В последней предложенной методике, в отличие от метода расчета, предложенного проф. Портманом Д.Н. и проф. Решетовым В.Т. [10], задача построения обработанной поверхности решается путем нахождения самопересечений траекторий точек инструмента, «отбрасывания» лишних участков введением новой функции времени для каждой точки инструмента и «склеивания» получившихся участков [56, 57].

Ягопольским А.Г. изучались проблемы и методы диагностики состояния металлорежущих станков [58-60], изучались температурные деформации, возникающие в станках и влекущие за собой возникновение погрешностей обработки. Автором был проведен анализ и обобщение наиболее распространенных способов коррекции температурных деформаций с выявлением их достоинств и недостатков, особенностей применения и ограничений по их использованию в современных условиях [61]. В результате работы выявлено, что система управления процессом обработки на основе контроля температурных деформаций позволяет посредством предсказания управляющей программы проводить коррекцию этих деформаций и размерных погрешностей, что обеспечивает уменьшение погрешности формы и размеров. Ягопольским А.Г. разработан оптико-электронный мехатронный комплекс диагностических испытаний токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортных узлов, позволяющий проводить автоматизированную обработку и анализ информации о параметрах траекторий перемещения суппортного узла в интерактивном режиме [62]. Под руководством А.Г. Ягопольского, студентами А.И. Власовым и И.П. Ивановым, на основе работ проф. А.С. Проникова [3, 4], предложена концепция метода программных испытаний станков, реализуемая с помощью комплекса экспресс-диагностики [63].

В работе Мещеряковой В.Б., Авдошина К.А. [64] рассматривался разрабатываемый на кафедре «Металлорежущие станки» МГТУ им. Н.Э. Баумана метод автоматизированной оценки точности высокоскоростной обработки на станках с ЧПУ, на основе которого создается программное обеспечение для систем ЧПУ класса CNC, позволяющее реализовать функцию прогнозирования точности обработки по параметрам точности модели изделия, получаемой в процессе моделирования функционирования станка с учетом погрешностей его отдельных элементов.

Для определения погрешностей станка с использованием рассматриваемого метода, использовалась автоматизированная измерительная система Ballbar фирмы Renishaw. В работе [64] приведены результаты применения программного метода: получена автоматизированная комплексная оценка геометрической точности станков, в виде

круговых диаграмм получены траектории рабочих органов по отклонению от круглости которых оценивались: люфт, боковой люфт, выброс обратного хода, циклическая ошибка, рассогласование приводов, отклонение от перпендикулярности и отклонение от прямолинейности.

Кашуба Л.А. разработал теорию сравнения реальной геометрии деталей изделий машиностроения с номинальной геометрией деталей [65-70]. Автором изучена возможность применения предложенной теории для разработки САПР, обеспечивающей моделирование геометрии недеформируемых деталей, ограниченных реальными поверхностями, с последующим переходом к моделированию сопряжения реальных поверхностей деталей, сборки деталей и оценки изменения геометрии изделия после сборки. С помощью теории Л.А. Кашубы возможно вычисление всех размеров, определяющих объем детали, параметров отклонений величины, формы и расположения ее реальных поверхностей. Влияние геометрических параметров станка при этом не рассматривалось.

В.В. Додоновым изучались вопросы формирования погрешностей обработки на металлорежущих станках с ЧПУ [71]. Автор проанализировал возможности повышения точности обработки с помощью коррекции управляющих программ и частичной компенсации элементарных погрешностей.

ДРУГИЕ НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ

В МГТУ «МАМИ» вопросами повышения точности обработанных поверхностей на металлорежущих станках занимается коллектив авторов во главе с Бекаевым А.А. [72] На раннем этапе исследований, А.А. Бекаевым была рассмотрены пути улучшения геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали на основе усовершенствования конструкции режущего инструмента [73, 74]. При этом рассматривался процесс прошивания. Затем А.А. Бекаев исследовал влияние геометрических параметров качества поверхности заготовки на макро- и микрогеометрию обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания [75, 76]. В 2012 г. под руководством проф. Максимова Ю.В. исследовалась проблема обеспечения точности обработки на станках с ЧПУ [77]. Был предложен алгоритм создания математической модели формирующей системы станка с ЧПУ, позволяющей учитывать погрешности узлов станка. При этом в алгоритм был введен модуль коррекции в управляющую программу станка. В 2017 г. Бекаевым А.А., Максимовым Ю.В., Кузьминским Д.Л. и Строковым П.И. предложен способ программной коррекции исполнительных движений узлов металлорежущего станка с ЧПУ, позволяющий повысить качество и точность обработки в режиме реального времени [78]. Предложенный способ был разработан на основе математической модели обрабатывающего центра.

Авдеевым В.Б. (МГТУ «МАМИ») с 80-х гг. XX века ведутся работы над исследованием параметрической надежности станков с ЧПУ. В более поздних исследованиях В.Б. Авдеев, на основе разработанной А.С. Прониковым методологии оценки параметрической надежности станков, предложил метод определения точностной надежности токарных станков с ЧПУ с учетом взаимного влияния процессов, снижающих точность обработки [79]. При этом безотказность станков определяется по параметрам точности обрабатываемых деталей с учетом взаимного влияния процессов, ухудшающих точность обработки.

В Волгоградском государственном техническом университете Неизвестных А.Г. и Крыловым Е.Г. был проведен анализ точности обработки деталей на металлорежущих станках с ЧПУ [80]. Баланс точности обработки на станках с ЧПУ предлагается определять по выражению [80]:

$$\Delta_p = k\sqrt{\varepsilon_{уст}^2 + \Delta_{р.настр}^2 + \Delta_{р.чпу}^2 + \Delta_{р.у}^2}, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{уст}$ – поле погрешности установки; $\Delta_{р.настр}$ – поле погрешности настройки; $\Delta_{р.чпу}$ – поле погрешности системы ЧПУ; $\Delta_{р.у}$ – поле погрешности размеров от упругих деформаций.

При этом были выражены зависимости для:

1) поля погрешности установки $\varepsilon_{уст}$ от: поля погрешности базирования, поля погрешности закрепления и поля погрешности, вызываемого погрешностью изготовления приспособления, установкой его элементов и их износом в процессе эксплуатации;

2) поля погрешности настройки $\Delta_{р.настр}$ от: поля погрешности предварительной настройки инструмента в блоке, поля погрешности установки блока на станке, поля погрешности фиксации поворотного резцедержателя или револьверной головки станка и поля погрешности измерений при настройке станка;

3) поля погрешности системы ЧПУ $\Delta_{р.чпу}$ от: составляющих, связанных с погрешностями подготовки управляющих программ, и составляющих, связанных с погрешностями воспроизведения управляющих программ.

Под руководством проф. Базрова Б.М., А.В. Сахаров (МГИУ; Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН) разработал метод определения технологических возможностей станков для проектирования технологических процессов и обоснования производственной программы [81]. В работе [82] в качестве предмета производства рассматривались модули поверхностей (с их размерными и точностными характеристиками), из которых можно построить любую деталь [11, 12]. В диссертационном исследовании [82] А.В. Сахаров установил, что из всего перечня показателей точности станка на точность модуля поверхностей влияют только те показатели, которые непосредственно связаны с точностью детали. Особого внимания заслуживает разработанная А.В. Сахаровым методика определения конструкций модулей поверхностей, изготавливаемых на станке.

Сахаров А.В. выявил, что на геометрическую форму обрабатываемых поверхностей влияют: метод обработки, схема формообразующих движений станка и геометрия рабочей части обрабатывающего инструмента; на размеры обрабатываемых поверхностей влияют: габариты рабочего пространства станка, диапазоны перемещений рабочих органов станка по координатным осям и размеры рабочей части обрабатывающего инструмента. Автор определил перечень поверхностей, образующих конструкции всех видов модулей поверхностей, и показал, что перечень ограничен 15-ю поверхностями, из которых 6 являются поверхностями простой формы.

Все проверки геометрической и кинематической точности станков, указанные в ГОСТ 22267-76 [83], Сахаров А.В. предложил разделить на группы по типовым показателям точности:

- относительного движения рабочих органов;
- относительного положения рабочих органов;
- геометрической формы рабочих поверхностей.

Автором предложена схема связей показателей точности станка по ГОСТ 22267-76 [82].

Ссылаясь на работу проф. А.С. Проникова [84], А.В. Сахаров указывает особую важность рассмотрения точности изготовленных деталей в качестве выходного параметра станка. Для этого он устанавливает качественные и количественные связи между геометрическими погрешностями станка и погрешностями изготовления детали посредством проведения последовательного анализа каждого показателя точности станка и последующего формирования перечня показателей точности, непосредственно влияющих на показатели точности детали.

При проведении исследования, автор сделал заключение, что из 18 показателей точности токарного станка на точность детали влияют только 13 (при этом на точность конкретного выбранного модуля поверхностей МП Б312 – лишь 11).

При проведении последующих исследований, А.С. Сахаров совершенствовал разработанный метод определения технологических возможностей станков [85-88].

В более поздних работах [89, 90] автор решает прямую задачу по установлению и назначению норм геометрической точности при проектировании металлорежущих станков с точностью, обеспечивающей требуемую точность обработки деталей. Сахаровым А.С. предложена методика назначения норм геометрической точности для проектируемого станка, включающая 4 этапа:

1. Установление точности изготавливаемой на станке детали;
2. Определение величин допустимых отклонений показателей геометрической точности изготавливаемой детали;
3. Установление геометрических погрешностей элементов станка, приводящих к возникновению геометрических погрешностей изготавливаемой на станке детали;
4. Назначение норм геометрической точности станка, обеспечивающих требуемую точность изготовления детали.

На последнем этапе автор проводил размерный анализ (использовал размерные цепи).

В Брянском государственном техническом университете Агеенко А.В. под руководством проф. Федонина О.Н. была разработана методика, позволяющая определять и компенсировать статические и динамические погрешности, влияющие на точность отработки траектории исполнительных органов токарного станка с ЧПУ [91-93]. В работе [93] предложены система и алгоритм диагностики точности токарного станка с ЧПУ, основанные на вариационном методе расчета точности металлорежущих станков [10]. Агеенко А.В. получена зависимость математическая модель для определения контурной погрешности траектории перемещения исполнительных органов токарного станка с ЧПУ, учитывающая статические и динамические погрешности станка, компенсация которых возможна с помощью системы ЧПУ. Информацию о точности траектории перемещения исполнительных органов токарного станка предложено получать с помощью датчиков ЛИР-8.

