

На правах рукописи

Чуркин Александр Викторович



**Автоматизированная установка для исследования фрикционных характеристик поверхностей с анизотропной шероховатостью**

Специальность 01.04.01. Приборы и методы экспериментальной физики

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ижевск – 2008

Работа выполнена в институте прикладной механики УрО РАН

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор Тарасов В.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Поршнева С.В.

доктор технических наук,  
профессор Сентяков Б.А.

Ведущая организация: ГОУ ВПО Ижевский государствен-  
ный технический университет

Защита состоится “19” декабря 2008г. в 15 часов на заседании диссер-  
тационного совета ДМ 212.275.03 при ГОУВПО “Удмуртский государствен-  
ный Университет” по адресу:

426034, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

Ваш отзыв в двух экземплярах, заверенных печатью учреждения, просим  
высылать по указанному адресу на имя ученого секретаря диссертационного  
совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УдГУ.

Автореферат разослан “14” ноября 2008 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат физико-математических наук



Крылов П.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена разработке автоматизированных средств исследования поверхностей с анизотропной шероховатостью с применением современных достижений техники физического эксперимента.

**Объект исследования** - процесс фрикционного взаимодействия поверхностей с анизотропной шероховатостью.

**Предмет исследования** - средства и методы экспериментальных исследований фрикционных характеристик материалов.

**Актуальность темы.** Создание современной, конкурентно способной продукции в значительной степени зависит от свойств материалов, используемых при производстве машин и механизмов. Важное место в комплексе мер по обеспечению качества продукции занимают трибологические исследования, главной целью которых является разработка научно-обоснованных способов снижения или управления трением, уменьшения и устранения износа.

Одними из наиболее важных трибологических параметров являются фрикционные характеристики материалов и покрытий, влияющие на надежность и долговечность машин в целом. Наличие большого числа процессов (физических, химических, электрических и др.), действующих в зоне контакта, создает известные трудности теоретического анализа процессов трения. Поэтому наиболее достоверную информацию при оценке характеристик взаимодействующих материалов пар трения и сопряжений дают экспериментальные методы, реализуемые специализированными лабораторными установками.

Неотъемлемой частью системы экспериментальных трибологических исследований являются вычислительные средства, назначение которых состоит в управлении экспериментом, контроле и регистрации измеряемых параметров, обработке результатов. При этом эффективность применения компьютеров в области экспериментальных исследований в значительной степени зависит от возможной реализации физического взаимодействия объектов и уровня автоматизации процесса испытания.

Характерной особенностью фрикционного взаимодействия анизотропных материалов является неколлинеарность векторов трения и скорости главного движения в зоне контакта. В этих условиях, исследование процесса трения на стандартных испытательных машинах не позволяет производить определение силовых параметров с необходимой точностью, что приводит к снижению достоверности проводимых исследований. Истинное представление о закономерностях изменения положения вектора трения в процессе взаимодействия твердых тел позволит более полно использовать эффект анизотропного трения при разработке фрикционных узлов и механизмов.

Поэтому разработка автоматизированных средств исследования поверхностей материалов и пар трения с анизотропной шероховатостью, на основе высокоинформативных методик трибологического анализа является актуальной.

**Цель работы.** Разработка автоматизированной установки и методик изучения фрикционных характеристик материалов с анизотропной шероховатостью.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие **основные задачи:**

1. Анализ средств и методов изучения фрикционных характеристик материалов, обоснование кинематической схемы и разработка испытательной установки.
2. Разработка устройств измерения силовых параметров трения с учетом неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения; создание системы автоматизированного управления экспериментом.
3. Экспериментальное определение характеристик измерительных устройств и исполнительных механизмов установки.
4. Разработка методик определения фрикционных характеристик материалов с анизотропной шероховатостью.

**Методы исследования.** Теоретические исследования выполнены на основе классических законов теоретической механики, теории автоматического и программного управления, аналитических методов, математического анализа и средств вычислительной техники.

Экспериментальные исследования базируются на методах трибологических испытаний поверхностей материалов и сопряжений с применением средств измерительной техники и разработанной экспериментальной установки. Обработка полученных результатов проводилась с использованием методов математической статистики средствами вычислительной техники.

### **Научная новизна**

1. Разработана и создана автоматизированная установка для исследования процессов фрикционного взаимодействия поверхностей с анизотропной шероховатостью с учетом неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения, в том числе на нелинейных траекториях движения.
2. Разработана методика непрерывного измерения фрикционной анизотропии индентором, движущимся по замкнутой круговой траектории, аппроксимируемой набором линейных участков, путем регистрации мгновенного значения сил трения.
3. Предложен новый способ и устройство для управления результирующей силой трения за счет изменения взаимной ориентации движущихся тел с анизотропной шероховатостью.
4. Разработаны устройства измерения силовых параметров трения для исследования фрикционных характеристик с учетом неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения.

**Практическая ценность.** Создана автоматизированная установка с расширенными функциональными возможностями для исследований фрикционных процессов на анизотропных поверхностях, адаптируемая к сложно-рельефным объектам. Разработанные измерительные устройства, многокоординатный привод и методики повышают достоверность оценки силовых параметров трения в условиях неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения.

Установка может быть использована при выборе схемы технологической обработки поверхности для сокращения периода приработки изделий, для использования эффекта анизотропии в процессах ориентации (свободно движущихся) изделий на конвейерных транспортных операциях. С помощью предложенных дополнительных модулей на установке можно проводить картографирование параметров покрытий электрохимическим методом (толщина, химический состав и др.).

Результаты проведенных исследований использованы в учебном процессе Удмуртского государственного университета.

#### **На защиту выносятся следующие основные положения**

1. Конструкция автоматизированной установки с расширенными функциональными возможностями для изучения комплекса фрикционных и эксплуатационных свойств поверхностей.
2. Методика непрерывного определения фрикционной анизотропии, при движении индентора по замкнутой круговой траектории, аппроксимируемой набором линейных участков, путем регистрации мгновенного значения сил трения.
3. Конструкции устройств измерения знакопеременных сил трения для исследования фрикционных свойств материалов с учетом неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения.
4. Устройство управления нагрузкой пары трения на основе системы непрерывного контроля величины нагружающего усилия.
5. Экспериментальные результаты оценки фрикционных характеристик материалов.

