



ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Растегаев Игорь Анатольевич

Лаборатория «Физика прочности и интеллектуальные диагностические системы»

20 октября 2011 г.



эволюция представлений о понятии «трение» и «акустическая эмиссия»

- ▣ I этап – начиная с работ Леонардо да Винчи (вторая половина XV века) – **трением называют сопротивление движению перемещающихся относительно друг друга тел.**

- ▣ II этап –благодаря работам 40-х годов Ф.П. Боудена, А.Дж. Мура, Д. Тейбора, И.В. Крагельского к 60-м годам сложился современный подход: **трением называют комплекс явлений, протекающих в зоне контакта перемещающихся относительно друг друга тел, в результате которого между ними возникают силы контактного взаимодействия.**

- ▣ I этап – «классическое» понятие акустической эмиссии предложенное в 50-60 гг.

Акустическая эмиссия – излучение звуковых волн материалом в следствии локальной и динамической перестройки его внутренней структуры.

Механизмы:

- ответственные за пластическое деформирование;
- связанные с фазовыми превращениями и переходами
- магнитомеханических эффектов;
- разрушения

- ▣ II этап – «расширенное» толкование акустической эмиссии предлагаемое с 80 годов (ГОСТ 25.002-80; ГОСТ 27655-88; ГОСТ Р 52727-2007):

Акустическая эмиссия – возникновение в среде упругих волн, вызванных изменением её состояния под действием внешних и внутренних факторов.

Механизмы (I этап) + процессы:

- трения и изнашивания;
- аэрогидродинамические процессы (кавитация);
- электрохимические процессы;
- воздействие лазером, радиацией и т.д.

Трибология – наука о трении и износе (1966г.). Что её двигает?

- 4-8% национального дохода развитых стран - потери от трения и износа;
- 30 – 40 % всей вырабатываемой энергии в мире теряется в узлах трения, превращаясь в теплоту, нагревающую механизмы и узлы машин;
- 80 – 90 % случаев отказов узлов и деталей машин, рабочего инструмента по причине трения и износа;
- 30 % общего числа рабочих и парка станочного оборудования занято ремонтом отказавшего оборудования;
- 1/5 часть выплавляемого металла расходуется на ремонт;
- межремонтный ресурс в основном составляет 40...60% от ресурса новой техники;
- 100 млн. т. ежегодная потребность развитых стран в смазочных материалах.

**расходы на ремонт, техническое обслуживание и хранение техники
В 4...6 РАЗ БОЛЬШЕ
затрат на изготовление новых**



Трибология – направления

- **Трибоанализ** - направление теоретических исследований в области механики, физики и химии трибосопряжений;
- **Трибоматериаловедение** – направление, рассматривающее материаловедческие аспекты трения;
- **Триботехнология** – направление разрабатывающее технологические методы управления фрикционными свойствами подвижных соединений;
- **Триботехника** – направление, занимающееся конструированием узлов трения;
- **Трибомониторинг** – направление разработки методов и средств диагностики и контроля трибосистем;
- **Трибоинформатика** – направление, рассматривающее вопросы обработки и анализа диагностической информации, компьютерной имитации процессов трения;

Почему трибология перспективное направление исследований?

(Современная трибология. Итоги и перспективы/ под ред. академика РАН К.Ф.Фролова – М: Издательство ЛКИ, 2008 – 408с.)

- Новые достижения в трибологии ощутимо и реально позволяют снизить расходы предприятий и стран, высвободить людские резервы, поэтому трибология является одним из приоритетных направлений развитых стран поддерживаемых и финансируемых на государством уровне.
- Порядка 80% основных фондов предприятий России выработало свой ресурс, а замена требует значительных финансовых и трудовых затрат. Только использование достижений трибологии позволит повысить ресурс существующего оборудования.
- В России практически не используются последние достижения трибологии, а грамотное использование существующих достижений трибологии позволяет экономить до 2 % национального дохода развитых стран.

В каких направлениях проводятся трибологические исследования?

