

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Клачкова Владимира Андреевича на тему «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Современные тенденции развития машиностроительной отрасли требуют повышения точности и надежности узлов машин, в том числе шаровых шарниров, использующихся в качестве основных кинематических пар, обеспечивающих подвижность пространственных механизмов. Все вышеперечисленное приводит к ужесточению технических требований, предъявляемых к шаровым шарнирам, и к усложнению технологических процессов. В результате возникают **актуальные задачи** рационализации режимных параметров обработки шарниров и прогнозирования результатов взаимной сферической притирки (ВСП) с опорой на исходное качество заготовок.

Научная новизна работы заключается в том, что автором были разработаны конструкция специализированного стенда для ВСП и имитационная модель процесса ВСП, а также установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и качеством шарового шарнира и связи параметров сигналов акустической эмиссии с моментом достижения качественных показателей обработки.

Практическая значимость работы заключается: в повышении производительности процесса ВСП на 8-15% посредством подбора рациональных режимов обработки при имитационном моделировании; в сокращении уровня производственного брака на 7-9% за счет своевременного прекращения обработки шаровых шарниров при достижении качественных показателей обработки.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

1. Из текста автореферата не совсем понятен алгоритм загрузки исходных данных результатов измерения на КИМ в имитационную модель. В классическом виде КИМ выводит карту измерений, которая характеризует геометрию поверхности в целом, а судя по тексту сферическую поверхность моделируют с конкретными величинами отклонений в точках.

2. При описании движения нутации следует указывать, что скорость вращения берется по модулю, так как кинематика стенда обеспечивает возвратно-качательное движение нутации.

Указанные замечания существенно не снижают высокий уровень диссертационной работы и общей положительной оценки исследования.

Диссертационная работы Клачкова Владимира Андреевича является самостоятельной и логически завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно обоснованные технические решения,

направленные на повышение управляемости процессом ВСП посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии обработки.

Представленная диссертационная работа по актуальности, достоверности, научной и практической значимости удовлетворяет требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор Клачков Владимир Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Профессор кафедры транспорта и хранения нефти и газа федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», профессор, доктор технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение),

Щипачёв

Андрей Михайлович

Адрес: 199106, г. С-Петербург, В.О., 21-я линия, 2

Тел: +7 (812) 328-82-08

E-mail: Schipachev_AM@pers.spmi.ru

Подпись А.М. Щипачёва заверяю:



Заведующий отделом управления
производства и
документооборота
Яковлева

29 АПР 2026

В диссертационный совет
Д24.2.332.01 ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»

127055, г. Москва, ГСП-4, Вадковский
пер., д. 1.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Клячкова Владимира Андреевича на тему
«Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5.

Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Сферическое соединение деталей машин типа «Шаровой шарнир» встречается в изделиях, относящихся к различным отраслям промышленности, а именно: в автомобилестроении, станкостроении, судостроении, авиастроении, приборостроении и др. Широкое применение сферических соединений обусловлено их лучшими технологическими и эксплуатационными параметрами по сравнению с плоскими соединениями. Для обеспечения указанных параметров к сферическим соединениям предъявляются высокие технические требования к точности изготовления, которая характеризуется отклонениями геометрической формы и шероховатостью сферических поверхностей. Поэтому повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки и разработка методов прогнозирования результатов притирочных операций имеет важное значение для повышения производительности технологических процессов и качества выпускаемой продукции и является, безусловно актуальной научной задачей.

В качестве объекта исследования определен шаровой шарнир, изготовленный из материала сталь 20 с максимальным углом наклона до 30 градусов. В работе установлены связи между стратегией притирки и характером износа сферических поверхностей шарнира, а также между параметрами виброакустического сигнала и качеством обработки.

В диссертации выполнено комплексное исследование процесса взаимной сферической притирки с использованием программного обеспечения авторской разработки и физического эксперимента на специализированном притирочном стенде, созданном в рамках исследования.

Полученные результаты были достигнуты с использованием следующих методов: анализа научно-технической литературы, имитационного моделирования, компьютерного 3D-моделирования и проведения физического эксперимента.

Основные результаты диссертационного исследования довольно полно отражены в 19 публикациях, 5 из которых опубликованы в рецензируемых изданиях из Перечня ВАК РФ. Выносимые на защиту положения подкреплены теоретическим анализом, компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями.

Характеризуя работу Клячкова В.А. положительно, следует отметить ряд замечаний:

- в автореферате не приведена информация о массогабаритных характеристиках исследуемого шарнира;
- текст на рисунках 2 и 6 слабо читаемый;
- в автореферате не приведена информация о масштабе производственных испытаний.