В дальнейших исследованиях, А.В. Агеенко с коллективом авторов решал задачи по повышению точности токарных станков с ЧПУ путем настройки станочных параметров: компенсации зазора в шариковинтовой передаче, устранения “застоя” выходного вала в районе изменения направления движения, компенсации погрешности отработки задающего воздействия системой управления станка [94, 95].

Кольцовым А.Г. (Омский государственный технический университет) изучалась проблема диагностирования состояния металлорежущего оборудования. В своих работах [96-98] автор проводил анализ существующих технологий автоматизированного контроля состояния станков, исследовал возможности автоматизированного обеспечения точности изготовления сложных деталей на станках с ЧПУ [99]. Позднее А.Г. Кольцов предложил методику построения математической модели оценки точности станков, разработал математическую модель, позволяющую оценивать влияние на точность обработки геометрических, кинематических и динамических факторов, действующих на узлы станка в процессе эксплуатации [100, 101]. В поздних работах [102-104] А.Г. Кольцов продолжил исследования по диагностике металлорежущих станков с помощью систем экспресс-диагностики Ballbar фирмы RENISHAW.

Проф. Горшков Б.М. (Поволжский государственный университет сервиса) проводил исследования, направленные на решение задач обеспечения точности обрабатывающих систем с составными станинами с применением методов и комплекса технических средств автоматической компенсации деформаций [105-107]. Проф. Горшковым Б.М. разработана концепция повышения точности технологических обрабатывающих систем с составными станинами методом автоматической компенсации их деформаций, с использованием лазерной автоматизированной измерительной системы, построен комплекс математических моделей, связывающих собственные и контактные деформации корпусных деталей технологических обрабатывающих систем с составными станинами с их точностью, создан автоматизированный измерительный комплекс для оперативного контроля и оценки технического состояния несущих систем технологического оборудования [108, 109]. В дальнейшем проф. Горшков Б.М. и Ремневой О.Ю. было доказано влияние упругих силовых деформаций несущей системы (изгиб и кручение) прецизионного горизонтального координатно-расточного станка на точность обработки на нем [110, 111].

Под руководством проф. Горшкова Б.М. Рубцов М.А. исследовал проблему повышения точности обработки заготовок на координатно-расточных станках с помощью автоматической статической настройки их технологических систем [112].

Под руководством проф. Горшкова Б.М. Токарев Д.Г. изучал проблему повышения точности металлорежущего оборудования с помощью коррекционных устройств [113]. Им был предложен метод автоматической коррекции положения корпуса шпиндельной бабки на направляющих стойки, разработана математическая модель вертикального координатно-расточного станка с учетом устройства коррекции положения корпуса шпиндельной бабки.

НАУЧНЫЕ ШКОЛЫ БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ

Проблемами точности обработки на металлорежущих станках также активно занимаются ученые ближнего зарубежья.

Так, А.И. Лещенко (Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, Украина) рассматривал упругие деформации технологической системы как основной источник погрешностей обработки. Им предло-

жена методология расчета траектории формообразования сложно-профильных поверхностей с учетом упругого смещения оси режущей пластины круглой формы под действием вектора силы резания, при условии неодинаковой, в различных направлениях жесткости суппорта токарного станка [114]. Именно с помощью программных средств А.И. Лещенко планирует снизить систематическую составляющую погрешности обработки до уровня значений, при которых суммарная погрешность профиля детали не будет превышать границы поля допуска.

Коллективом авторов под руководством Джумаева З.Ф. (Бухарский инженерно-технологический институт, г. Бухара, Узбекистан) изучались проблемы точности обработки на металлорежущих станках [115, 116]. Повышение качества обработки предлагалось достигать с помощью применения приборов: активного контроля, управления упругими перемещениями технологической системы “станок-деталь”, а также систем автоматической подналадки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный аналитический обзор научных работ современных отечественных исследователей показал, что в настоящее время присутствует достаточно много направлений исследований в области повышения точности обработки на металлорежущих станках. Но в рассмотренных работах можно выделить основную черту – приверженность исследователя к одной из фундаментальных научных школ СССР в области научных основ точности станков. Наиболее существенен тот факт, что многие работы выполняются параллельно, не основываясь на анализе и опыте других исследователей.

Проведенный анализ современных научных исследований в области точности металлорежущих станков показал, что, несмотря на построение исследований на базе нескольких фундаментальных методологий, многих научных результаты не были систематизированы и обобщены. Частично приведенные работы были учтены при проведении исследований [117-122], однако для вывода исследований на качественно новый уровень, существует явная необходимость интеграции рассмотренных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пуш В.Э. Малые перемещения в станках. – М.: Машгиз, 1961. – 124 с.
2. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 892 с.
3. Проников А.С. Параметрическая надежность машин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
4. Проников А.С. Программный метод испытания металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1985. – 288 с.
5. Пуш А.В. Шпиндельные узлы – качество и надёжность. – М.: Машиностроение, 1992. – 288 с.
6. Портман В.Т. Универсальный метод расчета точности механических устройств // Вестник машиностроения. – 1981. – №7. – С. 12-16.
7. Портман В.Т. Точностная надежность шпиндельных узлов / В.Т. Портман, Е.А. Фискин, В.К. Кириллов // Станки и инструмент. – 1978. – №5. – С. 11-13.
8. Портман В.Т. Суммирование погрешностей при аналитическом расчете точности станка // Станки и инструмент. – 1980. – №1. – С. 6-8.

9. Портман В.Т. Модель выходной точности станка / В.Т. Портман, В.Г. Шустер // Вестник машиностроения. – 1983. – №9. – С. 30-33.
10. Решетов Д.Н. Точность металлорежущих станков. / Д.Н. Решетов, В.Т. Портман. – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
11. Базров Б.М. Совершенствование машиностроительного производства на основе модульной технологии // Станки и инструмент. – 1985. – №10. – С. 22-25.
12. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. – М.: Машиностроение, 2001. – 368 с.
13. Косов М.Г. Моделирование точности при автоматизированном проектировании и эксплуатации металлорежущего оборудования: дис. ... доктора техн. наук. – Москва, 1985. – 405 с.
14. Структуризация геометрической и прочностной информации / М.Г. Косов, Г.П. Вяткин, А.С. Арутюнян, И.М. Толкачева // СТИН. – 1997. – №12. – С. 14-16.
15. Моделирование точности при проектировании технологических машин / М.Г. Косов, А.А. Кутин, Р.В. Саакян, Л.М. Червяков. – М.: МГТУ «Станкин», 1998. – 104 с.
16. Косов М.Г. Имитационное моделирование контакта сопрягаемых поверхностей при расчете точности технологического оборудования / М.Г. Косов, Р.В. Саакян // СТИН. – 1997. – №9.
17. Косов М.Г. Нетвердотельное проектирование. Принципы. Методы. Применение / М.Г. Косов, А.П. Кузнецов, А.Н. Соболев. – М.: Янус-К, 2010. – 276 с.
18. Гаврилов А.В. Определение точности базирования корпусных деталей с учетом размерных, динамических и жесткостных факторов: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 1995. – 23 с.
19. Белякова М.С. Повышение эффективности процессов конструкторско-технологического проектирования на основе разработки информационной системы моделирования поверхностей: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2007. – 26 с.
20. Кузнецов А.П. Разработка методов и средств создания автоматизированных систем управления тепловым состоянием металлорежущего оборудования для повышения его точности: автореф. дис. докт. техн. наук. – Москва, 2011. – 48 с.
21. Кузнецов А.П. Расчет и прогнозирование вероятности изменения точности станков вследствие тепловых деформаций // Надежность и эффективность станков автоматов. Труды МВТУ. – М.: МВТУ, 1980. – С. 45-54.
22. Стародубов В.С. Тепловые деформации узлов станка с ЧПУ и их влияние на точность обработки / В.С. Стародубов, А.П. Кузнецов // Труды МИНХ и ГП. – 1981. – №160 – С. 101-115.
23. Кузнецов А.П. Вероятностная оценка точности металлорежущих станков при повторно-переменном тепловом режиме // Вестник МГТУ «Станкин». – 2011. – №3(14). – С. 194-200.
24. Кузнецов А.П. Структурный теплофизический анализ металлорежущих станков / А.П. Кузнецов, М.Г. Косов // СТИН. – 2011. – №3. – С. 13-21.
25. Сабилов Ф.С. Повышение эффективности станков на основе их диагностирования и определения виброустойчивости в рабочем пространстве: автореф. дис. докт. техн. наук. – Москва, 2009. – 40 с.
26. Козочкин М.П. Диагностика и мониторинг сложных технологических процессов с помощью измерения виброакустических сигналов / М.П. Козочкин, Н.А. Кочинев, Ф.С. Сабилов // Измерительная техника. – 2006. – №7. – С. 30-34.
27. Козочкин М.П. Оперативная диагностика при металлообработке – проблемы и задачи / М.П. Козочкин, Ф.С. Сабилов // Вестник МГТУ «Станкин». – 2008. – №3. – С. 14-18.
28. Козочкин М.П. Виброакустическая диагностика при твердом точении / М.П. Козочкин, Ф.С. Сабилов, А.Н. Попиков // Вестник МГТУ «Станкин». – 2009. – №1(5). – С. 23-29.
29. Вибрационный контроль технологического оборудования в производстве / М.П. Козочкин, Ф.С. Сабилов, А.Н. Порватов, А.Н. Боган // Вестник МГТУ «Станкин». – 2012. – №4(23). – С. 8-14.
30. Сабилов Ф.С. Повышение эффективности использования многоцелевых станков с ЧПУ на основе информации о характеристиках в рабочем пространстве / Ф.С. Сабилов, Н.А. Кочинев, А.В. Бычкова // Станки с ПУ в машиностроении и приборостроении. – 1982. – С. 38-42.
31. Кочинев Н.А. Оценка динамического качества станка по характеристикам в рабочем пространстве / Н.А. Кочинев, Ф.С. Сабилов // Станки и инструмент. – 1982. – №8. – С. 12-14.
32. Телешевский В.И. Программная коррекция объемных геометрических погрешностей многокоординатных машин / В.И. Телешевский, В.А. Соколов // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – Т. 1., №1. – С. 389-395.
33. Телешевский В.И. Способ автоматической коррекции объемных погрешностей многокоординатных систем на основе лазерных интерференционных измерений / В.И. Телешевский, В.А. Соколов, В.А. Темников // Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM - 2014): сборник трудов международной конференции. – М.: ООО «Аналитик», 2014. – С. 47-51.
34. Телешевский В.И. Программная коррекция объемных геометрических погрешностей многокоординатных систем на основе лазерных интерференционных измерений / В.И. Телешевский, П.Н. Емельянов, В.А. Соколов // СТИН. – 2016. – №9. – С. 14-19.
35. Телешевский В.И. Лазерная коррекция геометрических погрешностей многокоординатных систем с программным управлением / В.И. Телешевский, В.А. Соколов // Измерительная техника. – 2012. – №5. – С. 33-37.
36. Молодцов В.В. Методы проектирования высокоэффективных металлообрабатывающих станков как мехатронных систем: автореф. дис. докт. техн. наук. – Москва, 2016. – 38 с.
37. Бушуев В.В. Повышение точности станков с ЧПУ для контурной обработки за счет улучшения динамических характеристик электромеханических приводов подачи: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2017. – 23 с.
38. Митин С.Г. Синтез технологических операций со сложной структурой в многономенклатурных системах механообработки: автореф. дис. докт. техн. наук. – Пенза, 2017. – 36 с.