По результатам опроса 484 лабораторий промышленных фирм, университетов, НИИ и правительственных организаций, проведённого в США в 90-х годах (Jahanmir S., Peterson M. *The development and use of a tribology research-in-progress data base // Lubrication engineering. 1990. V.46. №3*) установлено, что:

- 75 % из них работают по проблемам трения и изнашивания;
- 60% из них работают по повышению долговечности узлов трения при снижении их технического обслуживания в процессе эксплуатации;
- 55 % из них работают по созданию смазочных материалов;
- 45 % из них работают по созданию трущихся деталей машин, механизмов, двигателей, приборов и технологического оборудования из керамических материалов и полимеров;
- более 40 % из них работают по созданию твёрдых смазочных материалов;

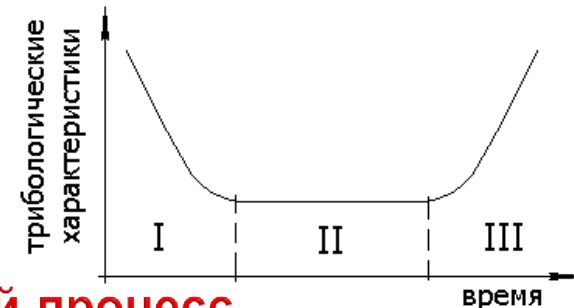
Кроме этого в литературе часто отмечают общемировую активность в направлениях (Заславский Ю.С. и др.) :

- мониторинга и контроля надёжности и долговечности узлов трения ;
- обобщения и создания банка данных трибологической информации по материалам, узлам, изделиям.

Проблема изучения трения и изнашивания

1. Трение с износом – сложный процесс

- Трение - диссипативный самоорганизующийся процесс множества взаимосвязанных и различных по природе явлений
- не установлена связь между трением и износом



2. Трение с износом – недостаточно изученный процесс

В настоящее время:

- Нет понимания, способного предсказывать количество одновременно действующих механизмов изнашивания в контакте, соотношения между ними, взаимовлияния друг на друга и стадийность их смены;
- Нет единой базы трибологических свойств материалов описывающих поведение одних и тех же материалов в различных парах трения;
- Практически нет способов управления процессами трения и изнашивания и восстановления материалов повреждённых трением;

3. Трение с износом – недоступный для изучения процесс

- процесс трения протекает на малых и разбросанных площадях пятна контакта (фактический контакт поверхностей 0,1-0,01% от номинальной площади контакта – *Bowden F.P., Tabor D – 1950 г.* Диапазон изменения диаметров пятен контакта для металлов 3-40 мкм – *Дёмкин Н.Б. - 1970 г.*);
- время существования пятна контакта ничтожно мало;
- место контакта недоступно для исследователя;
- адекватное изучение трения возможно только в системе «тело - смазочный материал - контр тело»;

Изучение науки о трении и износе идёт эмпирически

Требуются методы оценки состояния трибосистемы в любой момент времени



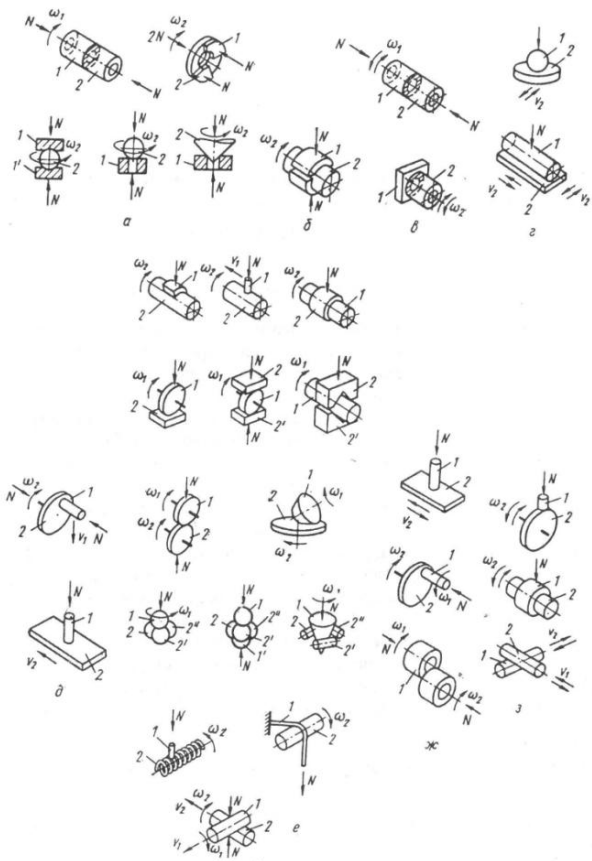
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шаг 1. Исследование физико-механических и теплофизических свойств материалов