Указанные замечания не влияют на качество выполненной диссертационной работы и носят рекомендательный характер.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о том, что диссертация Клачкова Владимира Андреевича на тему «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», актуальна, выполнена на высоком теоретическом уровне, имеет практическую значимость и соответствует критериям, которым должна соответствовать диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п. 9 - 11, 13, 14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней на соискание ученой степени кандидата технических наук», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 16.10.2024)).

По степени актуальности, научной новизны, теоретической и практической значимости полученных результатов диссертация соответствует требованиям «Положения...» ВАК РФ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Клачков Владимир Андреевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Доктор технических наук, доцент, профессор
кафедры «Прикладная механика и математика»

Забайкальского института

железнодорожного транспорта

(специальность 2.5.2. Машиноведение)



Ильиных Виктор Анатольевич

«30» апреля 2026 г.

Контактная информация: Ильиных Виктор Анатольевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Прикладная механика и математика» Забайкальского института железнодорожного транспорта, 672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, Тел.: 8(3022) 24-06-90

E-mail: sekretar@zab.megalink.ru, E-mail: ok@zab.megalink.ru, e-mail: ilinykh.viktor5@mail.ru.

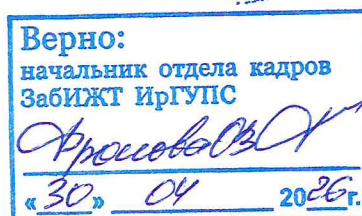
Я, Ильиных Виктор Анатольевич, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку по защите диссертации Клачкова Владимира Андреевича.



Ильиных Виктор Анатольевич

«30» апреля 2026 г.

Подпись Ильиных Виктора Анатольевича заверяю:



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Пермский национальный
исследовательский политехнический
университет» (ПНИПУ)

В диссертационный совет
Д24.2.332.01 ФГАОУ ВО МГТУ
«СТАНКИН» ученому секретарю
диссертационного совета
Е.С.Сотовой

614990, Пермский край, г. Пермь,
Комсомольский проспект, д.29,
тел. 8(342) 212-39-27,
факс 8(342) 219-80-67,
e-mail: rector@pstu.ru, <http://www.pstu.ru>

127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1

ОТЗЫВ

на автореферат Клячкова Владимира Андреевича на тему «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Актуальность темы исследования не вызывает сомнений. Повышение управляемости процессом формообразования поверхности при реализации взаимной сферической притирки (ВСП) во многом определяет эффективность производства шаровых шарниров. По результатам проведенного исследования научно-технической литературы автор сформировал новый метод повышения эффективности процесса ВСП.

В качестве объекта исследования выбран процесс ВСП. В работе установлены основные факторы, влияющие на качество обработки при ВСП. Автор сконструировал стенд для ВСП и разработал приложение имитационного моделирования процесса ВСП.

Было установлено, что для рассматриваемого в исследовании шарового шарнира лучшими показателями по характеру изменения пятна контакта в соединении обладает стратегия, в которой значения скоростей сферического движения — прецессии, нутации и собственного вращения — находятся во взаимном отношении, равном $4:1:(-2)$ соответственно.

Также было показано, что плавный рост параметра KF_2 , представляющего собой отношение эффективных амплитуд низкочастотного и высокочастотного диапазонов виброакустического сигнала, свидетельствует об увеличении площади пятна контакта в сферическом соединении.

На наш взгляд, наибольшую научную новизну представляет имитационная модель процесса ВСП, которая:

- формирует систему прогнозирования съёма припуска и управления стратегиями обработки;

Ученому секретарю диссертационного совета
д24.2.332.01 ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Екатерине Сергеевне Сотовой

127055, г. Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д. 1.

ОТЗЫВ

**на автореферат Клачкова Владимира Андреевича на тему:
«Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством
имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии»,
представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-
технической обработки»**

Избранная Владимиром Андреевичем Клачковым для диссертационного исследования тема актуальна как в теоретическом, так и в практическом отношении. Увеличение производительности технологических процессов и снижение уровня производственного брака при изготовлении шаровых шарниров — важная и наукоёмкая проблема, решение которой вносит значительный вклад в повышение экономической эффективности изготовления изделий со сферическим соединением деталей.

Диссертационное исследование направлено на повышение управляемости процессом взаимной сферической притирки (далее — ВСП) компонентов шаровых шарниров, который традиционно используется в качестве метода окончательной обработки изделия в сборе. Автор предложил использовать комбинированный метод повышения эффективности, основанный на имитационном моделировании притирки и мониторинге акустической эмиссии (далее — АЭ) в процессе обработки.