39. Митин С.Г. Поддержка принятия решений при назначении размерноточностных характеристик деталей с учётом возможностей производственной системы / С.Г. Митин, П.Ю. Бочкарёв // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2014. – №4(31). – С. 34-38.
40. Кадыров Р.Р. Метод анализа точности металлообрабатывающего станка с ЧПУ / Р.Р. Кадыров, Р.Г. Кудояров // Вестник МГТУ «Станкин». – 2010. – №3. – С. 30-34.
41. Кадыров Р.Р. Определение состава основных проверок геометрической точности металлорежущего станка / Р.Р. Кадыров, Р.Г. Кудояров // СТИН. – 2016. – №8. – С. 2-7.
42. Кадыров Р.Р. Расчётно-экспериментальный метод оценки влияния погрешности положения осевого приводного блока токарного станка на точность обработки / Р.Р. Кадыров, Р.Г. Кудояров // СТИН. – 2016. – №9. – С. 6-10.
43. Хусаинов Р.М. Оценка и оптимизация динамических характеристик зубофрезерного станка с целью повышения точности нарезаемых колес: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 1999. – 19 с.
44. Хусаинов Р.М. Применение результатов испытаний точности отработки круговой траектории для компенсации геометрических погрешностей металлорежущего станка // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. – 2015. – Т. 3, №3(66). – С. 18-24.
45. Савин И.А. Оценка точности технологического процесса на основе учета погрешностей технологического оборудования / И.А. Савин, Р.М. Хусаинов, Г.Р. Мавзутова // Молодой ученый. – 2015. – №12-1(92). – С. 68-70.
46. Хусаинов Р.М. Оценка влияния погрешностей зубодолбежного станка на точность нарезаемых зубчатых колес / Р.М. Хусаинов, Р.Р. Хазиев // Студенческий научный журнал «Грани науки». – Казань: Изд-во ФГАОУ ВПО КФУ, 2014. – 108 с.
47. Хусаинов Р.М. Моделирование формирования погрешностей при обработке на зубодолбежных станках / Р.М. Хусаинов, Р.Р. Хазиев // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы – 2016 (МНТК «ИМТОМ-2016»): материалы Международной научно-технической конференции. – Казань: АО «КНИАТ», 2016. – С. 172-176.
48. Хусаинов Р.М. Исследование упругих деформаций при обработке на вертикально-фрезерных станках / Р.М. Хусаинов, И.И. Мубаракшин, А.Р. Сабиров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №5. – С. 304-308.
49. Диагностика и компенсация геометрических погрешностей фрезерных станков с ЧПУ на основе испытания точности отработки круговой траектории / Р.М. Хусаинов, Р.М. Хисамутдинов, С.Ю. Юрасов и др. // СТИН. – 2016. – №10. – С. 10-14.
50. Моделирование показателей точности обрабатываемых поверхностей при токарной обработке под действием геометрических погрешностей металлорежущего станка / Р.М. Хусаинов, С.Ю. Юрасов, Г.К. Давлетшина и др. // СТИН. – 2016. – №9. – С. 32-35.
51. Кравченко И.И. Исследование точности и производительности обработки фрезерованием плоскостей корпусных деталей (на примере обработки на многооперационных станках): дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 1979. – 208 с.
52. Кравченко И.И. Математическая модель расчета отклонений формы, размера и взаимного расположения плоских поверхностей // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2016. – №2. – С. 80-90.
53. Кравченко И.И. Математическое моделирование торцового фрезерования плоских поверхностей корпусных деталей // Главный механик. – 2016. – №2. – С. 38-42.
54. Кравченко И.И. Аналитический расчет точности обработки отверстия / И.И. Кравченко, В.Л. Киселев // Главный механик. – 2016. – №11. – С. 67-70.
55. Булдакова А.Ю. Определение погрешностей обработки, вызванных деформациями базовых деталей приспособлений / А.Ю. Булдакова, В.Л. Киселев // Инженерный вестник. – 2012. – №11. – С. 1-12.
56. Расчет следа обработки с учетом погрешностей станка с ЧПУ и инструмента / В.М. Утенков, Е.Г. Полканов, А.В. Чиркин, П.А. Быков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – №8(677). – С. 11-19.
57. Утенков В.М. Прогнозирование потери точности металлорежущих станков // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2013. – №5. – С. 1-10.
58. Васильев Г.Н. Обеспечение технологической надежности токарных станков мониторингом параметров траекторий перемещения суппортных узлов / Г.Н. Васильев, А.Г. Ягопольский // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 2010. – №2. – С. 91-105.
59. Ягопольский А.Г. Перспективные методы испытания металлорежущих станков / А.Г. Ягопольский, В.А. Волохов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2006. – №4. – С. 44-47.
60. Васильев Г.Н. Проблемы диагностики и обеспечения надежности металлорежущих станков / Г.Н. Васильев, А.Г. Ягопольский, А.П. Тремасов // СТИН. – 2003. – №7. – С. 14-17.
61. Ягопольский А.Г. Сравнительный анализ и обобщение способов коррекции температурных деформаций в металлорежущих станках / А.Г. Ягопольский, Д.А. Винников // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2017. – №1(682). – С. 71-78.
62. Ягопольский А.Г. Аппаратно-программное обеспечение исследований состояния токарных станков по параметрам траекторий перемещения суппортного узла / А.Г. Ягопольский, Н.Ю. Кропотин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2016. – №5(674). – С. 84-90. DOI: 10.18698/0536-1044-2016-5-84-90
63. Власов А.И. Перспективы совершенствования метода программных испытаний и диагностики металлорежущих станков / А.И. Власов, И.П. Иванов // Молодежный научно-технический вестник. – 2013. – №1.
64. Мещерякова В.Б. К оценке выходных параметров точности высоко-скоростной обработки на станках с числовым программным управлением / В.Б. Мещерякова, К.А. Авдошин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2013. – №2. – С. 60-68.
65. Кашуба Л.А. Геометрия реальных поверхностей деталей изделий машиностроения / Л.А. Кашуба, Д.М. Жук, В.Б. Маничев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – №2. – С. 72-79.

66. Кашуба Л.А. Теоретические основы методики определения отклонений величины, формы и расположения реальных поверхностей изделий машиностроения / Л.А. Кашуба, Е.А. Проходцев // XL Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – С. 422-423.
67. Кашуба Л.А. Современный взгляд на геометрию реальных поверхностей деталей изделий машиностроения // Системный анализ в науке и образовании. – 2014. – №1(23). – С. 75-89.
68. Определение настройки расчётной точки инструмента для обеспечения точности обработки деталей на станках с ЧПУ / Л.А. Кашуба, В.В. Мороз, А.А. Волков, Е.Е. Шевченко // Системный анализ в науке и образовании. – 2014. – №4. – С. 11-31.
69. Кашуба Л.А. Геометрические параметры и погрешности реальной геометрии недеформируемых деталей машиностроения // Системный анализ в науке и образовании. – 2013. – №4(22). – С. 244-261.
70. Кашуба Л.А. Реальная геометрия детали // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – №1. – С. 3-13.
71. Додонов В.В. Повышение точности обработки на станках с числовым программным управлением // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – №6(54). – С. 5.
72. Бекаев А.А. Повышение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе протягивания (прошивания) на основе совершенствования динамических характеристик привода оборудования: дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 2006. – 274 с.
73. Бекаев А.А. Улучшение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания на основе усовершенствования конструкции режущего инструмента / А.А. Бекаев, А.В. Щедрин, В.М. Скоромнов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2008. – №2(6). – С. 107-117.
74. Улучшение геометрических параметров качества обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания на основе усовершенствования конструкции режущих зубьев инструмента / А.А. Бекаев, А.В. Щедрин, В.М. Скоромнов, И.А. Цветков // Машиностроитель. – 2009. – №8. – С. 26-32.
75. К вопросу о влиянии геометрических параметров качества поверхности заготовки на макро- и микрогеометрию обрабатываемой поверхности детали при прошивании / А.А. Бекаев, В.А. Кузнецов, А.В. Щедрин, В.М. Скоромнов // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2009. – Т. 1, №2. – С. 125-130.
76. Исследование влияния геометрических параметров качества поверхности заготовки на макро- и микрогеометрию обрабатываемой поверхности детали в процессе прошивания / А.А. Бекаев, А.В. Щедрин, В.М. Скоромнов, И.А. Цветков // Машиностроитель. – 2009. – №7. – С. 17-20.
77. К вопросу об обеспечении точности обработки на станках с ЧПУ / Ю.В. Максимов, А.А. Бекаев, М.А. Надольский, А.В. Прохоров // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – №2. – С. 129-130.
78. Управление точностью обработки путем программной коррекции рабочих органов технологического оборудования / А.А. Бекаев, Ю.В. Максимов, Д.Л. Кузьминский, П.И. Строков // СТИН. – 2017. – №5. – С. 6-10.
79. Авдеев В.Б. Оценка безотказности токарных станков с ЧПУ по параметрам точности обработки // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – №2. – С. 158-164.
80. Неизвестных А.Г. Анализ точности обработки деталей на станках с ЧПУ / А.Г. Неизвестных, Е.Г. Крылов // Известия ВолгГТУ. – 2008. – Т. 4, №9. – С. 89-91.
81. Сахаров А.В. Установление технологических возможностей станков для проектирования технологических процессов и обоснования производственной программы: автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 2012. – 19 с.
82. Сахаров А.В. Установление технологических возможностей станков для проектирования технологических процессов и обоснования производственной программы: дисс. ... канд. техн. наук. – Москва, 2012. – 174 с.
83. ГОСТ 22267-76. Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 149 с.
84. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: справочник-учебник. В 3-х т. Т. I. Проектирование станков / А.С. Проников, О.И. Аверьянов, Ю.С. Аполлонов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана: Машиностроение, 1994. – 444 с.
85. Сахаров А.В. Использование принципов модульной технологии для определения технологических возможностей станков // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2013. – №1. – С. 152-153.
86. Сахаров А.В. Оценка возможности выполнения производственных заказов предприятия по номенклатуре модулей поверхностей // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2014. – №2. – С. 112-115.
87. Сахаров А.В. Установление возможности получения характеристик модулей поверхностей деталей на станочном парке предприятия // МИКМУС-2014: труды XXVI Международной Инновационно-ориентированной конференции молодых учёных и студентов. – М.: ИМАШ им. А.А. Благодрава РАН, 2014. – С. 53-57.
88. Сахаров А.В. Установление технологических возможностей станка / А.В. Сахаров, А.М. Арзыбаев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2014. – №2(48). – С. 88-92.
89. Сахаров А.В. Методика назначения норм геометрической точности при проектировании металлорежущего станка // МИКМУС-2015: труды XXVII Международной инновационно-ориентированной конференции молодых ученых и студентов. – М.: ИМАШ им. А.А. Благодрава РАН, 2015. – С. 40-43.
90. Сахаров А.В. Решение прямой задачи по назначению норм геометрической точности проектируемого металлорежущего станка / А.В. Сахаров, А.М. Арзыбаев, Н.А. Родионова // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – №2(53). – С. 207-211.
91. Агеенко А.В. Методика настройки параметров УЧПУ токарных станков для обеспечения заданной точности контура детали // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2011. – №5. – С. 67-73.