<i>установки определения физико-механических и теплофизических свойств материалов</i>	 <p><i>твёрдые материалы</i></p>	<p><i>определяемые параметры: твёрдость, прочность на растяжение, сжатие, кручение, изгиб... ударная вязкость, жаропрочность, и др.</i></p>
	 <p><i>Жидкие и пластичные материалы</i></p>	<p><i>определяемые параметры: плотность, индекс вязкости, число пенетрации, твёрдость, коллоидная стабильность, температура каплепадения и др.</i></p>

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шаг 2. Исследование трибологических свойств материалов



схемы основных типов
машин трения (трибометров)

В лабораторной практике применяют машина трения восьми типов. Они разделяются:

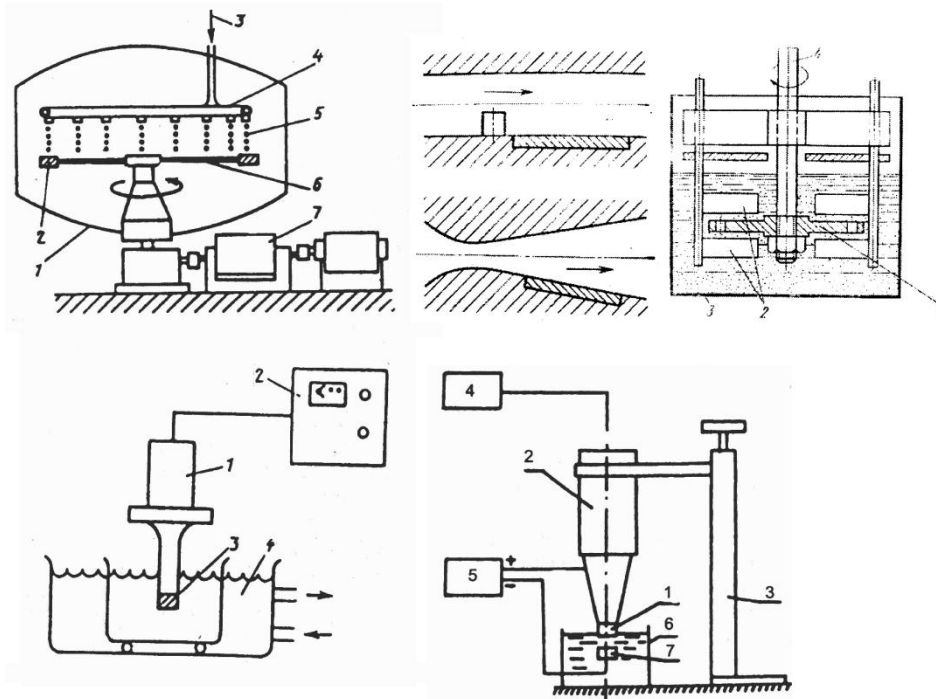
- по кинематическому признаку:
(однонаправленные, знакопеременного относительного перемещения)
- по виду контакта пар трения:
(машины торцевого трения, машины с контактом по образующей)
- по коэффициенту взаимного перекрытия ($K_{вз}$):
($0,5 < K_{вз} < 1$,
 $0 < K_{вз} < 0,5$)

в названиях может использоваться пояснение

- по конструктивному исполнению пар трения
(шариковые, роликовые, конусные, диск-пластина, шарик-шайба и т.д.)