Научная новизна исследования состоит в следующем:

1. Разработана конструкция специализированного стенда для ВСП, позволяющая реализовать независимую кинематику трёх видов сферического движения; она отличается от существующих сферопритирочных станков тем, что даёт возможность проводить экспериментальные исследования процесса притирки трёхкомпонентных шаровых шарниров и позволила установить наличие случайного фактора процесса ВСП — распределения абразивной смеси в зоне обработки;

2. Разработана имитационная модель процесса ВСП, формирующая систему прогнозирования съёма припуска и управления стратегиями обработки, отражающая связи кинематических параметров процесса обработки с качеством получаемого типового изделия со сферическим соединением и учитывающая, в отличие от существующих моделей схожих процессов, особенности сферического контакта;

3. Установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и характером съёма припуска с контактными сферическими поверхностями деталей шарового шарнира, определяющим образующееся пятно контакта в сферическом соединении;

4. Установлены связи параметров сигналов АЭ, возникающих в зоне притирки, с моментами утраты абразивной суспензией режущей способности и моментом достижения качественных показателей обработки, что составляет основу для создания системы мониторинга при автоматизации процесса ВСП.

К числу наиболее значимых достижений и предложений диссертанта, обладающих научной новизной и имеющих теоретическую и практическую значимость, можно отнести следующее:

1. Новую кинематику и соответствующую конструкцию сферопритирочного стенда, позволяющего реализовать различные стратегии кинематики сферического

движения при обработке изделий типа «трёхкомпонентный шаровой шарнир» с максимальным углом наклона шарового пальца до 30°;

2. Возможность прогнозирования характера съёма реального припуска с контактных поверхностей изделия со сферическим соединением деталей при различных значениях кинематических параметров процесса ВСП посредством имитационного моделирования, обеспечивающую среднюю общую сходимость результатов проведённых экспериментальных исследований более 90%;

3. Вывод о том, что кинематические параметры процесса ВСП, определяющие характер распределения пройденных путей элементарными сегментами сферических поверхностей деталей сферического соединения, влияют на локализацию образования пятна контакта деталей обрабатываемого изделия со сферическим соединением;

4. Метод определения момента окончания притирки (когда площадь пятна контакта сферических поверхностей заметно увеличивается) через мониторинг параметра KF2 — отношения эффективных амплитуд низкочастотного и высокочастотного диапазонов ВА-сигнала; плавный рост параметра KF2 свидетельствует об увеличении площади пятна контакта в сферическом соединении.

Основные положения работы отражены в 19 публикациях, из них: 5 — в журналах из перечня ВАК, 6 — патентов на изобретения и 8 — работ, опубликованных в сборниках трудов конференций.

Материалы автореферата позволяют сделать вывод о том, что автор достаточно корректно использует известные научные методы исследования, обосновывая полученные результаты, выводы и рекомендации. Применяемый в исследовании математический аппарат свидетельствует о высоком уровне работы.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Конструкция шарового шарнира основывается на схеме взаимного базирования деталей по сферической поверхности. Такая конструкция требует нанесения рисок на крышке и подпятнике для обеспечения сборки в одном и том же положении после притирки. Рациональнее использовать схему с центрирующим буртом на подпятнике и ответной кольцевой канавкой на крышке.

2. В работе приведены результаты экспериментальных исследований виброакустического сигнала в сферическом соединении в процессе ВСП. Однако неясно, как необходимо учитывать параметр при изменении типоразмера шарового шарнира.

Несмотря на отмеченные недостатки, проведённое исследование представляет интерес для судостроительной отрасли. В целом диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Владимир Андреевич Клячков, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Заместитель начальника отдела 43
АО «НИПТБ «Онега», к.т.н. (05.21.05
«Древесиноведение, технология и
оборудование деревообработки»)

Денис Леонидович Нерадовский

Адрес: 164509, г. Северодвинск,
проезд Машиностроителей, д.12
Тел.: +7 (8184) 59-65-41

Подпись Веры Документовед Анастасия А.В.



Ученому секретарю диссертационного совета
Д24.2.332.01 ФГАОУ ВО «Московский
государственный технологический университет
«СТАНКИН»

Сотовой Екатерине Сергеевне

127055, г. Москва, ГСП-4, Вадковский пер., д. 1.

ОТЗЫВ

на автореферат Клячкова Владимира Андреевича «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Диссертационная работа Владимира Андреевича Клячкова направлена на решение важной научно-практической проблемы — повышения эффективности процесса взаимной сферической притирки (ВСП) шаровых шарниров, используемых в судостроении, авиастроении, станкостроении и других отраслях машиностроения. Разработка и создание принципиально новых технологических решений, позволяющих увеличить производительность и качество процесса притирки, является актуальной задачей для современного машиностроения.

Практическая часть исследования заключается в создании специализированного сферопритирочного стенда, позволяющего производить обработку трёхкомпонентных шаровых шарниров при различных режимных параметрах операции. В автореферате приведены сведения о предприятиях, в которых используются результаты, полученные в диссертации.

Теоретическая часть исследования состоит в разработке новой имитационной модели процесса ВСП, которая позволяет установить рациональные стратегии обработки при заданных параметрах качества заготовок деталей шаровых шарниров.