92. Агеенко А.В. Повышение точности токарных станков путем настройки параметров УЧПУ // Вестник БГТУ. – 2011. – №4. – С. 10-14.
93. Агеенко А.В. Повышение точности токарных станков с ЧПУ за счет модернизации систем управления: автореф. дис. канд. техн. наук. – Брянск, 2012. – 18 с.
94. Обеспечение точности токарного станка с ЧПУ за счет настройки станочных параметров / О.Н. Федонин, Д.И. Петрешин, В.А. Хандожко, А.В. Агеенко // Научные технологии в машиностроении. – 2013. – №11(29). – С. 9-14.
95. Учет погрешностей системы управления в балансе точности токарного станка с ЧПУ / О.Н. Федонин, Д.И. Петрешин, В.А. Хандожко, А.В. Агеенко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №3(39). – С. 55-57.
96. Кольцов А.Г. Диагностика технического состояния металлорежущего оборудования // Омский научный вестник. – 2011. – №3(103). – С. 79-82.
97. Кольцов А.Г. Проверка геометрической точности металлорежущего оборудования / А.Г. Кольцов, В.Б. Сухинин // Омский научный вестник. – 2011. – №3(103). – С. 95-97.
98. Кольцов А.Г. Проверка пятикоординатного фрезерного обрабатывающего центра на точность / А.Г. Кольцов, А.В. Торопов, А.А. Петухов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16, №4(49). – С. 129-132.
99. Кольцов А.Г. Методы автоматизированного обеспечения точности изготовления сложных деталей на станках с ЧПУ / А.Г. Кольцов, А.А. Петухов, И.В. Медведюк // Динамика систем, механизмов и машин. – 2012. – №2. – С. 241-244.
100. Кольцов А.Г. Методика построения математической модели оценки точности технологического оборудования на базе многооперационного станка // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, №8(61). – С. 106-116.
101. Кольцов А.Г. Методика построения математической модели точности обработки с учетом геометрических, кинематических и динамических факторов // Омский научный вестник. – 2014. – №1(127). – С. 96-100.
102. Христоролюбов М.А. Испытания металлорежущих станков на геометрическую точность / М.А. Христоролюбов, А.Р. Мулюкова, А.Г. Кольцов // Техника и технологии машиностроения: материалы IV международной студенческой научно-практической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2015. – С. 271-277.
103. Блохин Д.А. Диагностика технического состояния металлорежущих станков с ЧПУ / Д.А. Блохин, А.Г. Кольцов, И.А. Васильева // Наука и молодежь в XXI веке: материалы 2-й Всероссийской научно-практической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2016. – С. 91-96.
104. Оценка влияния геометрической точности металлорежущего оборудования на точность ОМV-технологий / А.Г. Кольцов, Д.А. Блохин, Е.В. Кривонос, А.Н. Нарезнев // Динамика систем, механизмов и машин. – 2016. – Т. 1, №1. – С. 322-329. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819029
105. Горшков Б.М. Повышение точности технологических обрабатывающих систем с составными станинами методом автоматической компенсации их деформаций: автореф. дис. д-ра техн. наук. – Самара, 2005. – 35 с.
106. Горшков Б.М. Экспериментальное исследование повышения точности прецизионных вертикальных координатно-расточных станков / Б.М. Горшков, Д.Г. Токарев // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2007. – №2(20). – С. 183-186.
107. Горшков Б.М. Разработка и исследование динамической модели вертикального координатно-расточного станка / Б.М. Горшков, Д.Г. Токарев, О.В. Маршанская // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2008. – №2(22). – С. 127-132.
108. Горшков Б.М. Повышение точности в рабочем пространстве технологических машин // Школа университетской науки: парадигма развития. – 2010. – №1-2. – С. 255-258.
109. Опыт-экспериментальная установка для оценки эффективности повышения точности координатно-расточных станков / Б.М. Горшков, О.Ю. Ремнева, Д.В. Вылегжанин, Н.С. Самохина // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – №2. – С. 121-124.
110. Горшков Б.М. Исследование точности обработки на прецизионном технологическом оборудовании / Б.М. Горшков, О.Ю. Ремнева // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства (Резниковские чтения): труды IV международной научно-технической конференции. – Тольятти: ТГУ, 2015. – С. 201-207.
111. Горшков Б.М. Изучение точностных параметров обработки на прецизионном технологическом оборудовании / Б.М. Горшков, О.Ю. Ремнева // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – №2-2. – С. 69-74.
112. Рубцов М.А. Повышение точности обработки корпусных заготовок на координатно-расточных станках путём автоматической статической настройки их технологической системы / М.А. Рубцов, Б.М. Горшков // Научные технологии на современном этапе развития машиностроения: материалы VIII Международной научно-технической конференции. – М.: МАДИ, 2016. – С. 192-195.
113. Токарев Д.Г. Повышение точности технологических систем вертикальных координатно-расточных станков методом коррекции положения корпуса шпиндельной бабки: автореф. дис. канд. техн. наук. – Ульяновск, 2010. – 18 с.
114. Лещенко А.И. Достижение требуемой точности сложно-профильных поверхностей путем параметризации программной коррекции погрешностей обработки на станках с ЧПУ // Вестник Приазовского государственного технического университета. – 2011. – №2(23). – С. 197-203.
115. Джумаев З.Ф. Подналадка станков и точность обработки / З.Ф. Джумаев, З.Л. Ашуров, Д.С. Саидов // Молодой ученый. – 2014. – №21. – С. 147-149.
116. Джумаев З.Ф. Проблемы повышения точности обработки на металлорежущих станках / З.Ф. Джумаев, З.Л. Ашуров, Д.С. Саидов // Молодой ученый. – 2014. – №21. – С. 146-147.
117. Ивахненко А.Г. Концептуальное проектирование металлорежущих систем. Структурный синтез: монография. – Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. техн. ун-та, 1998. – 124 с.

118. Ивахненко, А.Г. Точность формообразования на гексаподах / А.Г. Ивахненко, О.Н. Подленко // СТИН. – 2007. – №9. – С. 2-6.

119. Ивахненко А.Г. Структурно-параметрический синтез металлорежущих систем с гибридной компоновкой / А.Г. Ивахненко, В.В. Куц, Е.О. Ивахненко Е.О. // Вестник машиностроения. – 2016. – №5. – С. 17-23.

120. Аникеева О.В. Влияние параметров геометрической точности станков на отклонения расположения обработанных поверхностей / О.В. Аникеева, А.Г. Ивахненко,

Д.Н. Крюков // Науковедение: сетевой электронный научный журнал. – Т. 9, №1. – 2017.

121. Аникеева О.В. Развитие вариационного метода расчета точности металлорежущих станков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2016. – №5. – С. 111-118.

122. Аникеева О.В. Управление этапом планирования для повышения качества процесса ремонта металлорежущих станков: автореф. дис. канд. техн. наук. – Курск, 2012. – 16 с.

DOI: 10.24892/RIJIE/20170402

The Analysis of the Experience of Modern National Scientific Schools in the Field of a Metal Cutting Machines Precision

Anikeeva O.V.

Southwest State University
Kursk, Russian Federation

olesya-anikeeva@yandex.ru

Abstract. In work the analysis of the experience of modern national scientific schools studying problems in the field of precision of metal cutting machines is conducted. Information is provided on the directions of the work of schools, on milestones that have found wide circulation. In work the most well-known methods that serve as a basis for subsequent research are considered. The main feature of the reviewed works is the researcher's adherence to one of the fundamental scientific schools of the USSR in the field of scientific principles of precision of machine tools. The article substantiates the role of systematization and integration of the studies studied to bring scientific research to a qualitatively new level.

Keywords: scientific school, metal-cutting machines, geometrical precision of machine tools.

REFERENCES

1. Push V.E. *Malye peremeshcheniya v stankakh* [Small movements in machine tools], Moscow, Mashgiz, 1961, 124 p.
2. Pronikov A.S. *Nadezhnost mashin* [Reliability of machines], Moscow, Mechanical engineering, 1978, 892 p.
3. Pronikov A.S. *Parametricheskaya nadezhnost mashin* [Parametric reliability of machines], Moscow, Bauman MSTU, 2002, 560 p.
4. Pronikov A.S. *Programmnyy metod ispytaniya metallovezhushchikh stankov* [The program method of testing metal cutting machines], Moscow, Mechanical engineering, 1985, 288 p.
5. Push A.V. *Shpindelnye uzly – kachestvo i nadezhnost* [Spindle knots - quality and reliability], Moscow, Mechanical engineering, 1992, 288 p.
6. Portman V.T. Universal method for calculating the accuracy of mechanical devices [Universalnyy metod rascheta tochnosti mekhanicheskikh ustroystv], *Vestnik mashinostroeniya* [Russian Engineering Research], 1981, no.7, pp. 12-16.
7. Portman V.T., Fiskin E.A., Kirillov V.K. Precision reliability of spindle knots [Tochnostnaya nadezhnost shpin-

delnykh uzlov], *Stanki i instrument* [Russian Engineering Research], 1978, no.5, pp. 11-13.

8. Portman V.T. Summation of errors in the analytical calculation of the accuracy of the machine [Summirovaniye pogreshnostey pri analiticheskom raschete tochnosti stanka], *Stanki i instrument* [Russian Engineering Research], 1980, no.1, pp. 6-8.