**Апробация работы.** Содержание и основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих конференциях и семинарах: 1 Всероссийской конференции “Аналитические приборы” (Санкт-Петербург, 2002), Международной научной конференции “Современные проблемы механики и физико-химии процессов резания, абразивной обработки и ППД” (Киев, 2002), 17 Менделеевском съезде по общей и прикладной химии (Казань, 2003), 4 Международной научно-технической конференции “Информационные технологии в инновационных проектах” (Ижевск, 2003), 4 Международной школе-семинаре “Современные методы исследования и предупреждения коррозионных разрушений” (Ижевск, 2003), , Medzinarodna vedecka konferencia “Transfer - 2003” (Trencin, 2003), 6 Всероссийской конференции по электрохимическим

методам анализа с международным участием “ЭМА - 2004” (Уфа, 2004), Материалы Всероссийской конференции по аналитической химии “Аналитика России - 2004”(Москва, 2004), 5-й Международной научно-технической конференции “Инженерия поверхности и реновация изделий” (Киев, 2005), 3-й Научно-практической конференции “Проблемы механики и материаловедения” (Ижевск, 2006), 6 Международном научно-техническом семинаре “Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки и сборки в машиностроении и приборостроении”(г.Свалява, Украина, 2006).

Основные результаты, полученные при работе над диссертацией, опубликованы в 9 патентах на изобретения, 3 статьях, 5 сборниках материалов, 4 сборниках трудов и 3 тезисах. Подано пять заявок на изобретение. Список публикаций по теме диссертации приведен в конце автореферата.

**Личный вклад автора.** Диссертация является самостоятельной работой, обобщающей результаты, полученные лично автором и в соавторстве. Автор предложил идею использования трехкоординатного привода для задач испытания материалов, самостоятельно спроектировал и изготовил установку для исследования фрикционных характеристик поверхностей и сопряжений. Совместно с соавторами были предложены новые конструктивные решения узлов машин трения, устройств измерения сил трения, электрохимических датчиков, на которые получен ряд патентов РФ. Обсуждение полученных экспериментальных результатов проводилось совместно с научным руководителем и с соавторами публикаций. Основные выводы по проведенной работе сформулированы автором работы.

**Связь диссертационной работы с планами НИР и НИОКР.** Работа выполнена в Институте прикладной механики УрО РАН при поддержке РФФИ, грант № 01-02-96457, при поддержке гранта молодых ученых УрО РАН в соответствии с планами научно-исследовательских работ по темам 2.25.3.2. “Исследование свойств структурно – неоднородных металлических материалов, пригодных для эксплуатации в экстремальных температурных условиях и активных средах”(№ гос. рег. 01940001195), 2.3.3. 2.3.6. “Исследование совмещенных термопластических процессов для оптимизации физико-механических свойств материалов и повышения качества изделий” (№ гос. рег. 01990007504).

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, приложения и списка использованной литературы (124 источников). Диссертация содержит 123 страницы, из них 107 страниц машинописного текста, включая 10 таблиц, 39 иллюстраций. Приложение содержит акт о практическом использовании результатов работы.

## Основное содержание работы

**Введение** содержит обоснование актуальности темы диссертации, формулировку целей и задач работы, научную новизну, практическую значимость работы, защищаемые положения и раскрывает структуру диссертации.

**В первой главе** анализируются методы и средства исследования фрикционных характеристик материалов. Отмечается, что наличие на поверхностях материала выраженных следов обработки или дискретных структур, приводит к возникновению неоднородности свойств поверхностного слоя, в частности анизотропии фрикционных свойств материалов.

Характерной особенностью фрикционного взаимодействия анизотропных материалов является неколлинеарность векторов трения и скорости главного движения в зоне контакта. В этих условиях, исследование процесса трения на стандартных испытательных машинах не позволяет производить определение силовых параметров с необходимой точностью, что приводит к снижению достоверности проводимых исследований. Истинное представление о закономерностях изменения положения вектора трения в процессе взаимодействия твердых тел позволит более полно использовать эффект анизотропного трения при разработке фрикционных узлов и механизмов.

Обзор технических средств исследования материалов, обладающих анизотропией физико-механических, преимущественно фрикционных свойств, позволил сформулировать требования к параметрам основных подсистем установки (Рис. 1).

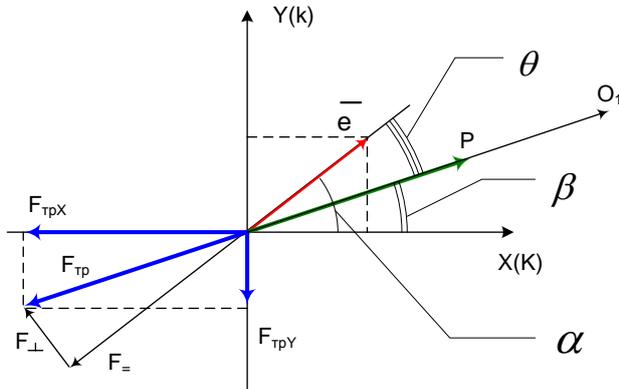


**Рис. 1. Структура установки с учетом программного и аппаратного обеспечения**

На основе проведенного анализа средств и методов испытания фрикционных характеристик материалов сформулированы основные задачи работы и показана актуальность разработки автоматизированных средств изучения процесса фрикционного взаимодействия материалов и пар трения, с учетом требований точности и достоверности экспериментальных исследований.

**Вторая глава** посвящена описанию аппаратного обеспечения подсистем установки - принципов работы и конструкций измерительных устройств сил трения и нагружения, созданию систем управления перемещением и нагружением измерительного элемента с использованием многокоординатного привода.

Анализ модели внешнего трения в условиях неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения (случай ортотропной анизотропии поверхности материала Рис. 2.) позволил выделить информативно значимые параметры: компоненты вектора трения  $F_x$  и  $F_y$ , нагрузка  $N$ , угол движения  $\alpha$ , угол увода  $\beta$ , эффективный коэффициент трения  $K$  и его компоненты  $K_{\text{тр}X}$  и  $K_{\text{тр}Y}$ . Обоснована необходимость проведения двухкоординатного измерения сил трения.



**Рис. 2. Модель анизотропного трения:**  $e$  – вектор направления движения,  $\alpha$  – угол движения,  $\beta$  – угол приложения силы,  $\theta$  – угол увода,  $P$  – движущая сила,  $N$  – нормальная сила,  $F_{\text{тр}}$  – результирующая сила трения,  $F_{\text{тр}X}$ ,  $F_{\text{тр}Y}$  – компоненты силы трения по осям  $X$  и  $Y$ .