Претензии автора на новый научный результат, который заключается в:

- разработке конструкции специализированного стенда для ВСП, позволяющего реализовать независимую кинематику трёх видов сферического движения.
- разработке имитационной модели процесса ВСП, формирующей систему прогнозирования съёма припуска и управления стратегиями обработки.
- установлении связи между стратегией обработки процесса ВСП и характером съёма припуска с контактных сферических поверхностей деталей шарового шарнира, определяющим образующееся пятно контакта в сферическом соединении.
- установлении связи параметров сигналов акустической эмиссии, возникающих в зоне притирки, с моментами утраты абразивной суспензией режущей способности и моментом достижения качественных показателей обработки, следует считать правомерными.

Достоверность результатов исследований и выводов подтверждена:

- корректностью применения апробированных математических методов вычислений при расчётах;
- ориентацией на основные принципы системного подхода;
- сходимостью расчётных данных имитационного моделирования с результатами проведённых экспериментальных исследований;
- использованием высокоточных измерительных средств, проходящих регулярную поверку.

По работе имеются следующие замечания:

1. Недостаточно обоснованы критерии выбора марки стали 20 для заготовок деталей шаровых шарниров. Логично было бы рассмотреть и легированные стали.
2. Размеры текста на изображениях (рис. 5 и 6) трудночитаемы.
3. Из автореферата не совсем понятно для каких классов твердых тел можно применить на практике закономерности, полученные автором при изучении акустико-эмиссионных сигналов, в качестве контрольных параметров.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости выполненной автором работы. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Владимир Андреевич Клячков, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Отзыв составлен по автореферату.

Даю свое согласие на обработку персональных данных.

Профессор кафедры
«Технологические машины и
оборудование» ФГБОУ ВО УГНТУ,
д.т.н., (05.17.07, 05.04.09),
профессор, Заслуженный деятель
науки РФ
ФГБОУ ВО «Уфимский
государственный нефтяной
технический университет»,
450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.
Телефон: +7(347)243-17-75
Эл. почта: kuzeev2002@mail.ru

Искандер
Рустемович
Кузеев

Искандер Рустемович Кузеев
15.05.2026

Подпись Кузеева И.Р. заверяю.

Проректор по научной и инновационной работе
ФГБОУ ВО «УГНТУ»

к.т.н.

Гулин Денис Алексеевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (ФГБОУ ВО УГНТУ)

450064, Приволжский федеральный округ, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Космонавтов, д. 1.

e-mail: info@rusoil.net, телефон: 8(347)243-19-77

Ученому секретарю
диссертационного совета 24.2.332.01
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
к.т.н., Сотовой Екатерине Сергеевне

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Клячкова Владимира Андреевича на тему
«Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки
посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической
эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки»

Машиностроительное производство в условиях повышения требований к точности и надежности деталей узлов и агрегатов, в том числе к сферическим шарнирным парам скольжения, применяемым в качестве основы кинематической связи, обеспечивающим пространственную подвижность механизмов и в целом машины, требует повышения эффективности и точности их финишной обработки. Все вышеперечисленное приводит к ужесточению технических требований, предъявляемых к шаровым шарнирам, и к усложнению технологических процессов. В результате возникают **актуальные задачи** рационализации режимных параметров обработки шарниров и прогнозирования результатов взаимной сферической притирки (ВСП) с опорой на исходное качество заготовок.

Научная новизна работы заключается в том, что автором были разработаны конструкция специализированного стенда для ВСП и имитационная модель процесса ВСП, а также установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и качеством шарового шарнира и связи параметров сигналов акустической эмиссии с моментом достижения качественных показателей обработки.

Практическая значимость работы заключается: в повышении производительности процесса ВСП на 8–15 % посредством подбора рациональных режимов обработки при имитационном моделировании; в сокращении уровня производственного брака на 7–9 % за счет своевременного прекращения обработки шаровых шарниров при достижении качественных показателей обработки.

Автореферат полностью отражает основное содержание диссертации.

По работе имеются следующие замечания:

– в работе предлагается мониторинг технологического процесса притирки с помощью использования сигналов акустической эмиссии. Этот метод широко распространен в качестве варианта неразрушающего контроля. Однако, как известно, спектральный состав акустического сигнала зависит от динамических характери-

стик технологической системы станка. Поскольку эксперименты проводились на разработанном автором стенде, возникает вопрос: сохранятся ли связи акустических сигналов с особенностями процесса притирки, если промышленный вариант притирочного станка будет иметь иные динамические характеристики;

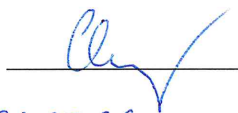
– предложенную методику контроля процесса притирки с помощью мониторинга сигналов акустической эмиссии, автор трактует как научную новизну. Вопрос, почему в списке публикации автора нет патента на упомянутую методику.