9. Portman V.T., Shuster V.G. Model of output accuracy of the machine [Model vykhodnoy tochnosti stanka], *Vestnik mashinostroeniya* [Russian Engineering Research], 1983, no.9, pp. 30-33.

10. Reshetov D.N., Portman V.T. *Tochnost metallovezhushchikh stankov* [Precision metal-cutting machines], Moscow, Mechanical engineering, 1986, 336 p.

11. Bazrov B.M. Perfection of machine-building production on the basis of modular technology [Sovershenstvovanie mashinostroitelnogo proizvodstva na osnove modulnoy tekhnologii], *Stanki i instrument* [Russian Engineering Research], 1985, no.10, pp. 22-25.

12. Bazrov B.M. *Modulnaya tekhnologiya v mashinostroenii* [Modular technology in engineering], Moscow, Mechanical engineering, 2001, 368 p.

13. Kosov M.G. *Modelirovaniye tochnosti pri avtomatizirovannom proektirovanii i ekspluatatsii metallovezhushchego oborudovaniya: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Modeling accuracy in the automated design and operation of metal cutting equipment], Moscow, 1985, 405 p.

14. Kosov M.G., Vyatkin G.P., Arutyunyan A.S., Tolkacheva I.M. Structuring of geometric and strength information [Strukturizatsiya geometricheskoy i prochnostnoy informatsii], *STIN* [Russian Engineering Research], 1997, no.12, pp. 14-16.

15. Kosov M.G., Kutin A.A., Saakyan R.V., Chervyakov L.M. *Modelirovaniye tochnosti pri proektirovanii tekhnicheskikh mashin* [Simulation of accuracy in the design of technological machines], Moscow, MSTU "Stankin", 1998, 104 p.

16. Kosov M.G., Saakyan R.V. Simulation modeling of the contact of mating surfaces when calculating the accuracy of technological equipment [Imitatsionnoe modelirovanie kontakta sopryagaemykh poverkhnostey pri raschete tochnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya], *STIN [Russian Engineering Research]*, 1997, no.9, p. 7.

17. Kosov M.G., Kuznetsov A.P., Sobolev A.N. *Netverdotelnoe proektirovanie. Printsipy. Metody. Primenenie* [Non-constructive design. Principles. Methods. Application], Moscow, Janus-K, 2010, 276 p.

18. Gavrillov A.V. *Opreделение tochnosti bazirovaniya korpusnykh detaley s uchetom razmernykh, dinamicheskikh i zhestkostnykh faktorov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Determination of the accuracy of basing of hull details taking into account dimensional, dynamic and stiffness factors, Moscow, 1995, 23 p.

19. Belyakova M.S. *Povyshenie effektivnosti protsessov konstruktorsko-tekhnologicheskogo proektirovaniya na osnove razrabotki informatsionnoy sistemy modelirovaniya poverkhnostey: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase the efficiency of design and technological design processes on the basis of the development of an information system for modeling surfaces], Moscow, 2007, 26 p.

20. Kuznetsov A.P. *Razrabotka metodov i sredstv sozdaniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya teplovym sostoyaniem metallovezhushchego oborudovaniya dlya povysheniya ego tochnosti: avtoref. dis. d-ra. tekhn. nauk* [Development of methods and means for creating automated control systems for the thermal state of metal cutting equipment to improve its accuracy], Moscow, 2011, 48 p.

21. Kuznetsov A.P. Calculation and prediction of the probability of changes in the accuracy of machines due to thermal deformations [Raschet i prognozirovanie veroyatnosti izmeneniya tochnosti stankov vsledstvie teplovykh deformatsiy], *Trudy "Nadezhnost i effektivnost stankov avtomatov"* [Proc. "Reliability and efficiency of machine tools"], Moscow, MHTS, 1980, pp. 45-54.

22. Starodubov V.S., Kuznetsov A.P. Thermal deformations of CNC machine nodes and their influence on the accuracy of machining [Teplovye deformatsii uzlov stanka s ChPU i ikh vliyaniye na tochnost obrabotki], *Trudy MINKh i GP [Proc. Moscow Institute of Petrochemical and Gas Industry]*, 1981, vol.160, pp. 101-115.

23. Kuznetsov A.P. *Veroyatnostnaya otsenka tochnosti metallovezhushchikh stankov pri povtorno-peremennom teplovom rezhime* [Probabilistic estimation of the accuracy of metal-cutting machine tools under a repeated-variable thermal regime], *Vestnik MGTU "Stankin" [Bulletin of MSTU "Stankin"]*, 2011, no.3 (14), pp. 194-200.

24. Kuznetsov A.P., Kosov M.G. Structural thermophysical analysis of metal-cutting machines [Strukturnyy teplofizicheskiy analiz metallovezhushchikh stankov], *STIN [Russian Engineering Research]*, 2011, no.3, pp.13-21.

25. Sabirov F.S. *Povyshenie effektivnosti stankov na osnove ikh diagnostirovaniya i opredeleniya vibroustoychivosti v rabochem prostranstve: avtoref. dis. d-ra. tekhn. nauk* [Increasing the efficiency of machine tools on the basis of their diagnosis and determination of vibration resistance in the working space], Moscow, 2009, 40 p.

26. Kozochkin M.P., Kochinev N.A., Sabirov F.S. Diagnostics and monitoring of complex technological processes by

measuring vibro-acoustic signals [Diagnostika i monitoring slozhnykh tekhnologicheskikh protsessov s pomoshchyu izmereniya vibroakusticheskikh signalov], *Izmeritel'naya tekhnika [Measurement Techniques]*, 2006, no.7, pp. 30-34.

27. Kozochkin M.P., Sabirov F.S. Operational diagnostics in metalworking - problems and tasks [Operativnaya diagnostika pri metalloobrabotke - problemy i zadachi], *Vestnik MGTU "Stankin" [Bulletin of MSTU "Stankin"]*, 2008, no.3, pp. 14-18.

28. Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Popikov A.N. Vibroacoustic diagnostics for solid turning [Vibroakusticheskaya diagnostika pri tverdom tochenii], *Vestnik MGTU "Stankin" [Bulletin of MSTU "Stankin"]*, 2009, no.1 (5), pp. 23-29.

29. Kozochkin M.P., Sabirov F.S., Porvatov A.N., Bogan A.N. Vibration control of process equipment in production [Vibratsionnyy kontrol tekhnologicheskogo oborudovaniya v proizvodstve], *Vestnik MGTU "Stankin" [Bulletin of MSTU "Stankin"]*, 2012, no.4 (23), pp. 8-14.

30. Sabirov F.S., Kochinev N.A., Bychkova A.V. Increase the efficiency of using multipurpose CNC machines on the basis of information on characteristics in the working space [Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya mnogotselevykh stankov s ChPU na osnove informatsii o kharakteristikakh v rabochem prostranstve], *Stanki s PU v mashinostroenii i priborostroenii [Machines with PU in mechanical engineering and instrument making]*, 1982, pp. 38-42.

31. Kochinev N.A., Sabirov F.S. Evaluation of the dynamic quality of the machine according to characteristics in the working space [Otsenka dinamicheskogo kachestva stanka po kharakteristikam v rabochem prostranstve], *Stanki i instrument [Russian Engineering Research]*, 1982, no.8, pp. 12-14.

32. Teleshevskiy V.I., Sokolov V.A. *Programm'naya korrektsiya obemnykh geometricheskikh pogreshnostey mnogokoordinatnykh mashin* [Program correction of volumetric geometric errors of multi-coordinate machines], *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin* [Dynamics of systems, mechanisms and machines], 2016, vol.1, no.1, pp. 389-395.

33. Teleshevskiy V.I., Sokolov V.A., Temnikov V.A. The method of automatic correction of volume errors in multi-coordinate systems based on laser interference measurements [Sposob avtomaticheskoy korrektsii obemnykh pogreshnostey mnogokoordinatnykh sistem na osnove lazernykh interferentsionnykh izmereniy], *Sbornik trudov mezhdunarodnoy konferentsii "Sistemy proektirovaniya, tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva i upravleniya etapami zhiznennogo tsikla promyshlennogo produkta (SAD/CAM/PDM – 2014)" [Proc. "Systems of design, technological preparation of production and management of the life cycle stages of an industrial product (CAD / CAM / PDM - 2014)"]*, Moscow, 2014, pp. 47-51.

34. Teleshevskiy V.I., Emelyanov P.N., Sokolov V.A. Software correction of volumetric geometric errors of multi-coordinate systems based on laser interference measurements [Programm'naya korrektsiya obemnykh geometricheskikh pogreshnostey mnogokoordinatnykh sistem na osnove lazernykh interferentsionnykh izmereniy], *STIN [Russian Engineering Research]*, 2016, no.9, pp. 14-19.

35. Teleshevskiy V.I., Sokolov V.A. Laser correction of geometric errors in multi-coordinate systems with program control [Lazernaya korrektsiya geometricheskikh pogreshnostey mnogokoordinatnykh sistem s programmnyim upravleniem], *Izmeritel'naya tekhnika [Measurement Techniques]*, 2012, no.5, pp. 33-37.

36. Molodtsov V.V. *Metody proektirovaniya vysokoeffektivnykh metallobrabatyvayushchikh stankov kak mekhatronnykh sistem: avtoref. dis. d-ra. tekhn. nauk* [Methods for designing highly efficient metalworking machines as mechatronic systems], Moscow, 2016, 38 p.

37. Bushuev V.V. *Povyshenie tochnosti stankov s ChPU dlya konturnoy obrabotki za schet uluchsheniya dinamicheskikh kharakteristik elektromekhanicheskikh privodov podachi: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase the accuracy of CNC machines for contour processing by improving the dynamic characteristics of electromechanical feed drives], Moscow, 2017, 23 p.

38. Mitin S.G. *Sintez tekhnologicheskikh operatsiy so slozhnoy strukturoy v mnogonomenklaturnykh sistemakh mekhanobrabotki: avtoref. dis. d-ra tekhn. nauk* [Synthesis of technological operations with a complex structure in multomenclature systems of machining: dissertation of PhD], Penza, 2017, 36 p.

39. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Support of decision-making when assigning dimensional characteristics of parts taking into account the capabilities of the production system [Podderzhka prinyatiya resheniy pri naznacheni razmernotochnostnykh kharakteristik detaley s uchedom vozmozhnostey proizvodstvennoy sistemy], *Vestnik Rybinskoy gosudarstvennoy aviatsionnoy tekhnologicheskoy akademii im. P.A. Solovyeva* [Vestnik of P. A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University], 2014, no.4 (31), pp. 34-38.