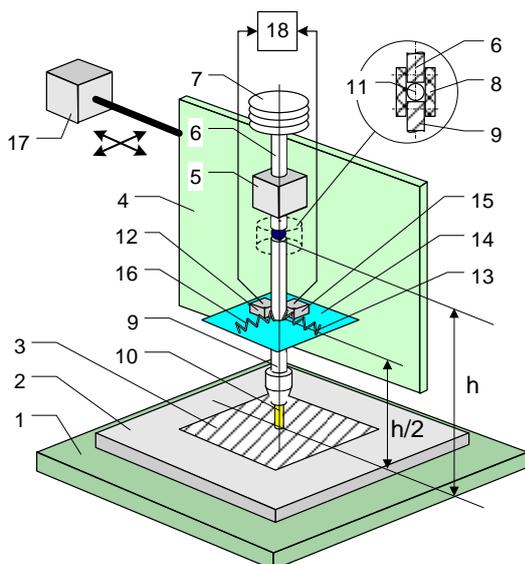
При этом сила трения определяется как

$$F_{\text{мп}} = \sqrt{F_{\text{мп}X}^2 + F_{\text{мп}Y}^2} = N \sqrt{K_{\text{мп}X}^2 \cos^2 \beta + k_{\text{мп}Y}^2 \sin^2 \beta},$$

где  $\sqrt{K_{\text{мп}X}^2 \cos^2 \beta + k_{\text{мп}Y}^2 \sin^2 \beta}$  – эффективный коэффициент трения.

Применительно к подсистеме средств и методов испытания предложена классификация на основе которой выбрана схема контактирования “торец-торец”, реализуемая двухкоординатным приводом перемещения.

Рассматриваются конструктивные решения одно и двух координатных устройств измерения сил трения. Двухкоординатное устройство (Рис. 3) позволяет измерять компоненты вектора силы трения в двух взаимно-перпендикулярных направлениях.



**Рис. 3. Схема двухкоординатного устройства измерения сил трения:** 1 – основание, 2 – держатель, 3- образец, 4 – подвижная каретка, 5 – направляющая, 6 – шток, 7 – узел нагружения, 8 – гибкая муфта, 9 – держатель индуктора, 10 – контртело, 11 – шарик, 12 – измеритель силы трения, 13 – пружина, 14 – плоскость установки датчиков, 15 – измеритель силы трения, 16 – пружина, 17 – привод перемещения, 18 – система сбора данных.

В держателях 2 и 9 устанавливают образец 3 и индентор 10. Каретку 4 размещают в исходной точке траектории движения. Приводят в контакт образец 3 и индентор 10, нагружают их с помощью узла 7 и включают привод 17, обеспечивающий заданную траекторию движения индентора 10 по поверхности образца 3. При движении возникает сила трения, стремящаяся повернуть держатель 9 относительно точки его контакта с шариком 11 в направлении действующего вектора трения.

Регистрация информации о мгновенных значениях сил трения ( $-150 < F_{тр} < +150$  грамм), действующих в двух взаимно перпендикулярных направлениях и ее последующая обработка с использованием системы сбора данных 18 позволяет определить величину и направление действующего вектора трения в любой точке траектории движения образцов.

Приводится методика градуировки устройства гравиметрическим методом и градуировочные характеристики двухкоординатного устройства измерения сил трения (Рис. 4).

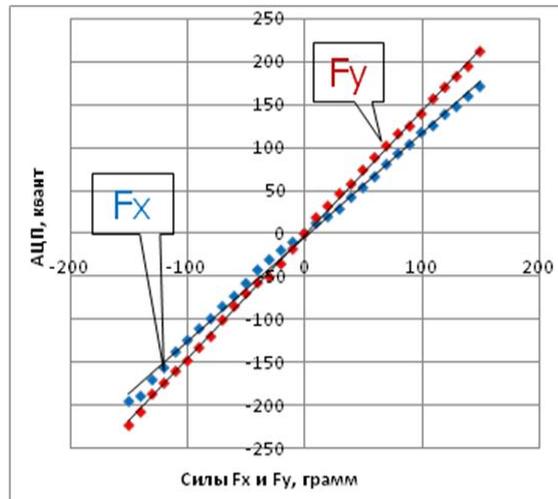


Рис. 4 Градуировочные характеристики устройства по осям X(a) и Y(б).

Рассчитанные значения доверительных интервалов для коэффициентов градуировочных характеристик представлены в Табл. 1.

Табл. 1

Доверительные интервалы коэффициентов градуировочных характеристик ( $P = 0,95$ )

Координата устройства	Коэффициенты		Уравнение (с учетом округления)
	$b \pm \Delta b$	$a \pm \Delta a$	
X	$1,20 \pm 0,03$	$-5,07 \pm 1,29$	$F_x = 1,20x - 5,07$
Y	$1,45 \pm 0,02$	$-1,71 \pm 0,46$	$F_y = 1,45y - 1,71$

В рамках подсистемы управления экспериментом разработан многокоординатного привода перемещения измерительного элемента по нелинейным траекториям с точностью позиционирования 0,06 мм.

Рассматриваются особенности функционирования системы управления нагрузкой. На примере работы нагружающего устройства при испытаниях на износостойкость в режиме линейного возвратно-поступательного движения пар трения (Рис. 5).

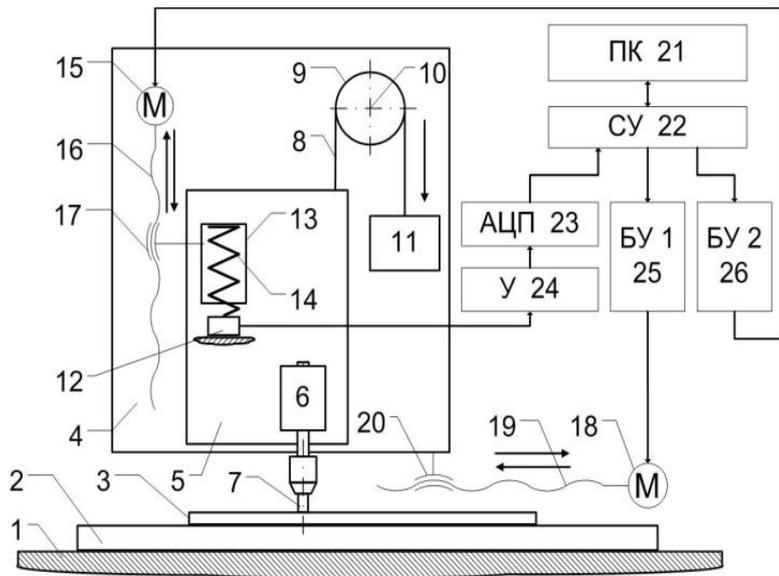


Рис. 5 Схема установки трения с динамическим управлением нагрузкой: 1 – основание, 2 – держатель образца, 3 – образец, 4 – горизонтальная каретка, 5 – вертикальная каретка, 6 – держатель индентора, 7 – индентор, 8 – гибкий элемент, 9 – ролик, 10 – ось, 11 – противовес, 12 – измеритель силы нагружения, 13 – стакан, 14 – пружина, 15 – двигатель, 16 – ходовой винт, 17 – гайка, 18 – двигатель, 19 – винт, 20 – гайка, 21 – управляющий компьютер, 22 – согласующее устройство, 23 – АЦП, 24 – усилитель, 25 , 26 – блоки управления.