Указанные замечания существенно не снижают высокий уровень диссертационной работы и общей положительной оценки исследования.

Рецензируемая диссертационная работа соискателя является самостоятельной и логически завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлены научно-обоснованные технические решения, направленные на повышение управляемости процессом взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии обработки.

В целом, представленная диссертационная работа по актуальности, достоверности, научной и практической значимости удовлетворяет требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор Клачков Владимир Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Отзыв составил: Кострин Дмитрий Константинович
д.т.н. (специальность 2.2.1 – «Вакуумная и плазменная электроника»), профессор,
заместитель заведующего кафедрой Электронных приборов и устройств
ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина),
197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5 лит. Ф
e-mail: dkkostrin@mail.ru, тел.: +7 (812) 234-21-59


21.05.26 Кострин Дмитрий Константинович

Подпись Кострина Д. К. заверяю:
к.э.н, доцент, начальник Отдела диссертационных советов
ФГАОУ ВО Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)


Русева Татьяна Леонидовна



ОТЗЫВ НА АВТОРЕФЕРАТ

диссертационной работы Ключкова Владимира Андреевича

на тему: «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной на соискание ученой степени

кандидата технических наук по специальности

2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Актуальность. Сферическое соединение деталей часто встречается в изделиях, относящихся к различным отраслям промышленности, например, в автомобилестроении, станкостроении, судостроении, авиастроении, приборостроении, медицинской промышленности и др. Повсеместность применения сферических соединений обусловлена их компактностью, высокой несущей способностью, а также предотвращением заклинивания механизмов, по сравнению с плоскими соединениями.

Формирование методов прогнозирования результатов притирки и своевременного прекращения обработки является актуальной научной задачей.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Разработана конструкция специализированного станда для ВСП (взаимная сферическая притирка), позволяющая реализовать независимую кинематику трех видов сферического движения: прецессии, нутации и собственного вращения, отличающаяся от существующих сферопритирочных станков тем, что позволяет производить экспериментальные исследования процесса притирки трехкомпонентных шаровых шарниров и позволившая установить наличие случайного фактора процесса ВСП – распределение абразивной смеси в зоне обработки.

- Разработана имитационная модель процесса ВСП, формирующая систему прогнозирования съема припуска и управления стратегиями обработки, а также отражающая связи кинематических параметров процесса обработки с качеством получаемого типового изделия со сферическим соединением, и учитывающая, в отличие от существующих моделей схожих процессов, особенности сферического контакта.

- Установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и характером съема припуска с контактных сферических поверхностей деталей шарового шарнира, определяющим образующееся пятно контакта в сферическом соединении.

- Установлены связи параметров сигналов АЭ, возникающих в зоне притирки, с моментами утраты абразивной суспензией режущей способности и моментом достижения качественных показателей обработки, что составляет основу для создания системы мониторинга при автоматизации процесса ВСП.

Практическая ценность.

- Предложена новая кинематика и соответствующая конструкция сферопритирочного станда, позволяющего реализовать различные стратегии кинематики сферического движения при обработке изделий типа трехкомпонентный шаровой шарнир с максимальным углом наклона шарового пальца до 30 градусов.

- Продемонстрирована возможность прогнозирования характера съема реального припуска с контактных поверхностей изделия со сферическим соединением деталей при различных значениях кинематических параметров процесса ВСП посредством имитационного моделирования, обеспечивающая среднюю общую сходимость результатов проведенных экспериментальных исследований более 90%.

- Экспериментально показано, что кинематические параметры процесса ВСП, определяющие характер распределения пройденных путей элементарными сегментами сферических поверхностей деталей сферического соединения, определяют локализацию образования пятна контакта деталей обрабатываемого изделия со сферическим соединением. Для рассматриваемого в исследовании шарового шарнира лучшими показателями по характеру изменения пятна контакта в соединении обладает стратегия, в которой значения скоростей сферического движения прецессии, нутации и собственного вращения находятся во взаимном отношении, равном $4/1/2$ соответственно.

- Для определения момента окончания притирки, когда площадь пятна контакта сферических поверхностей заметно увеличивается, предложено производить мониторинг параметра K_{F2} как отношение эффективных амплитуд низкочастотного и высокочастотного диапазонов ВА сигнала. Показано, что плавный рост параметра K_{F2} свидетельствует об увеличении площади пятна контакта в сферическом соединении.

- Показано, что резкий скачок с повышением уровней огибающей среднеквадратических значений ВА сигнала при сохранении образовавшихся уровней во времени свидетельствует о возникновении явления шаржирования абразивного зерна в обрабатываемую контактную поверхность детали сферического соединения.

Публикации по теме диссертации. По материалам диссертации было опубликовано 11 работ, в том числе 5 работ – в российских изданиях, рекомендованных ВАК, получено 6 патентов на изобретение.

Замечания.