40. Kadyrov R.R., Kudoyarov R.G. Method for analyzing the accuracy of a CNC machine tool [Metod analiza tochnosti metallobrabatyvayushchego stanka s ChPU], *Vestnik MGTU "Stankin"* [Bulletin of MSTU "Stankin"], 2010, no.3, pp. 30-34.

41. Kadyrov R.R., Kudoyarov R.G. Determination of the composition of the basic checks of the geometrical accuracy of the metal-cutting machine [Opredelenie sostava osnovnykh proverok geometricheskoy tochnosti metallovezhushchego stanka], *STIN* [Russian Engineering Research], 2016, no.8, pp. 2-7.

42. Kadyrov R.R., Kudoyarov R.G. A calculation-experimental method for estimating the influence of the error in the position of the axial drive unit of a lathe on the accuracy of machining [Raschetno-eksperimentalnyy metod otsenki vliyaniya pogreshnosti polozheniya oseвого privodnogo bloka tokarnogo stanka na tochnost obrabotki], *STIN* [Russian Engineering Research], 2016, no.9, pp. 6-10.

43. Khusainov R.M. *Otsenka i optimizatsiya dinamicheskikh kharakteristik zubofrezernogo stanka s tselyu povysheniya tochnosti narezaemykh koles: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Evaluation and optimization of the dynamic characteristics of the gear hobbing machine in order to improve the accuracy of the cut wheels: dissertation of PhD], Moscow, 1999, 19 p.

44. Khusainov R.M. Application of the results of testing the accuracy of working out a circular trajectory to compensate for the geometrical errors of a metal-cutting machine [Primenenie rezultatov ispytaniy tochnosti otrabotki krugovoy traektorii dlya kompensatsii geometricheskikh pogreshnostey metallovezhushchego stanka], *Sotsialno-ekonomicheskie i tekhnicheskie sistemy: issledovanie, proektirovanie, optimizatsiya* [Socio-economic and technical systems: research, design, optimization], 2015, vol.3, no.3 (66), pp. 18-24.

45. Savin I.A., Khusainov R.M., Mavzutova G.R. Estimation of the accuracy of the technological process on the basis of the errors of technological equipment [Otsenka tochnosti tekhnologicheskogo protsessa na osnove ucheta pogreshnostey tekhnologicheskogo oborudovaniya], *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2015, no.12-1 (92), pp. 68-70.

46. Khusainov R.M., Khaziev R.R. *Otsenka vliyaniya pogreshnostey zubodolbezhnogo stanka na tochnost narezaemykh zubchatykh koles* [Evaluation of the influence of the errors of the gear-cutting machine on the accuracy of the gears to be cut], *Studencheskiy nauchnyy zhurnal "Grani nauki"* [Student scientific journal "Edge of Science"], Kazan, 2014, 108 p.

47. Khusainov R.M., Khaziev R.R. Modeling the formation of errors in machining on gear-cutting machines [Modelirovanie formirovaniya pogreshnostey pri obrabotke na zubodolbezhnnykh stankakh], *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Innovatsionnye mashinostroitelnye tekhnologii, oborudovanie i materialy" (IMTOM-2016)* [Proc. "Innovative engineering technologies, equipment and materials – 2016"], Kazan, 2016, pp. 172-176.

48. Khusainov R.M., Mubarakshin I.I., Sabirov A.R. Investigation of elastic deformations during machining on vertical milling machines [Issledovanie uprugikh deformatsiy pri obrabotke na vertikalno-frezernykh stankakh], *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Povolzhya* [Scientific and Technical Volga region Bulletin], 2015, no.5, pp. 304-308.

49. Khusainov R.M., Hisamutdinov R.M., Yurasov S.Yu. et al. Diagnostics and compensation of geometrical errors of CNC milling machines on the basis of testing the accuracy of working out a circular trajectory [Diagnostika i kompensatsiya geometricheskikh pogreshnostey frezernykh stankov s ChPU na osnove ispytaniya tochnosti otrabotki krugovoy traektorii], *STIN* [Russian Engineering Research], 2016, no.10, pp. 10-14.

50. Khusainov R.M., Yurasov S.Yu., Davletshina G.K. et al. Modeling of accuracy indicators of machined surfaces during turning under the influence of geometrical errors of a metal-cutting machine [Modelirovanie pokazateley tochnosti obrabatyvaemykh poverkhnostey pri tokarnoy obrabotke pod deystviem geometricheskikh pogreshnostey metallovezhushchego stanka], *STIN* [Russian Engineering Research], 2016, no.9, pp. 32-35.

51. Kravchenko, I.I. *Issledovanie tochnosti i proizvoditelnosti obrabotki frezerovaniem ploskostey korpusnykh detaley (na primere obrabotki na mnogooperatsionnykh stankakh): dis. ... kand. tekhn. nauk* [Research of accuracy and productivity of processing by milling of planes of case details (on an example of processing on multioperational machine tools): dissertation of PhD], Moscow, 1979, 208 p.

52. Kravchenko I.I. Mathematical model for calculating the deviation of the shape, size, and mutual arrangement of flat surfaces [Matematicheskaya model rascheta otkloneniy formy, razmera i vzaimnogo raspolozheniya ploskikh poverkhnostey], *Mashinostroenie i kompyuternye tekhnologii* [Mechanical engineering and computer science], 2016, no.2, pp. 80-90.

53. Kravchenko I.I. Mathematical modeling of face milling of flat surfaces of hull details [Matematicheskoe modelirovanie tortsovogo frezerovaniya ploskikh poverkhnostey korpusnykh detaley], *Glavnyy mekhanik* [Chief mechanical engineer], 2016, no.2, pp. 38-42.

54. Kravchenko I.I., Kiselev V.L. Analytical calculation of the accuracy of hole processing [Analiticheskiy raschet

tochnosti obrabotki otverstiya], *Glavnyy mekhanik [Chief mechanical engineer]*, 2016, no.11, pp. 67-70.

55. Buldakova A.Yu., Kiselev V.L. Determination of processing errors caused by deformations of basic parts of devices [Opredelenie pogreshnostey obrabotki, vyzvannykh deformatsiyami bazovykh detaley prisposobleniy], *Inzhenernyy vestnik [Engineering bulletin]*, 2012, no.11, pp. 1-12.

56. Utenkov V.M., Polkanov E.G., Chirkin A.V., Bykov P.A. Calculation of the processing trace, taking into account the errors of the CNC machine tool and the tool [Raschet sleda obrabotki s uchetom pogreshnostey stanka s ChPU i instrumenta], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2016, no.8 (677), pp. 11-19.

57. Utenkov V.M. Forecasting the loss of precision of metal-cutting machines [Prognozirovanie poteri tochnosti metallovezhushchikh stankov], *Mashinostroenie i kompyuternye tekhnologii [Mechanical engineering and computer science]*, 2013, no.5, pp. 1-10.

58. Vasiliev G.N., Yagopolsky A.G. Provision of technological reliability of lathes by monitoring the parameters of trajectories of the movement of support units [Obespechenie tekhnologicheskoy nadezhnosti tokarnykh stankov monitoringom parametrov traektoriy peremeshcheniya supportnykh uzlov], *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Seriya: Mashinostroenie [Herald of the Bauman MSTU. Series Mechanical Engineering]*, 2010, no.2, pp. 91-105.

59. Yagopolsky A.G., Volokhov V.A. Promising methods for testing metal-cutting machines [Perspektivnye metody ispytaniya metallovezhushchikh stankov], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2006, no.4, pp. 44-47.

60. Vasiliev G.N., Yagopolsky A.G., Tremasov A.P. Problems of diagnostics and reliability assurance of metal-cutting machine tools [Problemy diagnostiki i obespecheniya nadezhnosti metallovezhushchikh stankov], *STIN [Russian Engineering Research]*, 2003, no.7, pp. 14-17.

61. Yagopolsky A.G., Vinnikov D.A. Comparative analysis and generalization of methods for correcting temperature deformations in metal-cutting machines [Sravnitelnyy analiz i obobshchenie sposobov korrektsii temperaturnykh deformatsiy v metallovezhushchikh stankakh], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2017, no.1(682), pp. 71-78.

62. Yagopolsky A.G., Kropotin N.Yu. Hardware-software for the study of the state of lathes on the parameters of the trajectories of the movement of the support unit [Apparatno-programmnoe obespechenie issledovaniy sostoyaniya tokarnykh stankov po parametram traektoriy peremeshcheniya supportnogo uzla], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2016, no.5 (674), pp. 84-90. DOI: 10.18698/0536-1044-2016-5-84-90

63. Vlasov A.I., Ivanov I.P. Prospects for improving the method of software testing and diagnostics of metal-cutting machines [Perspektivy sovershenstvovaniya metoda programmnykh ispytaniy i diagnostiki metallovezhushchikh stankov], *Molodezhnyy nauchno-tekhnicheskiiy vestnik [Youth scientific-technical bulletin]*, 2013, no.1.

64. Meshcheryakova V.B., Avdoshin K.A. To an estimation of output parameters of accuracy of high-speed processing on machines with numerical program control [K otsenke vykhodnykh parametrov tochnosti vysoko-skorostnoy obrabotki na stankakh s chislovym programmnyy upravleniem], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2013, no.2, pp. 60-68.

65. Kashuba L.A., Zhuk D.M., Manichev V.B. Geometry of real surfaces of parts of machine-building products [Geometriya realnykh poverkhnostey detaley izdeliy mashinostroeniya], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie [Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building]*, 2012, no.2, pp. 72-79.

66. Kashuba L.A., Prokhodtsev E.A. *Teoreticheskie osnovy metodiki opredeleniya otkloneniy velichiny, formy i raspolzheniya realnykh poverkhnostey izdeliy mashinostroeniya [Theoretical foundations of the methodology for determining the deviation of the magnitude, shape and location of real surfaces of engineering products]*, *Sbornik tezisov "XL Akademicheskoe chteniya po kosmonavtike, posvyashchennyye pamyati akademika S.P. Koroleva i drugikh vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoeniya kosmicheskogo prostranstva" [XL Academic readings on astronautics, dedicated to the memory of Academician S.P. Korolev and other outstanding domestic scientists - pioneers of space exploration: a collection of abstracts]*, Moscow, 2015, pp. 422-423.

67. Kashuba L.A. Modern view on the geometry of real surfaces of parts of engineering products [Sovremennyy vzglyad na geometriyu realnykh poverkhnostey detaley izdeliy mashinostroeniya], *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii [System analysis in science and education]*, 2014, no.1 (23), pp. 75-89.