Первоначально производится установка образцов 3 и 7 на каретке горизонтального перемещения 4. Работа установки трения осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с алгоритмом испытания и программой управления.

Алгоритм испытания включает: градуировку нулевого значения измерителя силы нагружения, приведение образца 3 и индентора 7 в контакт, установка силы нагружения, изменение силы нагружения, анализ значения нагружающей силы, формирование управляющей информации для двигателя 15.

В дальнейшем обеспечивается возвратно-поступательное движение образцов по алгоритму управления, с автоматическим поддержанием заданного уровня нагружающего усилия  $N$ .

Приводится методика градуировки устройства нагружения гравиметрическим методом и градуировочная характеристика в диапазоне от 0 до 300 грамм (Рис. 6).

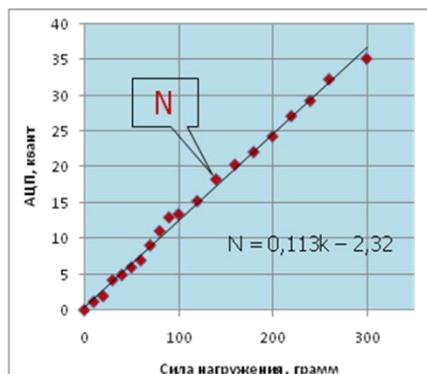


Рис. 6. Градуировочная характеристика устройства нагружения

Созданная конструкция устройства нагружения позволяет проводить циклические испытания, регулированием параметров движения и нагружения (по амплитуде, по частоте, по времени, по количеству циклов движения или нагружения и т.д.).

В третьей главе приводится описание методик анализа силовых параметров трения с учетом неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения на различных траекториях движения индентора ( $\varnothing$  4 мм, длина 15 мм, со сферической рабочей поверхностью; сталь 40X, 210 HV).

Модельные анизотропные образцы были выполнены в виде цилиндрических тел, торцевые поверхности которых были обработаны плоским шлифованием (длина 35 мм,  $\varnothing$  30 мм; сталь 45, HRC=52).

Параметры микрогеометрии образцов определялись профилографированием (профилограф-профилометр Pertometr M2).

Экспериментально установлено, что при монотонном возрастании нагружающего усилия сила трения также монотонно возрастала, а эффективный коэффициент трения при этом оставался постоянным, что является подтверждением адекватной работы многоканальной системы измерения силовых параметров процесса трения.

Проводилась оценка адекватности работы системы измерения при различных режимах управления перемещением индентора (Рис. 7).

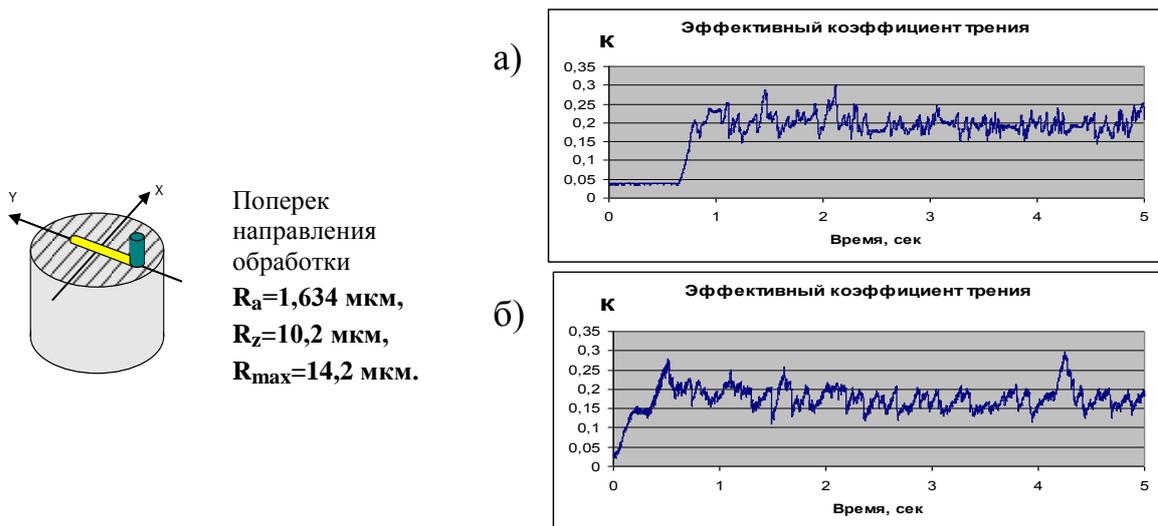


Рис. 7. Диаграмма изменения коэффициента трения: при ручном (а) и автоматизированном (б) управлении перемещением индентора.

В рабочем диапазоне скоростей установки привод перемещения не оказывает влияния на точность определения силовых характеристик трения.

Применение двухкоординатного устройства измерения сил трения позволяет регистрировать колебательный характер дополнительного силового воздействия, направленного ортогонально главному направлению движения пары трения (Рис. 8).

Испытуемый образец: Сталь 45 (210 HV). Обработка поверхности: плоским шлифованием. Параметры микрогеометрии:  $R_a=0,518$  мкм,  $R_z=2,75$  мкм,  $R_{max}=4,00$  мкм. Движение: поступательное вдоль направления обработки  $V=1$  мм/с. Нагрузка: 600 грамм.