1. На стр. 16 указано, что в качестве абразива использовалась алмазная паста АСМ 7/5 НОМ, но отсутствует обоснование выбора именно этой марки и зернистости. Не приведены данные о концентрации алмазных зёрен, связующем веществе, вязкости пасты, что затрудняет воспроизведение эксперимента.

2. В таблице 3 (стр. 16) приведены значения среднего радиуса, отклонения от сферичности и площади пятна контакта после притирки для пяти образцов, но отсутствуют аналогичные данные до обработки. Без начальных значений невозможно оценить действительный съём припуска и эффективность различных стратегий.

3. На стр. 17 утверждается, что «общая средняя сходимость результатов имитационного моделирования с данными экспериментальных исследований составила более 90%», но не приведён критерий сходимости.

Однако данные замечания не носят критического характера и не снижают значимость проделанной работы.

Закключение. Диссертационная работа Клячкова Владимира Андреевича на тему: «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно-технические и технологические решения и разработки, заключающиеся в повышении эффективности процесса взаимной сферической притирки за счет улучшения ее управляемости посредством имитационного моделирования и мониторинга параметров акустической эмиссии в процессе обработки и имеющие существенное значение для развития страны. Таким образом, работа Клячкова В. А. полностью соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям пп. 9-11, 13, 14 положения «О порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Клячков Владимир Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 Технология и оборудование механической и физико-технической обработки.

Заслуженный работник высшей школы РФ,
профессор кафедры станков и инструментов ФГБОУ
ВО «ТИУ» доктор технических наук (2.5.5. -
«Технология и оборудование механической и
физико-технической обработки»), профессор.

Артамонов Евгений Владимирович
тел. 8(922) 481-89-05
EvArt2014@mail.ru.

Доцент кафедры
станков и инструментов ФГБОУ ВО «ТИУ»,
кандидат технических наук (2.5.5. – Технология и
оборудование механической и физико-технической
обработки), доцент.

Штин Антон Сергеевич
тел. 8(953) 826-98-02
shtin_as@mail.ru



Артамонов ЕВ
Штина А.С.
Подписи документов общего отдела ТИУ
22.05.2026

Ученому секретарю диссертационного
совета д24.2.332.01 ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»

Е.С. Сотовой

Адрес: 127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1.

ОТЗЫВ

на автореферат Клачкова Владимира Андреевича на тему
«Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки
посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической
эмиссии», представленный на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование
механической и физико-технической обработки»

Актуальность выбранной темы. В современных условиях развития научно-производственной базы машиностроения, особенно в отраслях с серийным (судостроение и авиакосмическая отрасль) и массовым (автомобилестроение) выпуском продукции, задача управления характером формообразования сферических контактных поверхностей изделий в процессе их взаимной обработки посредством притирки является чрезвычайно важной. Предложенные в работе решения направлены на формирование инструментов управления качеством обработки поверхностей при различных режимных параметрах процесса взаимной сферической притирки (далее — ВСП), что способствует решению стратегических задач импортозамещения и развитию машиностроительного комплекса страны.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1. Разработана конструкция специализированного стенда для ВСП, реализующая независимую кинематику трёх видов сферического движения: прецессии, нутации и собственного вращения, и позволившая установить наличие случайного фактора процесса ВСП: распределения абразивной смеси в зоне обработки.
2. Разработана имитационная модель процесса ВСП, формирующая систему прогнозирования удаления припуска и управления стратегиями обработки, а также отражающая связи кинематических параметров процесса обработки с качеством сферической поверхности получаемого типового изделия.
3. Установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и характером удаления припуска с контактных сферических поверхностей

деталей шарового шарнира, определяющие параметры пятна контакта в сферическом соединении.

4. Установлены связи параметров сигналов акустической эмиссии, возникающих в зоне притирки, с моментами утраты абразивной суспензией режущей способности и моментом достижения качественных показателей обработки.

Практическая значимость работы подтверждается:

- разработкой новой кинематики притирочного оборудования, позволяющей реализовать различные стратегии сферического движения при обработке изделий типа «трёхкомпонентный шаровой шарнир»;

- возможностью прогнозирования характера удаления реального припуска с контактных поверхностей изделия со сферическим соединением деталей при различных значениях кинематических параметров процесса ВСП посредством имитационного моделирования, обеспечивающего среднюю общую сходимость результатов проведённых экспериментальных исследований более 90 %;

- установлением параметра мониторинга процесса ВСП и характера его поведения при изменении пятна контакта в сферическом соединении.

Выводы и рекомендации, представленные в автореферате, являются обоснованными и логически вытекают из результатов проведённых исследований. Предложенные технологические решения имеют научное обоснование и подтверждены результатами экспериментов.