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шаг 2-3. Исследование материалов при особых условиях



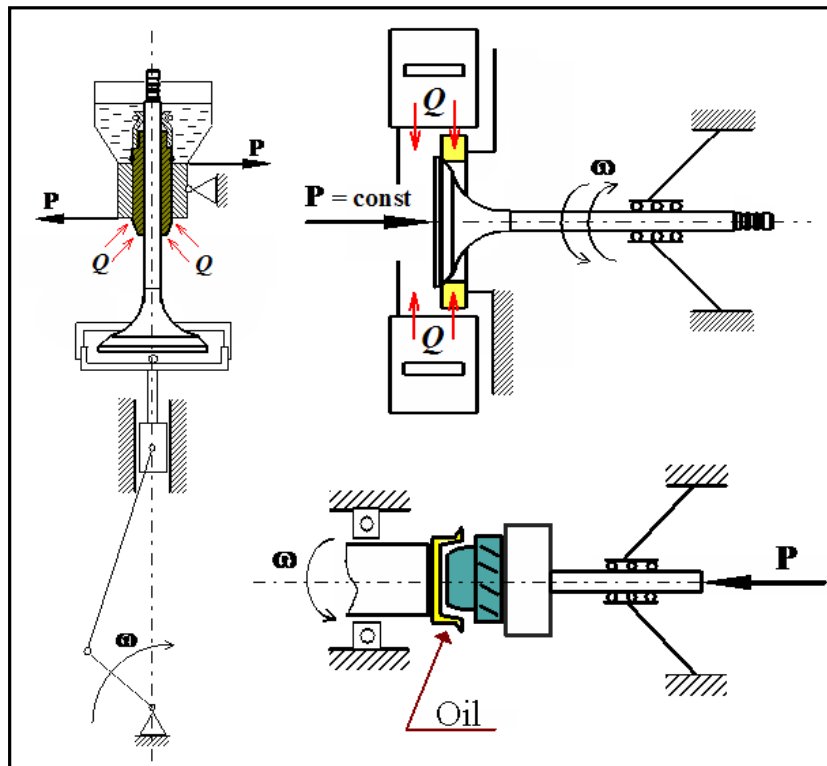
схемы основных типов
специальных установок

специальные установки исследования:

- абразивного изнашивания
 - кавитационного изнашивания
 - коррозионного изнашивания
 - эрозионного изнашивания
 - изнашивания при вибрации
 - изнашивания при облучении
- и др.

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шаг 3-4. Исследования работы материалов в кинематических парах



установки имитируют условия работы конкретных кинематических пар:

- *клапан-втулка*
 - *клапан-седло клапана*
 - *поршень-кольцо-гильза*
 - *синхронизатор-шестерня*
- и т.д.*



ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Шаг 5. Натурные испытания узлов, агрегатов, машин



Стендовые испытания

...

Комплексные испытания



Ходовые испытания

...

Ускоренные

Ресурсные

ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования

Шаг 1. Исследование физико-механических и теплофизических свойств материалов

Шаг 2. Исследование трибологических свойств материалов

Шаг 2-3. Исследование материалов при особых условиях

Шаг 3-4. Исследования работы материалов в кинематических парах

Шаг 5. Натурные испытания узлов, агрегатов, машин

Затраты

Шаг 1. Материалы + Лабораторные и исследовательские установки или справочные данные

Шаг 2. Материалы + Типовые машины трения

Шаг 2-3. Материалы + Специальные машины трения

Шаг 3-4. Узлы, детали +Время+Специальные машины трения

Шаг 5. Узлы, детали, машины+Время

НТД – Научно-техническая документация

ГОСТ
ОСТ
РД
ТУ

- Государственный стандарт
- Отраслевой стандарт
- Руководящий документ
- Технические условия