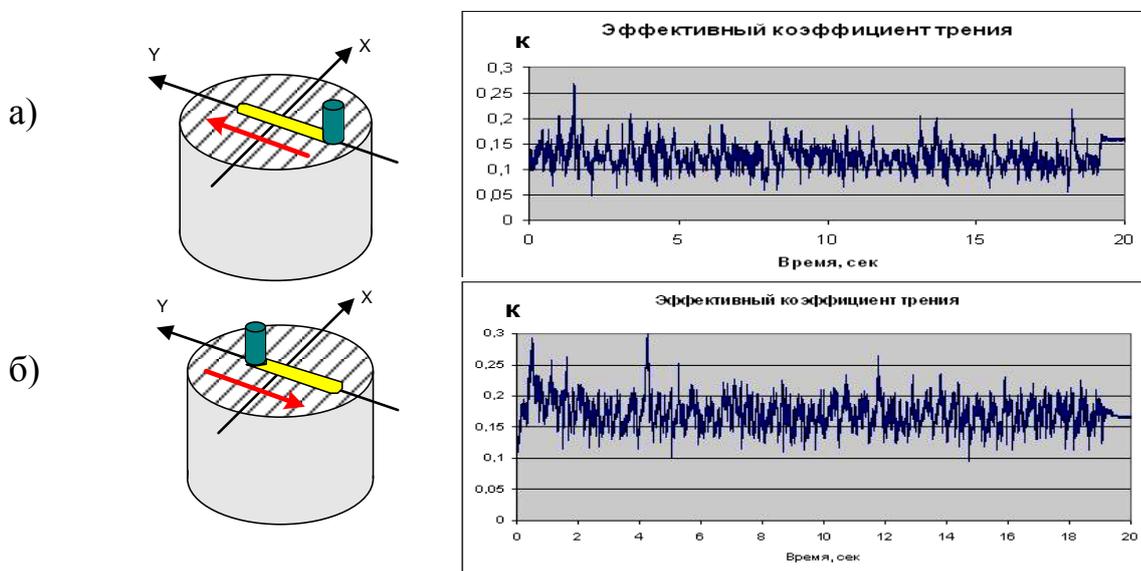


**Рис. 8. График изменения компоненты силы трения (ось X), действующей ортогонально направлению главного движения (ось Y).**

Причем в данном эксперименте амплитуда колебаний дополнительного воздействия при движении вдоль следов обработки примерно в 1,5-2 раза превышала амплитуду колебаний при движении поперек следов обработки анизотропного тела.

Экспериментально подтверждено отличие величины эффективного коэффициента трения при движении индентора в прямом и обратном направлении, на линейных траекториях перпендикулярно следам обработки поверхности (Рис. 9.).

Испытуемый образец обработан плоским шлифованием (Сталь 45, HRC 52, скорость движения  $V=0,9$  мм/с,  $N = 660$  грамм,  $R_a=1,634$  мкм,  $R_z=10,2$  мкм,  $R_{max}=14,2$  мкм).



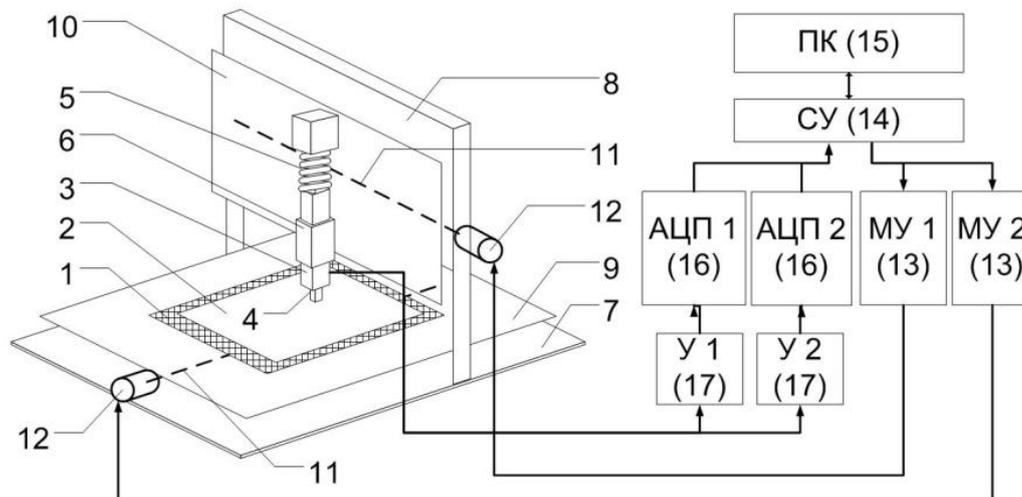
**Рис. 9. Эффективный коэффициент трения при движении индентора: а - в прямом направлении; б – в обратном направлении**

Предложена методика определения фрикционных характеристик при движении индентора по нелинейным траекториям заключающаяся в том, что по поверхности материала перемещают индентор по траектории, аппроксимированной набором линейных участков.

При прохождении индентора по каждому из участков производят одновременное количество измерений компонент полного вектора силы сопротив-

ления, и по отношению их средних значений судят об анизотропии на данном участке траектории. Измерения производят при фиксированном взаимном положении осей анизотропии контактирующих поверхностей.

Ниже представлена установка (Рис. 10), на которой реализуется методика определения фрикционной анизотропии.



**Рис. 10.** Испытательная установка: 1 – держатель, 2 – образец, 3 – держатель, 4 – индентор, 5 – механизм нагружения, 6 – двухкоординатный датчик силы, 7 – основание, 8 – рама, 9 – горизонтальная каретка, 10 – вертикальная каретка, 11 – передача винт-гайка, 12 – двигатели, 13 – модули управления, 14 – согласующее устройство, 15 – компьютер управления, 16 – АЦП, 17 – усилители.

Первоначально производится установка образцов 2 и 4 на каретках перемещения. Работа испытательной установки осуществляется в автоматическом режиме в соответствии с алгоритмом испытания по программе управления.

Алгоритм испытания включает: градуировку нулевых значений двухкоординатного измерителя силы трения, приведение образцов 2 и 4 в контакт и установку силы нагружения.

При помощи приводов 12, управляемых компьютером 15, обеспечивается движение образцов по круговой траектории движения, аппроксимированной набором линейных участков.

Параллельно компьютер управления регистрирует компоненты главного вектора силы трения, поступающие с информационных выходов независимых аналого-цифровых преобразователей 16.

Представлена экспериментальная методика построения анизотропии эффективного коэффициента трения пары “изотропный штифт - анизотропная плоская поверхность”.

Анализ проводится при движении индентора по круговой траектории диаметром 10 мм, аппроксимированной 24-мя линейными участками. Время прохождения одного участка траектории 2 секунды, а частота опроса датчиков системы сбора аналитической информации 1 кГц.

Представлен график изменения величин отдельных компонент вектора трения (Рис. 11), на основании которых построена анизотропа эффективного коэффициента трения (Рис. 12).