Степень достоверности полученных результатов подтверждается:

- ориентированием на основные принципы системного подхода при проведении исследования;

- обоснованностью применения апробированных математических методов вычислений при расчётах;

- согласованностью с теоретическими и экспериментальными исследованиями, ранее полученными другими авторами;

- сходимостью расчётных данных имитационного моделирования с результатами проведённых экспериментальных исследований на уровне 90,31 %;

- согласованностью поведения параметров АЭ-сигналов для различных стадий обработки изделия;

- практической верификацией основных положений диссертации.

Апробация результатов работы проведена на 9 конференциях различного уровня.

Публикация результатов исследования отражена в 19 работах, 5 из которых — в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

По работе имеются следующие **замечания**:

– В качестве модели распределения давления в сферическом соединении при имитационном моделировании процесса ВСП используется модель гидравлического взаимодействия. Фактически имеется взаимодействие твёрдых тел. Возникает вопрос: производилась ли попытка использования метода МКЭ для моделирования распределения давления?

– Каким образом производилась валидация разработанной имитационной модели процесса ВСП и какова погрешность прогнозирования характера удаления припуска с притираемых сферических поверхностей по сравнению с экспериментальными данными?

– Почему для исследования в качестве материала деталей шаровых шарниров выбрана именно сталь 20?

Несмотря на указанные замечания, диссертационная работа представляет собой завершённое исследование, обладающее научной новизной и имеющее значительную теоретическую и практическую ценность для машиностроительной отрасли. Диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (пп. 9–11, 13, 14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года), а её автор, Клачков Владимир Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 — «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Клачкова В. А.

Заместитель главного инженера ЦПС

АО «ЦС «Звездочка» - начальник

конструкторско-технологического

отдела ЦПС, к.т.н.



Пестов Николай Александрович

26.05.2026

Адрес: 164500, г.Северодвинск, Архангельская обл.

проезд Машиностроителей, д.12.

Телефон +7911-561-7464

Ученому секретарю
диссертационного совета Д24.2.332.01
ФГАОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»,
Сотовой Екатерине Сергеевне

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Ключкова Владимира Андреевича на тему «Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Актуальность исследования обусловлена широким применением сферических соединений в изделиях различных отраслей промышленности. К таким узлам предъявляются повышенные требования к точности геометрической формы и шероховатости сферических поверхностей, что необходимо для формирования максимального пятна контакта сопрягаемых деталей. В качестве финишной операции для достижения указанных параметров, как правило, применяется метод взаимной сферической притирки (ВСП), выполняемый вручную или механизированным способом. Учитывая значительное влияние множества технологических факторов на качество обработки, разработка методов прогнозирования результатов и определения момента завершения операции ВСП представляет собой актуальную **научную задачу**.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана конструкция специализированного стенда для ВСП, реализующая независимую кинематику трёх видов сферического движения.
2. Создана имитационная модель процесса ВСП, формирующая систему прогнозирования съёма припуска и управления стратегиями обработки.
3. Установлены корреляционные зависимости между стратегией обработки процесса ВСП и характером съёма припуска с контактными сферическими поверхностями шарового шарнира.
4. Выявлены связи между параметрами сигналов акустической эмиссии (АЭ) и моментами утраты абразивной суспензией режущей способности, а также достижением заданных качественных показателей.

Практическая значимость исследования состоит в следующем:

1. Предложена новая кинематика и разработана соответствующая конструкция сферопритирочного стенда, позволяющая реализовывать различные стратегии обработки изделий типа трёхкомпонентный шаровой шарнир с максимальным углом наклона шарового пальца до 30°.
2. Продемонстрирована возможность прогнозирования характера съёма реального припуска, обеспечивающая сходимость результатов практических и модельных исследований на уровне свыше 90%.
3. Экспериментально установлено, что кинематические параметры процесса ВСП, определяющие распределение пройденных путей элементарными сегментами сферических поверхностей, напрямую влияют на локализацию пятна контакта. Для исследуемого шарового шарнира оптимальной является стратегия, при которой скорости сферического движения прецессии, нутации и собственного вращения находятся в соотношении 4/1/-2 соответственно.
4. Для определения момента окончания притирки, характеризующегося значительным увеличением площади пятна контакта, предложен метод

мониторинга параметра K_{F2} (отношения эффективных амплитуд низкочастотного и высокочастотного диапазонов виброакустического сигнала). Показано, что плавный рост K_{F2} свидетельствует об увеличении площади пятна контакта.

5. Установлено, что резкий скачок с последующим сохранением высокого уровня огибающей среднеквадратических значений виброакустического сигнала свидетельствует о возникновении явления шаржирования абразивного зерна в обрабатываемую поверхность.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается опорой на основные принципы системного подхода, согласованностью с данными теоретических и экспериментальных исследований других авторов, а также практической верификацией основных положений работы.

Результаты исследования прошли апробацию в 19 публикациях (из них 5 – в рецензируемых изданиях из перечня ВАК) и докладах на 9 научно-технических конференциях. Техническая новизна подтверждена 6 патентами.