СТОИМОСТЬ/СЛОЖНОСТЬ

МУ
ИРМ

- Методические указания
- Инструкции по местам

ВОЗМОЖНОСТИ ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ



Определение шероховатости поверхности и размеры пятна износа, определение объёма отеснённого материала, построение 3D-профиля пятна износа и др. задач на микроскопах фирмы OLYMPUS, ZEISS

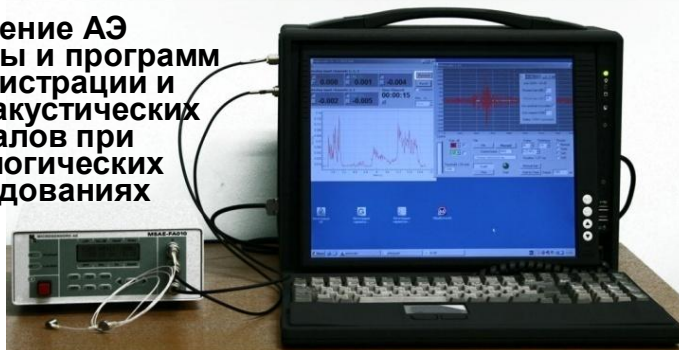


Определение химического состава и механических характеристик материалов (см. сайт лаборатории)



Определение коэфф. трения

Изготовление АЭ аппаратуры и программ для регистрации и анализа акустических сигналов при трибологических исследованиях

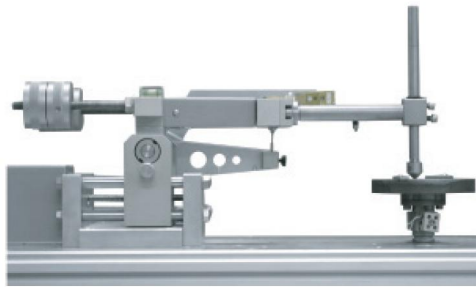


Подготовка образцов и шлифов для исследования пятен контакта твёрдых и износостойких материалов (P6M5, Г13 и т.д.) на оборудовании фирмы Sodick, Struers и др. (см. сайт лаборатории)

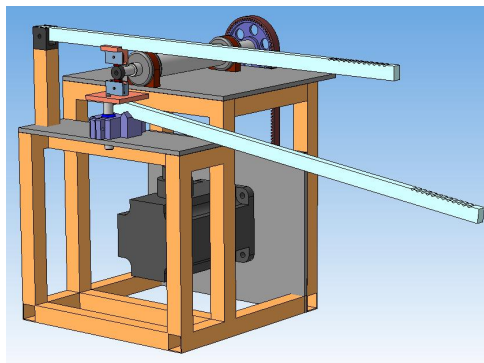


ВОЗМОЖНОСТИ ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

реализуемые в ближайшее время

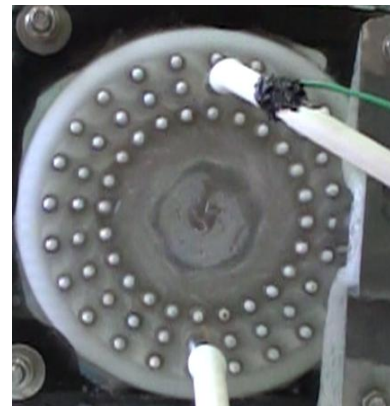


Оценка твёрдости, модуля упругости, адгезионной/когезионной прочности, стойкости к царапанию, коэфф. трения, износостойкости и др. характеристик поверхностного слоя на трибометре фирмы NANOVEA

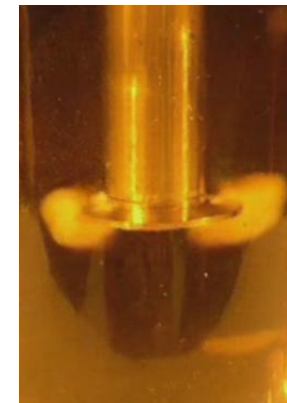


Оценка износостойкости материалов и покрытий на модульной машине трения

Оценка износостойкости и моделирование вибрационной нагрузки на усталостной машине фирмы INSTRON



