

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

**Рубцова Михаила Анатольевича**

«Повышение точности горизонтальных

координатно-расточных станков путём компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

**Актуальность темы исследования.** При проектировании и эксплуатации металлорежущего оборудования возникает необходимость повышения и поддержания его точностных характеристик. Это особенно важно применительно к горизонтальным координатно-расточным станкам (КРС).

Наиболее широкое применение нашли горизонтальные координатно-расточные станки, устанавливаемые на три опорные точки относительно фундамента. Эти станки широко используются в автомобильной, железнодорожной и оборонной промышленности. Они имеют ряд преимуществ над многоопорными системами. Проседание одной из опор приводит к наклону станка и не существенно влияет на относительные перемещения подсистемы «инструмент-заготовка». Однако силовые деформации станины (изгиб, кручение и контактные взаимодействия) от веса подвижных узлов нарушают статическую настройку технологической системы станка, следовательно, снижают его точность. Поэтому, повышение точности горизонтальных КРС является актуальной научно-технической задачей.

Значительный вклад в оценку точности технологического оборудования и разработку эффективных путей её повышения внесли отечественные и зарубежные ученые: Б.М. Базров, Б.С. Балакшин, А.Г. Суслов, А.М. Дальский, В.Г. Митрофанов, Д.Н. Решетов, Н. Blok, F.P. Bowden, D. Tabor и др. Классические методы повышения точности состоят в выборе оптимальной конструкции станины и увеличении её жесткости, повышении качества сборки и доводки узлов, подборе оптимальных режимов резания и др. Порой эти методы исчерпывают свои возможности и становятся экономически невыгодными.

Оснащение станков адаптивными самоподстраивающимися системами является весьма перспективным направлением повышения их точности.

Работа посвящена повышению геометрической точности горизонтальных КРС, размещённых на трёх башмаках относительно фундаментной плиты, с ис-

пользованием устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины, на примере горизонтального КРС модели 2А459АМФ4.

В настоящее время станкостроительное предприятие ЗАО «Стан-Самара», являющееся правопреемником Самарского станкостроительного производственного объединения, выполняет ремонт и модернизацию технологического оборудования, выпускаемого ранее. Участвует в ремонте высокоточных станков моделей 2458АФ1, 2459АФ1, 2А459АМФ4 и т.д.

В этой связи диссертационная работа Рубцова Михаила Анатольевича, направленная на повышение точности металлорежущего оборудования, является актуальной и представляет, несомненно, научный и практический интерес.

### **Общая характеристика работы и соответствие темы диссертации паспорту научной специальности**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка используемых источников из 156 наименований. Работа изложена на 165 страницах, содержит 64 рисунка, 7 таблиц.

Структура диссертации построена логически верно.

**В первой главе** приведен анализ факторов и конструктивных особенностей, влияющих на точность машин, и методы её повышения.

Металлорежущее оборудование является одной из основ машиностроительного производства. КРС, используемые в машиностроении, позволяют с высокой точностью и производительностью обрабатывать заготовки различных размеров и значительной сложности. При этом на точность обработки влияние оказывает множество факторов, но основу составляет геометрическая точность самого технологического оборудования. От точности машины зависят: ее работоспособность, надежность, экономичность, производительность, уровень вибрации и шума, а также качество выпускаемой продукции.

Поэтому повышение геометрической точности технологического оборудования является важной научной и производственной задачей.

Данная задача остро стоит применительно к горизонтальным КРС средних размеров, установленным на три опоры относительно фундаментной плиты.

**Вторая глава** посвящена экспериментальным исследованиям деформаций несущей системы горизонтального КРС и составлению его баланса точности.

При проведении эксперимента стол заготовки устанавливался в среднее положение на станине, а салазки – в положение начала обработки. Для передачи нагрузки в шпинделе станка закреплялась оправка. С помощью винтового домкрата создавалась нагрузка.

Для измерения нагрузки использовался динамометр, который располагался между винтовым домкратом и оправкой. При повороте стола заготовки изменялось направление действующей силы. Нагружение станка при эксперименте было выполнено по девяти направлениям, одно из которых - усилие, приложенное

вдоль оси шпинделя, имитирующее операцию сверления.

Величину нагрузочного усилия изменяли от 0 до 8000 Н. Показания измерительных приборов снимали через каждые 500 Н нагрузки.

Цена деления измерительных приборов (микрокаторов), позволивших составить баланс точности станка, составляла 0,2 мкм.

В результате выявлено, что наибольшим силовым деформациям подвержена станина, по направляющим которой перемещается стойка. Деформации изгиба станины приблизительно составляют 55 % в балансе упругих перемещений горизонтального КРС модели 2А459АМФ4, в который входят: деформации массивных элементов станка и перемещения при контактных взаимодействиях его различных деталей.