68. Kashuba L.A., Moroz V.V., Volkov A.A., Shevchenko E.E. Determining the setting of the tool calculating point to ensure the accuracy of machining of parts on CNC machine tools [Opredelenie nastroyki raschetnoy tochki instrumenta dlya obespecheniya tochnosti obrabotki detaley na stankakh s ChPU], *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii [System analysis in science and education]*, 2014, no.4, pp. 11-31.

69. Kashuba L.A. Geometric parameters and inaccuracies in the real geometry of non-deformable parts of mechanical engineering [Geometricheskiiye parametry i pogreshnosti realnoy geometrii nedeformiruemyykh detaley mashinostroeniya], *Sistemnyy analiz v nauke i obrazovanii [System analysis in science and education]*, 2013, no.4 (22), pp. 244-261.

70. Kashuba L.A. Real Part Geometry [Realnaya geometriya detali], *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii [Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making]*, 2012, no.1, pp. 3-13.

71. Dodonov V.V. Increase of accuracy of processing on machines with numerical program control [Povyshenie tochnosti obrabotki na stankakh s chislovym programmnyy upravleniem], *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii [Engineering Journal: Science and Innovation]*, 2016, no.6 (54), p. 5.

72. Bekaev A.A. *Povyshenie geometricheskikh parametrov kachestva obrabatyvaemoy poverkhnosti detali v protsesse protyagivaniya (proshivaniya) na osnove sovershenstvovaniya dinamicheskikh kharakteristik privoda oborudovaniya: dis. ... kand. tekhn. nauk [Increase of geometrical parameters of qual-*

ity of a processed surface of a detail in the course of broaching (sewing) on the basis of perfection of dynamic characteristics of a drive of the equipment: dissertation of PhD], Moscow, 2006, 274 p.

73. Bekaev A.A., Shchedrin A.V., Skoromnov V.M. Improvement of geometrical parameters of quality of a processed surface of a detail in the process of sewing on the basis of improvement of a design of a cutting tool [Uluchshenie geometricheskikh parametrov kachestva obrabatyvaemoy poverkhnosti detali v protsesse proshivaniya na osnove usovershenstvovaniya konstruktssii rezhushchego instrumenta], *Izvestiya MGTU MAMI [Izvestiya of the Moscow State Technical University MAMI]*, 2008, no.2 (6), pp. 107-117.

74. Bekaev A.A., Shchedrin A.V., Skoromnov V.M., Tsvetkov I.A. Improvement of geometrical parameters of the quality of the machined part surface in the process of sewing on the basis of the improvement of the design of the cutting teeth of the tool [Uluchshenie geometricheskikh parametrov kachestva obrabatyvaemoy poverkhnosti detali v protsesse proshivaniya na osnove usovershenstvovaniya konstruktssii rezhushchikh zubyev instrumenta], *Mashinostroitel [Machine Builder]*, 2009, no.8, pp. 26-32.

75. Bekaev A.A., Kuznetsov V.A., Shchedrin A.V., Skoromnov V.M. On the influence of geometric parameters of the quality of the surface of the billet on the macro- and microgeometry of the machined part surface when piercing [K voprosu o vliyaniy geometricheskikh parametrov kachestva poverkhnosti zagotovki na makro- i mikrogeometriyu obrabatyvaemoy poverkhnosti detali pri proshivaniy], *Izvestiya MGTU MAMI [Izvestiya of the Moscow State Technical University MAMI]*, 2009, vol. 1, no.2, pp. 125-130.

76. Bekaev A.A., Shchedrin A.V., Skoromnov V.M., Tsvetkov I.A. Investigation of the effect of geometric parameters of the quality of the workpiece surface on the macro- and microgeometry of the workpiece surface of the workpiece during the sewing process [Issledovanie vliyaniya geometricheskikh parametrov kachestva poverkhnosti zagotovki na makro- i mikrogeometriyu obrabatyvaemoy poverkhnosti detali v protsesse proshivaniya], *Mashinostroitel [Machine Builder]*, 2009, no.7, pp. 17-20.

77. Maksimov Yu.V., Bekaev A.A., Nadolsky M.A., Prokhorov A.V. On the issue of ensuring the accuracy of machining on CNC machines [K voprosu ob obespechenii tochnosti obrabotki na stankakh s ChPU], *Izvestiya MGTU MAMI [Izvestiya of the Moscow State Technical University MAMI]*, 2012, no.2, pp. 129-130.

78. Bekaev A.A., Maksimov Yu.V., Kuzminsky D.L., Strings P.I. Controlling the accuracy of processing by software correction of the working parts of technological equipment [Upravlenie tochnostyu obrabotki putem programmnoy korrektsii rabochikh organov tekhnologicheskogo oborudovaniya], *STIN [Russian Engineering Research]*, 2017, no.5, pp. 6-10.

79. Avdeev V.B. Evaluation of the reliability of lathes with numerical control on the parameters of processing accuracy [Otsenka bezotkaznosti tokarnykh stankov s ChPU po parametrov tochnosti obrabotki], *Izvestiya MGTU MAMI [Izvestiya of the Moscow State Technical University MAMI]*, 2012, no.2, pp. 158-164.

80. Neizvestnykh A.G., Krylov E.G. Analysis of the accuracy of machining of parts on machine tools with CNC [Analiz tochnosti obrabotki detaley na stankakh s ChPU], *Izvestiya*

VolgGTU [Izvestia of Volgograd State Technical University], 2008, vol. 4, no.9, pp.89-91.

81. Sakharov A.V. *Ustanovlenie tekhnologicheskikh vozmozhnostey stankov dlya proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov i obosnovaniya proizvodstvennoy programmy: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Establishment of technological capabilities of machine tools for the design of technological processes and the rationale for the production program: dissertation of PhD], Moscow, 2012, 19 p.

82. Sakharov A.V. *Ustanovlenie tekhnologicheskikh vozmozhnostey stankov dlya proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov i obosnovaniya proizvodstvennoy programmy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Establishment of technological capabilities of machine tools for the design of technological processes and the rationale for the production program: dissertation of PhD], Moscow, 2012, 174 p.

83. GOST 22267-76 RU. *Stanki metallorzhushchie. Skhemy i sposoby izmereniy geometricheskikh parametrov* [State Standard 22267-76 RU. Metal-cutting machine tools. Schemes and procedures of measuring geometrical parameters], Moscow, Publishing Standards, 1988, 149 p.

84. Pronikov A.S., Averyanov O.I., Apollonov Yu.S. et al. *Proektirovanie metallorzhushchikh stankov i stanochnykh sistem: spravochnik-uchebnik. T.I. Proektirovanie stankov* [Design of metal cutting machines and machine tools. Handbook-textbook. V.I. Designing of machine tools], Moscow, Bauman MSTU, Mechanical engineering, 1994, 444p.

85. Sakharov A.V. Using the principles of modular technology to determine the technological capabilities of machine tools [Ispozovanie printsipov modulnoy tekhnologii dlya opredeleniya tekhnologicheskikh vozmozhnostey stankov], *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii [Automated design in mechanical engineering]*, 2013, no.1, pp. 152-153.

86. Sakharov A.V. Evaluation of the possibility of fulfilling production orders of the enterprise according to the nomenclature of surface modules [Otsenka vozmozhnosti vpolneniya proizvodstvennykh zakazov predpriyatiya po nomenklature moduley poverkhnostey], *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii [Automated design in mechanical engineering]*, 2014, no.2, pp. 112-115.

87. Sakharov A.V. Establishment of the possibility of obtaining the characteristics of the modules of the surfaces of parts on the machine park of the enterprise [Ustanovlenie vozmozhnosti polucheniya kharakteristik moduley poverkhnostey detaley na stanochnom parke predpriyatiya], *Trudy XXVI Mezhdunarodnoy Innovatsionno-orientirovannoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov (MIKMUS-2014) [Proc. of the XXVI International Innovation-Oriented Conference of Young Scientists and Students (MIKMUS-2014)]*, Moscow, 2014, pp. 53-57.

88. Sakharov A.V., Arzybaev A.M. Establishment of technological capabilities of the machine [Ustanovlenie tekhnologicheskikh vozmozhnostey stanka], *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya [Progressive technologies and systems of mechanical engineering]*, 2014, no.2 (48), pp. 88-92.

89. Sakharov A.V. Method for assigning norms of geometric accuracy in designing a metal-cutting machine [Metodika naznacheniya norm geometricheskoy tochnosti pri proektirovaniy metallorzhushchego stanka], *Trudy XXVII Mezhdunarodnoy innovatsionno-orientirovannoy konferentsii molodykh uchenykh i studentov MIKMUS-2015 [Proc. of the XXVII Inter-*

national Innovation-Oriented Conference of Young Scientists and Students (MIKMUS-2015)], Moscow, 2015, pp. 40-43.

90. Sakharov A.V., Arzybaev A.M., Rodionova N.A. The decision of a direct problem on purpose of norms of geometrical accuracy of a projected metal-cutting machine [Reshenie pryamoy zadachi po naznacheniyu norm geometricheskoy tochnosti proektiruemogo metallovezhushchego stanka], *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya [Progressive technologies and systems of mechanical engineering]*, 2016, no.2 (53), pp. 207-211.

91. Ageenko A.V. Technique of adjustment of CNC parameters of lathes for providing the specified accuracy of the part contour [Metodika nastroyki parametrov UChPU tokarnykh stankov dlya obespecheniya zadannoy tochnosti kontura detali], *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii [Fundamental and Applied Problems of Technics and technology]*, 2011, no.5, pp. 67-73.

92. Ageenko A.V. Increase the accuracy of lathes by adjusting the CNC settings [Povyshenie tochnosti tokarnykh stankov putem nastroyki parametrov UChPU], *Vestnik BGTU [Bulletin of Bryansk State Technical University]*, 2011, no.4, pp. 10-14.

93. Ageenko A.V. *Povyshenie tochnosti tokarnykh stankov s ChPU za schet modernizatsii sistem upravleniya: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Increase the accuracy of lathes with numerical control due to the modernization of control systems: dissertation of PhD], Bryansk, 2012, 18 p.

94. Fedonin O.N., Petreshin D.I., Khandozhko V.A., Ageenko A.V. Ensuring the accuracy of the CNC lathe by adjusting the machine parameters [Obespechenie tochnosti tokarnogo stanka s ChPU za schet nastroyki stanochnykh parametrov], *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii [High Tech In Mechanical Engineering]*, 2013, no.11 (29), pp. 9-14.

95. Fedonin O.N., Petreshin D.I., Khandozhko V.A., Ageenko A.V. Accounting errors in the control system in the accuracy balance of the lathe with CNC [Uchet pogreshnostey sistemy upravleniya v balanse tochnosti tokarnogo stanka s ChPU], *Vestnik BGTU [Bulletin of Bryansk State Technical University]*, 2013, no.3 (39), pp. 55-57.