В работе имеются следующие **замечания**:

1. Отсутствует полноценное обоснование выбора материала шарниров.
2. Не представлена матрица плана экспериментальных исследований.
3. Алгоритм работы программного обеспечения описан в автореферате недостаточно подробно.

Указанные замечания носят локальный характер и не влияют на общую положительную оценку выполненной работы. Диссертационное исследование является завершённой научно-квалификационной работой, удовлетворяющей требованиям ВАК к кандидатским диссертациям («Положение о присуждении учёных степеней», утверждённое постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013). Автор работы, Клячков Владимир Андреевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Заведующий кафедрой технологии машиностроения,
кандидат технических наук, доцент
(05.03.01 – Процессы механической
обработки, станки и инструменты)

Э.Ш. Джемилов

Почтовый адрес: 295015, Республика Крым, г. Симферополь, пер. Учебный, 8,
Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Республики Крым «Крымский инженерно-педагогический университет имени Февзи
Якубова», кафедра технологии машиностроения.

Тел.: +7 (3652) 24-94-95(137) e-mail: kipu@krym-tc.ru

Подпись Джемилова Эшреба Ибрагимовича удостоверяю:
Ученый секретарь ГБОУВО РК
КИПУ имени Февзи Якубова



С.А. Феватов

08.06.2026г.

В диссертационный совет
Д24.2.332.01 ФГАОУ ВО «МГТУ
«СТАНКИН»
Адрес: 127055, г. Москва, ГСП-4,
Вадковский пер., д. 1.

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации **Клачкова Владимира Андреевича** на тему:
«Повышение эффективности процесса взаимной сферической притирки посредством имитационного моделирования и мониторинга акустической эмиссии», представленной к соисканию ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Ключевая проблема взаимной сферической притирки — сложность подбора оптимальных параметров обработки. На процесс влияет множество факторов (геометрия поверхности, свойства абразивной смеси, режимы трения и др.), а традиционный способ их определения — промышленные эксперименты — экономически оправдан только для серийного производства.

Исследование автора направлено на решение важной практической задачи — адаптацию технологических процессов под исходные параметры качества заготовок. Задача заключается в поиске рациональных стратегий обработки, что соответствует современным тенденциям развития машиностроительного производства.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

– Разработана конструкция специализированного стенда для ВСП, позволяющая реализовать независимую кинематику трёх видов сферического движения: прецессии, нутации и собственного вращения, — и позволившая установить наличие случайного фактора процесса ВСП: распределения абразивной смеси в зоне обработки.

– Разработана имитационная модель процесса ВСП, формирующая систему прогнозирования съёма припуска и управления стратегиями обработки, а также отражающая связи кинематических параметров процесса обработки с качеством получаемого типового изделия со сферическим соединением.

– Установлены связи между стратегией обработки процесса ВСП и характером съёма припуска с контактных сферических поверхностей деталей шарового шарнира, определяющим образующееся пятно контакта в сферическом соединении.

Значимость полученных результатов для науки и производства подтверждается:

1. высокой сходимостью результатов теоретических модельных экспериментов с данными практических исследований процесса притирки (до 90%);
2. повышением производительности процесса притирки шаровых шарниров (на 8–15%);
3. сокращением уровня производственного брака (на 7–9%);

4. формированием перечня рекомендаций для машиностроительных предприятий.

Замечания по содержанию автореферата:

1. В тексте автореферата приведена информация по повышению производительности процесса притирки, но нет подробной информации о внедрении.

2. В автореферате не раскрыт алгоритм предварительного кинематического моделирования, на основе которого производилось планирование экспериментального исследования на стенде.

Несмотря на упомянутые выше замечания, выполненная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (ред. от 28.08.2017 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Заключение.

Диссертация В. А. Клачкова представляет собой завершённое научное исследование, имеющее теоретическую значимость для науки и практическую значимость для машиностроительной отрасли. Автор, Владимир Андреевич Клачков, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Доцент кафедры кораблестроения
института судостроения и морской
арктической техники (Севмашвтуз)
филиала САФУ в г. Северодвинске,
канд. техн. наук по специальности
05.03.01 «Технология и
оборудование механической
и физико-технической обработки»



Лобанов

Личную подпись Николай Владимирович
заверяю: специалист по кадрам управления
по работе с персоналом САФУ

Н.С. Бойченко
«17» 06 2026 г.

Контакты: Филиал федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования «Северный
(Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ) в
г. Северодвинске Архангельской области
164500, Архангельская область, г. Северодвинск, ул. Капитана Воронина, д. 6
Телефон: +7 (8184) 53-95-70

164504, Архангельская обл., г. Северодвинск, ул. Карла Маркса д.5, кв. 57
Телефон: +79115870808
E-mail: n.lobanov@narfu.ru