**В третьей главе** приведены теоретические исследования снижения точности КРС. Геометрическая точность станка в первом приближении рассмотрена как сумма упругих перемещений при контактных взаимодействиях подсистем «салазки - стойка станка», «салазки – роликовые направляющие станины» и общих деформаций станины (изгиба и кручения).

Выполнено математическое описание влияния деформаций станины горизонтального КРС на снижение его точности, позволяющее выполнять расчет перемещений стойки и обрабатываемой заготовки.

При анализе теоретических и экспериментальных исследований выявилось, что силовые деформации несущей системы имеют удовлетворительное совпадение, максимальное расхождение составило 15%.

Разработана динамическая модель стойки горизонтального КРС с системой гидродомкратов как объект, подлежащий управлению. Это позволило определить собственные передаточные функции по управлению и возмущению с получением динамических структур объекта управления, позволяющих синтезировать регулятор системы управления.

**Четвёртая глава** посвящена описанию разработанной экспериментальной опытно-промышленной установки компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины горизонтального КРС модели 2А459АМФ4.

При разработке опытно-промышленной установки было разработано устройство стабилизации положений осей обрабатываемого отверстия и инструмента (патент РФ на полезную модель №136380). Оно позволило существенно снизить влияние изгиба и кручения станины на точность горизонтального КРС модели 2А459АМФ4. Но при этом была выявлена низкая помехозащищенность данного устройства, что привело к выводу о использовании устройства стабилизации положений осей обрабатываемого отверстия и инструмента только в лабораторных целях.

Для экспериментальных исследований силовых деформаций станины станка потребовалась разработка измерительной базы, а именно, устройства для измерения силовых деформаций станины КРС (патент РФ на изобретение № 2575508),

использующее гироскопический эффект. Это позволило повысить устойчивость самой измерительной базы. Были так же разработаны: устройство для контроля силовых деформаций станин КРС (патент РФ на полезную модель № 142880) и устройство для измерения силовых деформаций изгиба и кручения станин КРС (патент РФ на полезную модель № 140823). Но при их использовании была выявлена высокая подверженность устройств колебаниям технологической системы станка, что позволило использовать их только в лабораторных целях.

Разработанная опытно-промышленная установка позволила оценить эффективность повышения точности обработки станка за счет оснащения горизонтального КРС устройством компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины, установив в месте соединения салазок и стойки два гидродомкрата. Компенсация угловых перемещений стойки при деформации станины осуществляется автоматически. В состав устройства входят рейка-шаблон, закреплённая на салазках под некоторым углом, распределительный клапан и станция гидравлического давления.

Таким образом, экспериментальная опытно-промышленная установка позволяет повысить точность горизонтального КРС путем компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины в условиях действующего производства.

**Пятая глава** посвящена оценке повышения точности на горизонтальном КРС, оснащённом устройством компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины.

Исследования погрешности обработки отверстий производились при расточке отверстий в заготовке диаметром  $\varnothing 20^{+0,015}$  на горизонтальном КРС модели 2А459АМФ4. Измерения растачиваемых отверстий проводились на координатной измерительной машине.

Внедрение системы компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины станка обеспечило снижение величины увода оси обработанного отверстия от идеального в 2 раза.

В результате установлено, что использование устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины позволяет перевести станок из класса точности В в класс А.

В целом представленная диссертация обладает внутренним единством и является завершённой научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту заявленной специальности 05.02.07 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна**

**Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** достигается методами линейной алгебры, классической тригонометрии и механики, конечных элементов, теории резания, теории вероятности и математической статистики. Исследования воздействия силовых деформаций упругой системы на точность обработки проводились экспериментально в промышленных условиях на опытно-промышленной установке, оснащенной устройством компенсации угловых перемещений стойки при деформации её станины.

**Достоверность** изложенных в работе результатов обеспечивается: корректностью поставленной задачи; корректным использованием применяемого математического аппарата и вводимых допущений и гипотез; сравнением данных численного расчета с данными, полученными известными аналитическими методами для подтверждения точности результатов вычислений; качественным согласованием результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Основные результаты аналитических и экспериментальных исследований внедрены:

- в виде методики оценки влияния силовых деформаций упругой системы горизонтальных КРС (в статике) на точность обработки поверхностей (ФГУП НКТБ “ПАРСЕК”, г.о. Тольятти);

- в виде методики исследования перемещения стойки горизонтального КРС с комплексом гидродомкратов как объект управления (ФГУП НКТБ “ПАРСЕК”, г.о. Тольятти);

- в виде рекомендаций к выполнению серии лабораторно-исследовательских работ по учебным курсам «Основы технологии машиностроения», «Технология производства БМП» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»);

- в виде устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины горизонтального КРС модели 2А459АМФ4, позволившее снизить увод оси расточки глубоких отверстий вследствие упругих силовых деформаций станины более чем в 2 раза (ФГУП НКТБ “ПАРСЕК”, г.о. Тольятти);

- при подготовке лекций по дисциплине «Автоматические линии, оборудование, ГПС» (ФГБОУ ВО «ПВГУС»).