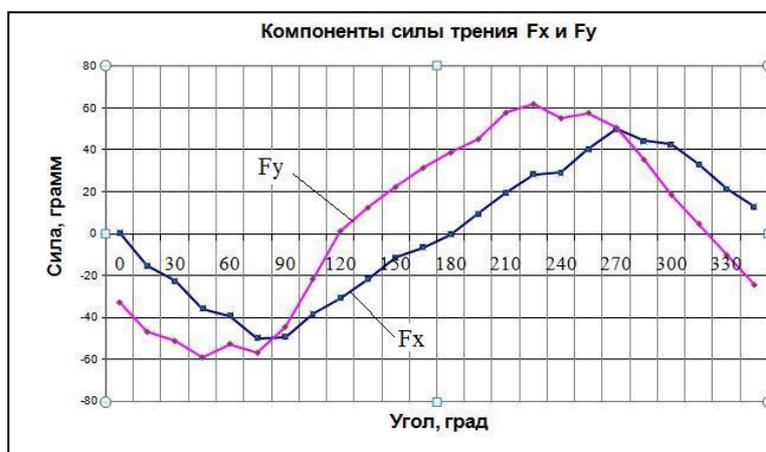


Рис. 11. Компоненты вектора силы трения

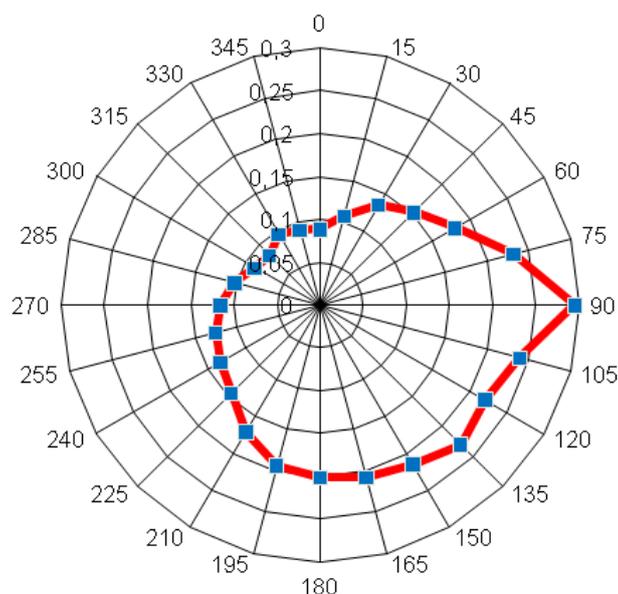


Рис. 12. Анизотропа эффективного коэффициента трения на поверхности обработанной плоским шлифованием (вдоль направления обработки:  $R_a=0,518$  мкм,  $R_z=2,75$  мкм,  $R_{max}=4,00$  мкм; Поперек направления обработки:  $R_a=1,662$  мкм,  $R_z=10,1$  мкм,  $R_{max}=11,8$  мкм)

С практической точки зрения важно, что экстремальные значения коэффициентов трения для исследованных анизотропных поверхностей могут отличаться в три раза (Рис. 12).

В целом проведенные экспериментальные исследования показали, что представленные технические решения устройств измерения сил трения и многокоординатный привод движения измерительного элемента, работающие в составе единого испытательного комплекса, позволяют решать широкий круг исследовательских задач.

**Четвертая глава** включает описание конструкции и основных параметров созданной установки, аспектов развития алгоритмического и программного обеспечения средств испытания фрикционных характеристик материалов. Показаны варианты использования в смежных областях исследования материалов, на примере интегрального электрохимического контроля параметров гальванопокрытий (толщина, коррозионная стойкость и др.).

#### Параметры испытательной установки

##### **Система управления приводом движения индентора**

*Типы траекторий движения:* линейные (поступательное, возвратно-поступательное) и нелинейные.

*Диапазоны регулирования:*

По осям: X: 200 мм, Y: 200 мм, Z: 100 мм,

Точность позиционирования 0.06 мм.

угловое положение индентора (координата U): 360 град.

Скорость: 0 – 10 мм/с.

Нагрузка предельная (координата Z): 0 – 1500 грамм.

*Компоненты системы управления.*

Двигатели шаговые FL39ST44-0304A.

Модули управления: Блок М 106, “КЕМО electronic”.

##### **Система сбора данных**

*Диапазоны регистрируемых величин:*

Силы трения по осям X и Y: 750 грамм.

Нагрузка (координата Z): 0 – 1500 грамм.

*Компоненты системы сбора данных.*

Тип датчиков: Тензометрические датчики силы FSG15N1A Honeywell.

Тип усилителя : RL-4DA200 фирмы “RLDA”.

Тип АЦП: Ф7077/1.

*Согласующее устройство:* Интерфейсная плата на 72 дискретных канала ввода-вывода.

##### **Программное обеспечение установки**

Специализированный пакет программ для управляющей ЭВМ, управляет ходом эксперимента. В качестве программ планирования и обработки данных применяются стандартные программы офисного пакета Microsoft Office.

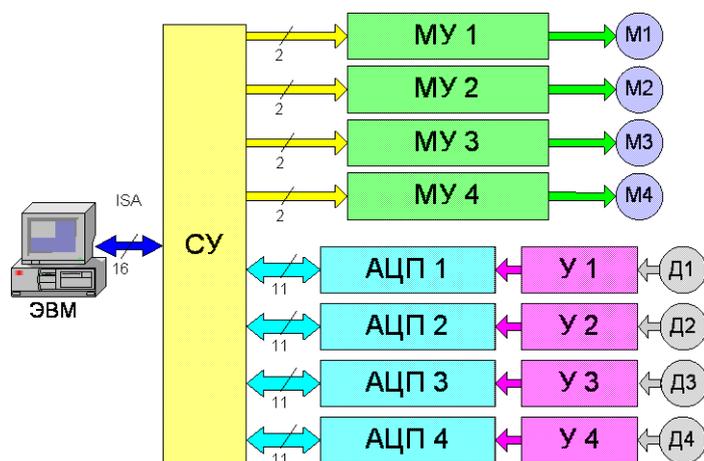


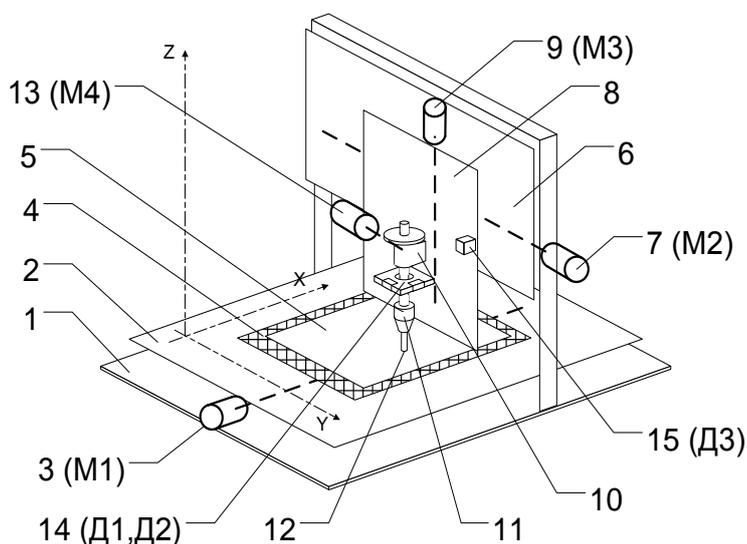
Рис. 13. Структурная блок-схема согласования информационных каналов автоматизированной установки: СУ - согласующее устройство, МУ1 - МУ2 - модули управления, М1-М4 - двигатели, АЦП1-АЦП4 - аналогоцифровые преобразователи, У1-У4 - усилители сигналов, Д1-Д4 - датчики.