Оценка кавитационного изнашивания материалов в роторно-импульсном аппарате и при ультразвуковых колебаниях



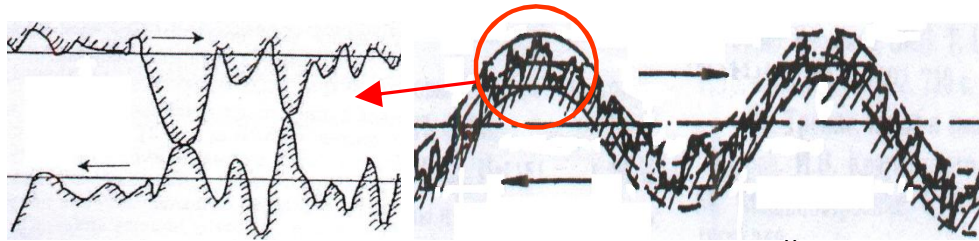
ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования	Затраты	НТД	Применение метода АЭ	Внедрение метода АЭ
Шаг 1. Исследование физико-механических и теплофизических свойств материалов	Шаг 1. Материалы + Лабораторные и исследовательские установки или <u>справочные данные</u>	ГОСТ ОСТ РД		
Шаг 2. Исследование трибологических свойств материалов Шаг 2-3. Исследование материалов при особых условиях	Шаг 2. Материалы + Типовые машины трения Шаг 2-3. Материалы + Специальные машины трения			
Шаг 3-4. Исследования работы материалов в кинематических парах	Шаг 3-4. Узлы, детали +Время+Специальные машины трения			
Шаг 5. Натурные испытания узлов, агрегатов, машин	Шаг 5. Узлы, детали, машины+Время	ТУ МУ ИРМ		

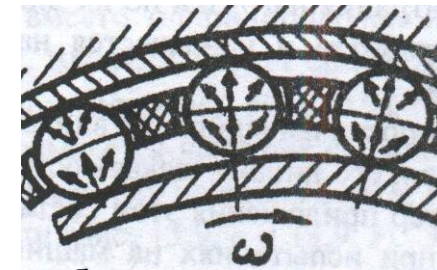
Стоимость/сложность

Особенность акустической эмиссии при трении в взаимодействии-

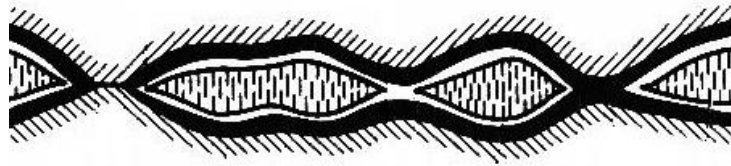
- **1. Автоколебания:** *- наличие разных видов колебаний!*



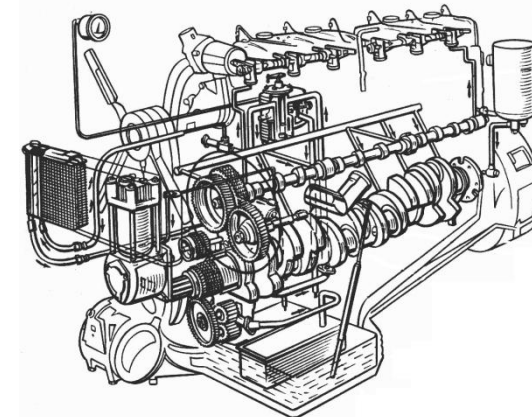
соударение микро и макронеровностей геометрического профиля



шум работы узла, конструктивные зазоры, дисбаланс



нестабильность режима трения:
неравномерно смазанная, окисленная,
повреждённая поверхность трения, наличие
абразива или частиц износа.