О внедрении результатов диссертационной работы свидетельствуют соответствующие акты.

Основные положения и результаты исследований докладывались и обсуждались:

- на 6-ти Международных научно-технических конференциях: “Наука - промышленности и сервису” (Тольятти, 2012, 2014), “Проблемы исследования и проектирования машин” (Пенза, 2013), “Технологическое обеспечение машиностроительных производств” (Челябинск, 2013), “70 years FIT” (Болгария, Созопл, 2015), “Наукоёмкие технологии на современном этапе развития машиностроения” (Москва, 2016);

– на Международном форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, 2013);

– на Всероссийской научно-технической конференции “Высокие технологии в машиностроении” (Самара, 2015).

По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 3 из них в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 8 публикаций в трудах и материалах международных, всероссийских научно-технических конференций, 3 патента РФ на полезную модель, 1 патент на изобретение.

**Научная новизна.** В диссертационной работе получены следующие основные результаты:

– математическая модель контактных взаимодействий в стыке подсистемы «салазки – стойка станка», описывающая сближение контактирующих поверхностей, влияющих на угловые перемещения стойки;

– математическая модель, описывающая влияние изгибных деформаций станины и контактных взаимодействий стойки, салазков, роликовых направляющих станины на геометрическую точность станка;

– динамическая модель, описывающая поведение стойки горизонтального КРС с комплексом гидродомкратов как объект управления.

**Практическая значимость заключается в:**

– доказательстве положительного эффекта от использования устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины горизонтального КРС;

– практической реализации устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины горизонтального КРС;

– разработке лабораторной установки, выполненной на базе горизонтального КРС модели 2А459АМФ4 (патент на полезную модель РФ № 136380; заявл. 28.03.2013; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.);

– усовершенствовании измерительно-регистрирующей базы горизонтальных КРС для оценки силовых деформаций станин на основе использования гироскопического эффекта (патенты на полезную модель РФ: № 142880; заявл. 26.09.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 19; № 140823; заявл. 24.01.2014; опубл. 20.05.2014, Бюл. № 14; патент РФ на изобретение № 2575508; заявл. 10.09.2014; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5);

– разработке и отладке экспериментальной опытно-промышленной установки компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины горизонтального КРС модели 2А459АМФ4.

**Замечания по диссертации и автореферату**

1. В третьей главе представлена динамическая модель стойки горизонтального КРС с комплексом гидродомкратов, как объект управления, позволяющая синтезировать регулятор системы управления. Предполагается, что данная модель

использовалась при разработке лабораторной установки, но в тексте диссертации об этом не сказано.

2. В четвёртой главе на рисунке 4.1 (стр. 81) представлена лабораторная установка, которая содержит устройство стабилизации положений осей обрабатываемого отверстия и инструмента, на котором не ясен способ закрепления двухкоординатных электронных уровней на заготовке и стойке станка.

3. На рисунке 4.12 (стр. 97) представлена схема взаимодействия рейки-шаблона с распределительным клапаном, но такое название является не корректным, поскольку это фотография реализованного устройства компенсации угловых перемещений стойки при деформации станины.

4. На стр. 104, 106, а так же в ПРИЛОЖЕНИИ В (стр. 155-159) не совсем удачно представлены круглограммы – величины увода оси отверстия и шкалы плохо просматриваются на изображениях.

Отмеченные недостатки не снижают достоинств работы в научном и практическом плане.

Диссертация Рубцова Михаила Анатольевича на соискание учёной степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи повышения точности горизонтальных координатно-расточных станков, имеющей существенное значение для соответствующей отрасли знаний, что соответствует требованиям п. 9 «Положение о присуждении учёных степеней». Автор работы Рубцов М.А. заслуживает присуждения искомой учёной степени.

Кандидат

технических наук, доцент кафедры  
«Автоматизированные станочные и  
инструментальные системы»  
Самарского государственного  
технического университета

О.Ю. Казакова

Адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244  
e-mail: [ask@samgtu.ru](mailto:ask@samgtu.ru)  
Телефон: (846) – 332-45-85

05.02.08. – Технология машиностроения

Подпись к.т.н., доцента кафедры «АСИИС» Казаковой О.Ю. заверяю:  
Ученый секретарь СамГТУ,  
д.т.н.



Ю.А. Малиновская