Разработана система согласования (Рис. 13) включающая: четыре канала управления и четыре канала сбора аналитической информации.

Два канала управления используются для пространственных перемещений образцов, один для управления нагружающим устройством и один для управления вращением индентора.

Два канала сбора данных используются для измерения компонент главного вектора трения, один регистрирует показания действующей нормальной силы, и один резервный канал.

Обеспечение параллельного обмена с каждым из каналов осуществляется согласующим устройством. Функционирование платы сопряжения (СУ) обеспечивается микросхемами ввода-вывода КР580ВВ55А. В изготовленном устройстве используются три микросхемы, которые обеспечивают работу 72 дискретных каналов ввода-вывода, что в соответствии со схемой согласования является достаточным для обеспечения функционирования подсистем установки.



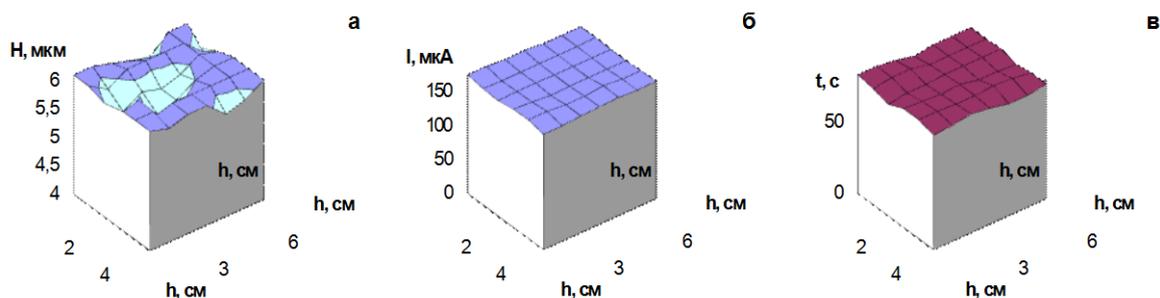
**Рис. 14.** Схема испытательной установки: 1 – основание, 2 - каретка X, 3 - двигатель каретки X, 4 - держатель образца, 5 – образец, 6 - каретка Y, 7 - двигатель каретки Y, 8 - каретка Z, 9 - двигатель каретки Z, 10 - образец индентора, 11 - держатель индентора, 12 - шарик, 13 - двигатель вращения индентора, 14 - датчики сил по осям X и Y, 15 - датчик нагружения, 16 - противовес системы нагружения.

На основе эффекта анизотропного рения предложен способ управления результирующей силой трения заключающийся в том, что регулирование величины силы трения осуществляют за счет изменения взаимной ориентации осей скольжения анизотропной пары трения.

Возможности разработанной установки позволяют использовать ее для решения более широкого круга задач, в частности для электрохимических исследований металлических гальванопокрытий.

Структура установки для проведения интегрального электрохимического контроля в данном случае дополняется следующими элементами: электрохимическим зондом, источником поляризующего напряжения (полярографом ПУ-1). Регистрируемые вольтамперные кривые процессов растворения позволяют сделать выводы о состоянии поверхностных слоев и наличии дефектов в структуре металлического покрытия.

Использование дополнительных модулей в конструкции испытательной установки позволяет проводить картографирование параметров покрытий электрохимическим методом (Рис. 15).



**Рис. 15. Картограммы интегрального контроля кадмиевых покрытий (Кдб): а – по толщине покрытия, б – по предельному току растворения, в – по времени перфорации.**

Таким образом, разработанная блочно-модульная конструкция установки при незначительном изменении структуры, позволила реализовать новую методику интегрального электрохимического контроля, которая повышает производительность метода локального анализа при определении параметров покрытий. А при анализе износостойкости гальванопокрытий с использованием метода интегрального электрохимического анализа предложен новый способ определения износа металлических покрытий.

### Заключение

В результате проведенных в работе комплексных исследований разработана установка для исследования процессов фрикционного контакта твердых тел, на основе применения многокоординатного привода движения, оригинальные устройства измерения сил трения и ряд методик анализа силовых параметров процесса трения в условиях неколлинеарности векторов трения и скорости главного движения.

1. Разработана автоматизированная установка для исследования процессов фрикционного взаимодействия поверхностей с анизотропной шероховатостью с учетом неколлинеарности векторов силы трения и скорости главного движения, снабженная многокоординатным приводом, реализующим нелинейные траектории движения измерительного элемента в пределах  $200 \times 200 \times 100$  мм, со скоростями относительного перемещения до 10 мм/сек, с точностью позиционирования 0,06 мм.
2. Разработана методика определения фрикционной анизотропии материалов путем регистрации мгновенного значения сил трения на круговой траектории, аппроксимируемой набором линейных участков.

3. Предложен способ управления результирующей силой трения за счет изменения взаимной ориентации движущихся тел с анизотропной шероховатостью.
4. Разработано двухкоординатное устройство измерения знакопеременных сил в диапазоне от -150 до 150 грамм для определения положения вектора трения при анализе фрикционных характеристик анизотропных материалов.
5. Разработано устройство управления нагрузкой пары трения на основе системы непрерывного контроля величины нагружающего усилия, в диапазоне от 0 до 300 грамм.
6. Использование дополнительных модулей в конструкции установки позволяет проводить картографирование параметров покрытий электрохимическим методом (толщина, химический состав, износ).