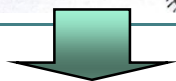
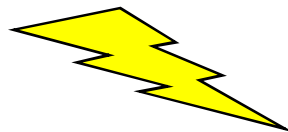
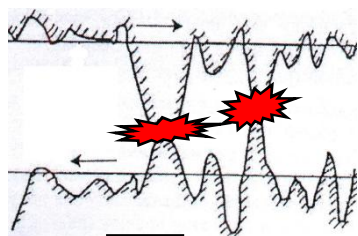
колебания от внешних источников



Особенность акустической эмиссии при фрикционном взаимодействии-

- **2. Эмиссионные сигналы:** - наличие разных видов колебаний!

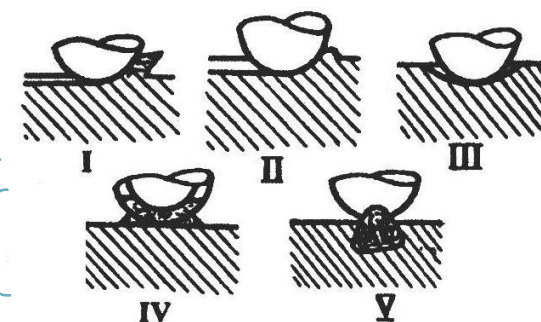
высокие удельные давления, локальные температурные вспышки, перемещения
напряжённое состояние, разность потенциалов



- плавление, кристаллизация, диффузия, рекристаллизация, фазовые превращения, движение и взаимодействие дислокаций и др. структурные процессы
- аэро и гидродинамические процессы
- коррозионные процессы
- электрические и электромагнитные процессы
 - термоэффекты



**акустическая
эмиссия**



- резание, деформирование, трещинообразование, разрушение, схватывание, вырыв



Особенность акустической эмиссии при фрикционным взаимодействии-

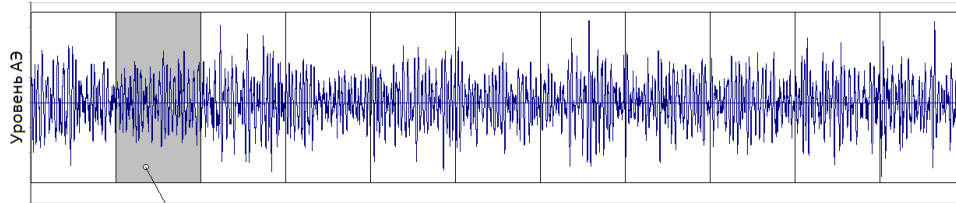
- **3. Поверхностные волны:** - наличие разных видов колебаний!



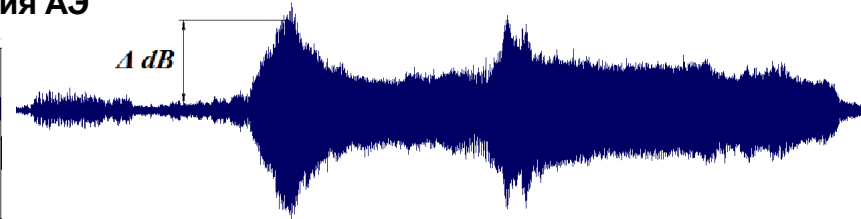


ОСОБЕННОСТИ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА АЭ ПРИ ТРЕНИИ

Регистрация АЭ

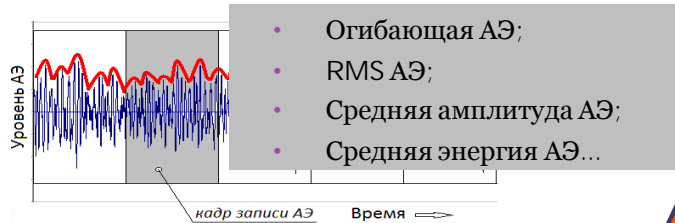


Импульсы перекрываются – непрерывная АЭ
 (~ 10^5 имп./с, частотный диапазон до 3,0 МГц)