96. Koltsov A.G. Diagnostics of the technical condition of metal-cutting equipment [Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya metallovezhushchego oborudovaniya], *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2011, no.3 (103), pp.79-82.

97. Koltsov A.G., Sukhinin V.B. Checking the geometric accuracy of metal cutting equipment [Proverka geometricheskoy tochnosti metallovezhushchego oborudovaniya], *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2011, no.3 (103), pp. 95-97.

98. Koltsov A.G., Toropov A.V., Petukhov A.A. Checking the five-coordinate milling machining center for accuracy [Proverka pyatikoordinatnogo frezernogo obrabatyvayushchego tsentra na tochnost], *Vestnik UGATU [Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University]*, 2012, vol. 16, no.4 (49), pp. 129-132.

99. Koltsov A.G., Petukhov A.A., Medvedyuk I.V. Methods of automated provision of precision in the manufacture of complex parts on CNC machines [Metody avtomatizirovannogo obespecheniya tochnosti izgotovleniya slozhnykh detaley na stankakh s ChPU], *Dinamika sistem, mekhanizmov i*

mashin [Dynamics of systems, mechanisms and machines], 2012, no.2, pp. 241-244.

100. Koltsov A.G. Method for constructing a mathematical model for estimating the accuracy of technological equipment on the basis of a multi-operation machine [Metodika postroeniya matematicheskoy modeli otsenki tochnosti tekhnologicheskogo oborudovaniya na baze mnogooperatsionnogo stanka], *Vestnik UGATU [Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University]*, 2013, vol. 17, no.8 (61), pp. 106-116.

101. Koltsov, A.G. Method for constructing a mathematical model for accuracy of processing, taking into account geometric, kinematic and dynamic factors [Metodika postroeniya matematicheskoy modeli tochnosti obrabotki s uchetom geometricheskikh, kinematicheskikh i dinamicheskikh faktorov], *Omskiy nauchnyy vestnik [Omsk Scientific Bulletin]*, 2014, no.1 (127), pp. 96-100.

102. Khristolyubov M.A., Mulyukova A.R., Koltsov A.G. Tests of metal-cutting machines on geometrical accuracy [Ispytaniya metallovezhushchikh stankov na geometricheskuyu tochnost], *Materialy IV mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Tekhnika i tekhnologii mashinostroeniya" [Materials of the IV International Student Scientific and Practical Conference "Engineering and Technology of Mechanical Engineering"]*, Omsk, 2015, pp. 271-277.

103. Blokhin D.A., Koltsov A.G., Vasilyeva I.A. Diagnostics of the technical condition of metal-cutting machines with CNC [Diagnostika tekhnicheskogo sostoyaniya metallovezhushchikh stankov s ChPU], *Materialy 2 Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Nauka i molodezh v XX veke" [Materials of the 2 nd All-Russian Scientific and Practical Conference "Science and youth in the twenty-first century"]*, Omsk, 2016, pp. 91-96.

104. Koltsov A.G., Blokhin D.A., Krivonos E.V., Narezhev A.N. Influence assessment of metal-cutting equipment geometrical accuracy on OMV-technologies accuracy [Otsenka vliyaniya geometricheskoy tochnosti metallovezhushchego oborudovaniya na tochnost OMV-tekhnologii], *Dinamika sistem, mekhanizmov i mashin [Dynamics of systems, mechanisms and machines]*, 2016, vol. 1, no.1, pp. 322-329. DOI: 10.1109/Dynamics.2016.7819029

105. Gorshkov B.M. *Povyshenie tochnosti tekhnologicheskikh obrabatyvayushchikh sistem s sostavnymi staninami metodom avtomaticheskoy kompensatsii ikh deformatsiy: avtoref. dis. d-ra. tekhn. nauk* [Increase in the accuracy of technological processing systems with composite frames by the method of automatic compensation of their deformations: dissertation of PhD], Samara, 2005, 35 p.

106. Gorshkov B.M., Tokarev D.G. Experimental study of increasing the accuracy of precision vertical coordinate boring [Eksperimentalnoe issledovanie povysheniya tochnosti pretzionnykh vertikalnykh koordinatno-rastochnykh stankov], *Vestnik SamGTU. Tekhnicheskije nauki [Bulletin of the Samara State Technical University. Technical Sciences Series]*, 2007, no.2 (20), pp. 183-186.

107. Gorshkov B.M., Tokarev D.G., Marshanskaya O.V. Development and study of the dynamic model of a vertical coordinate boring machine [Razrabotka i issledovanie dinamicheskoy modeli vertikalnogo koordinatno-rastochnogo stanka], *Vestnik SamGTU. Tekhnicheskije nauki [Bulletin of the Samara State Technical University. Technical Sciences Series]*, 2008, no.2, pp.127-132.

108. Gorshkov B.M. Increase of accuracy in the working space of technological machines [Povyshenie tochnosti v rabochem prostranstve tekhnologicheskikh mashin], *Shkola universitetskoy nauki: paradigma razvitiya [School of University Science: Development Paradigm]*, 2010, no.1-2, pp. 255-258.

109. Gorshkov B.M., Remneva O.Yu., Vylegzhanin D.V., Samokhina N.S. Experimental and experimental setup for evaluating the efficiency of increasing the accuracy of coordinate boring machines [Opytno-eksperimentalnaya ustanovka dlya otsenki effektivnosti povysheniya tochnosti koordinatno-rastochnykh stankov], *Vektor nauki TGU [Vector science TSU]*, 2011, no.2, pp. 121-124.

110. Gorshkov B.M., Remneva O.Yu. Investigation of the accuracy of processing on precision technological equipment [Issledovanie tochnosti obrabotki na pretsizionnom tekhnologicheskom oborudovanii], *Trudy IV mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Teplofizicheskie i tekhnologicheskie aspekty povysheniya effektivnosti mashinostroitel'nogo proizvodstva (Reznikovskie chteniya)" [Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Thermophysical and technological aspects of increasing the efficiency of machine-building production (Reznikov's readings)"]*, Tol'yatti, 2015, pp. 201-207.

111. Gorshkov B.M., Remneva O.Yu. Study of precision processing parameters on precision technological equipment [Izuchenie tochnostnykh parametrov obrabotki na pretsizionnom tekhnologicheskom oborudovanii], *Vektor nauki TGU [Vector science TSU]*, 2015, no.2-2, pp. 69-74.

112. Rubtsov M.A., Gorshkov B.M. Increase of accuracy of processing of billets on coordinate boring machines by automatic static adjustment of their technological system [Povyshenie tochnosti obrabotki korpusnykh zagotovok na koordinatno-rastochnykh stankakh putem avtomaticheskoy staticheskoy nastroyki ikh tekhnologicheskoy sistemy], *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Naukoemkie tekhnologii na sovremennom etape razvitiya mashinostroeniya" [Materials of the VIII International Scientific and Technical Conference "High technology at the present stage of the development of mechanical engineering"]*, Moscow, 2016, pp. 192-195.

113. Tokarev D.G. *Povyshenie tochnosti tekhnologicheskikh sistem vertikalnykh koordinatno-rastochnykh stankov metodom korrektsii polozheniya korpusa shpindel'noy babki: avtoref. dis. d-ra. tekhn. nauk* [Increase of accuracy of technological systems of vertical coordinate boring machines by the method of correction of the position of the spindle head body: dissertation of PhD], Ulyanovsk, 2010, 18 p.

114. Leshchenko A.I. Achievement of the required accuracy of complex-profile surfaces by parametrization of program correction of processing errors on CNC machines [Dostizhenie trebuemoy tochnosti slozhno-profilnykh poverkhnostey putem parametrizatsii programmnoy korrektsii pogreshnostey obrabotki na stankakh s ChPU], *Vestnik PGTU [Bulletin of the Priazov State Technical University]*, 2011, no.2 (23), pp. 197-203.

115. Dzhumaev Z.F., Ashurov Z.L., Saidov D.S. Machine adjustment and accuracy of machining [Podnaladka stankov i tochnost obrabotki], *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 2014, no.21, pp. 147-149.

116. Dzhumaev Z.F., Ashurov Z.L., Saidov D.S. Problems of increasing the accuracy of machining on metal-cutting machines [Problemy povysheniya tochnosti obrabotki na metallorezhushchikh stankakh], *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 2014, no.21, pp. 146-147.

117. Ivakhnenko A.G. *Konceptualnoe proektirovaniye metallorezhushchih sistem. Strukturnyy sintez: monografiya* [Conceptual design of metal-cutting systems. Structural synthesis: monograph.], Habarovsk, 1998, 124 p.

118. Ivakhnenko A.G., Podlenko O.N. Accuracy of shaping on hexapods, *Russian Engineering Research*. 2007, vol. 27, iss.12, pp. 896-900. DOI: 10.3103/S1068798X07120143

119. Ivakhnenko A.G., Kuts V.V., Ivakhnenko E.O. Structural parametric synthesis of metal cutting systems with hybrid assembly [Strukturno-parametricheskyy sintez metallorezhushchih sistem s gibridnoy komponovkoy], *Vestnik mashinostroeniya [Russian Engineering Research]*, 2016, no.5, pp. 17-23.

120. Anikeeva O.V., Ivakhnenko A.G., Krukov D.N. The influence of machine tools geometric accuracy parameters on the position deviations of the machinable surfaces [Vliyanie parametrov geometricheskoy tochnosti stankov na otkloneniya raspolozheniya obrabotannykh poverkhnostey], *Naukovedenie [Naukovedenie]*, 2017, vol. 9, no.1 (available at: <http://naukovedenie.ru/PDF/52TVN117.pdf>).

121. Anikeeva O.V. The development of the variational method for the computation of machine-tools accuracy [Razvitie variatsionnogo metoda rascheta tochnosti metallorezhushchih stankov], *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy tekhniki i tekhnologii [Fundamental and Applied Problems of Technics and technology]*, 2016, no.5, pp. 111-118.

122. Anikeeva O.V. *Upravleniye etapom planirovaniya dlya povysheniya kachestva protsessa remonta metallorezhushchikh stankov: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Management planning stage to improve the quality of the repair process of metal cutting machines: dissertation of PhD], Kursk, 2012, 16 p.

Библиографическое описание статьи

Аникеева О.В. Анализ опыта современных отечественных научных школ в области точности металлорежущих станков // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2017. – Т.5, №4. – С. 14-29. DOI: 10.24892/RIJE/20170402

Reference to article

Anikeeva O.V. The analysis of the experience of modern national scientific schools in the field of a metal cutting machines precision, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2017, vol.5, no.3, pp. 14-29. DOI: 10.24892/RIJE/20170402