**Основное содержание работы изложено в следующих публикациях:**

1. С1 2284503 RU G 01 N 19/02. Устройство для измерения силы трения / В.В.Тарасов, А.В. Чуркин, И.С.Черепанов. (ИПМ УрО РАН). -№ 2005116155/28; заявл. 27.05.05 // Изобретения (Заявки и патенты). - 2006. - №27.
2. С1 2290622 RU G 01 N 3/56 G 01 N 9/02. Машина трения / В.В.Тарасов, А.В. Чуркин, И.С.Черепанов. (ИПМ УрО РАН). -№ 2005116150; заявл. 27.05.05 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2006. - №36.
3. С1 2287801 RU G 01 N 3/56, G 01 N 19/02. Двухкоординатная машина трения / В.В.Тарасов, А.В. Чуркин, И.С.Черепанов. (ИПМ УрО РАН). - № 2005134423/28; заявл. 07.11.05 // Изобретения (Заявки и патенты). - 2006. - № 32.
4. С1 2293305 RU G 01 N 3/36. Способ оценки износа металлических покрытий / В.В.Тарасов, А.В.Трубачев, И.С.Черепанов, А.В.Чуркин. (ИПМ УрО РАН). - № 2005121075/28; заявл. 05.07.05 // Изобретения (Заявки и патенты). - 2007. - № 4.
5. С1 2235997 RU G 01 N 27/48. Способ оценки коррозионной стойкости металлических покрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С.Черепанов, А.В.Чуркин. (ИПМ УрО РАН). - № 2003107503/28; заявл. 19.03.03 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2006. - № 32.
6. С1 2231754 RU G 01 N 21/48. Электрохимическая ячейка для измерения толщины покрытий металлами и сплавами / В.В.Тарасов, А.В.Трубачев, И.С.Черепанов, А.В.Чуркин. (ИПМ УрО РАН). - № 2002122046/28; заявл. 12.08.02 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2004. - № 15.
7. С1 2234078 RU G 01 N 27/48. Способ и устройство для определения параметров металлических покрытий / В.В.Тарасов, А.В.Трубачев, И.С.Черепанов, А.В.Чуркин. (ИПМ УрО РАН). - № 2002133807/28; заявл. 15.12.02 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2004. - № 20.

8. С1 2229119 RU G 01 N 27/48. Способ определения параметров металлических покрытий / В.В.Тарасов, А.В.Трубачев, И.С.Черепанов, А.В.Чуркин. (ИПМ УрО РАН). - № 2002130131/28; заявл. 10.11.02 // Изобретения (Заявки и патенты). – 2004. - № 20.
9. Решение о выдаче патента РФ по заявке № 20077137192/28 от 28.08.08: МКИ G 01 N 19/02. Устройство для измерения силы трения / В.В.Тарасов, А.В. Чуркин, С.Ю. Лоханина. (ИПМ УрО РАН).
10. Тарасов, В.В. Оптимизация системы сбора информации для трибологических испытаний. / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин. // 1 Всероссийск. конф. " Аналитические приборы ": Тез. докл. СПб. - 2002. - С. 317-318.
11. Тарасов В.В. Система управления движением измерительного элемента на плоскости. / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин, И.С. Черепанов. // 1 Всероссийск. конф. " Аналитические приборы ": Тез. докл. СПб. - 2002. - С.319-321.
12. Тарасов, В.В. Прибор для исследования трибологических и коррозионных процессов на поверхности / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин, И.С. Черепанов. // В сб. трудов 4 Международной научно-технической конференции “Информационные технологии в инновационных проектах” - Ч.1. - Ижевск. - 2003. - С.104-105.
13. Тарасов, В.В., Чуркин А.В., Черепанов И.С. Блок модульного сопряжения для автоматизации трибологических установок. / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин, И.С. Черепанов. // Материалы международного форума “Аналитика и аналитики ”. - Воронеж. - 2003. - Т.2. - С.617.
14. Тарасов, В.В. Система управления движением измерительного элемента на плоскости / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин, И.С. Черепанов. // Материалы 4 – й Междун. научно-техн. конференции “Инженерия поверхности и реновация изделий”. - Киев. -2004. – С. 163-164.
15. Тарасов, В.В. Некоторые аспекты построения испытательных систем и комплексов по принципам построения распределенных систем / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин. // В сб. трудов ИПМ УрО РАН “Проблемы термогазодинамики и прочности”: Под ред. А.В. Алиева. - Ижевск. - 2005. - С. 241-250.
16. Тарасов, В.В. Анализ конструктивных решений электрохимических датчиков, применяемых для контроля состава и свойств металлических покрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // Аналитика и контроль. - 2003. - №3. - Т.7. - С. 215-219.
17. Тарасов, В.В. Автоматизированная система интегрального электрохимического контроля коррозионных свойств металлических покрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // Защита металлов. - 2004. - Т.40. - №4. - С. 433-438.
18. Тарасов, В.В. Приборный комплекс интегрального электрохимического контроля модифицированных металлических поверхностей / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // Материалы VI Всероссийской конференции по электрохимическим методам анализа с международным участием “ЭМА - 2004”. - Уфа. - 2004. - С.153-154.

19. Тарасов, В.В. Электрохимические датчики контроля состава и свойств металлических покрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // Датчики и системы. – 2004. - №2. - С.28-31.
20. Тарасов, В.В. О возможности применения метода интегрального электрохимического контроля для оценки линейного износа металлических гальванопокрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // Материалы 5 – й Междун. научно-техн. конференции “Инженерия поверхности и реновация изделий”. -Киев. - 2005. - С. 220-221.
21. Тарасов, В.В. Интегральный электрохимический контроль гальванических покрытий / В.В. Тарасов, А.В. Трубачев, И.С. Черепанов, А.В. Чуркин. // В сб. трудов ИПМ УрО РАН “Проблемы термогазодинамики и прочности”: Под ред. А.В. Алиева. - Ижевск. - 2005. - С. 324-326.
22. Тарасов, В.В. Автоматизированная машина трения для испытания материалов в условиях динамического нагружения / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин. // Сб. науч.тр. ИПМ УрО РАН “Технологическое обеспечение надежности и долговечности машин”. – Ижевск. – 2006. - С.207-209.
23. Тарасов, В.В. Устройство измерения сил трения при трибологических испытаниях / В.В. Тарасов, А.В.Чуркин, С.Ю. Лоханина // Тез.докл. III науч.-практ. конференции “Проблемы механики и материаловедения”; ИПМ УрО РАН. – Ижевск. – 2006. - С.78-79.
24. Тарасов, В.В. Новые средства испытания материалов, имеющих выраженную анизотропию физико-механических свойств / В.В. Тарасов, А.В. Чуркин, И.С. Черепанов. // Материалы 6-го международного научно-технического семинара (21-23 февраля 2006 г., г. Свалява, Карпаты). – Киев: - АТМ Украины. – 2006. - С. 198-201.
25. Tarasov, V.V. The device for the investigation of the tribological and corrosion processes on the surface / V.V. Tarasov, A.V. Trubachev, I.S. Cherepanov, A.V. Churkin. // Zbornik prednasok 5. medzinarodnej vedeckej conferencie “Transfer 2003” diel. – Trencin. – 2003. - S. 428-431.

Подписано в печать 15.11.2008

Печать офсетная усл. печ. л. 1,1

Тираж 100 экз.

Типография ИПМ УрО РАН

426067, г.Ижевск, ул. Т.Барамзиной, 34