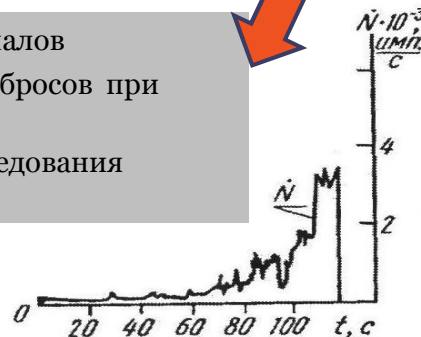


Большой диапазон изменения амплитуд сигналов АЭ (Δ dB = 60-80 dB)

Анализ АЭ

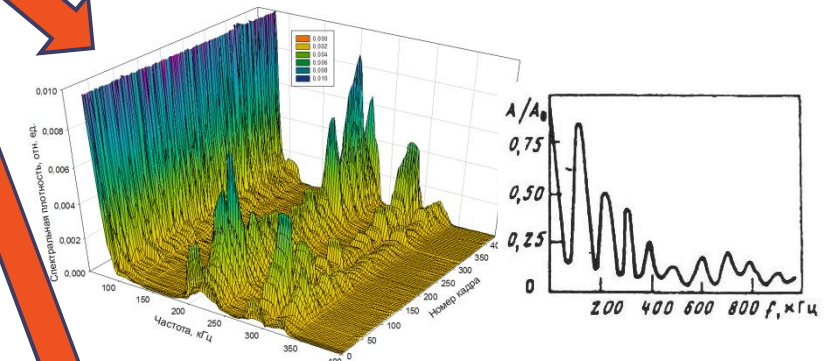


- Скорость счёта сигналов
- Счёт количество выбросов при пике
- Счёт интервалов следования импульсов...



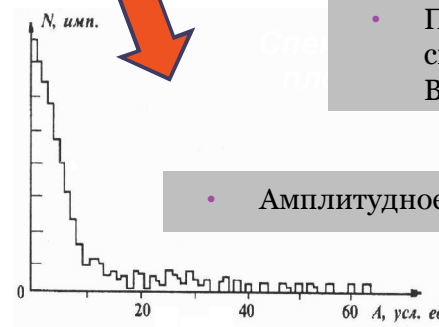
Анализ тенденции изменения АЭ

Анализ природы источников АЭ



- Перераспределение в спектре сигналов (Фурье и Вейвлет-преобразование)...

- Амплитудное и другие распределения...



ВОЗМОЖНОСТИ ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» ДЛЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования

Шаг 1. Исследование физико-механических и теплофизических свойств материалов

Шаг 2. Исследование трибологических свойств материалов

Шаг 2-3. Исследование материалов при особых условиях

Шаг 3-4. Исследования работы материалов в кинематических парах

Шаг 5. Натурные испытания узлов, агрегатов, машин

Оснащение

Шаг 1. Лабораторные и исследовательские установки (см. сайт лаборатории)

Шаг 2. Типовые машины трения (изготавливается модульная машина трения)

Шаг 2-3. Специальные машины трения (изготавливается установка для оценки кавитационного изнашивания)



Наш опыт применения метода АЭ

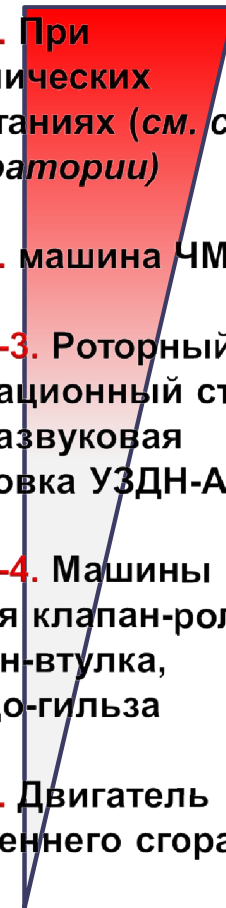
Шаг 1. При механических испытаниях (см. сайт лаборатории)

Шаг 2. машина ЧМТ-1

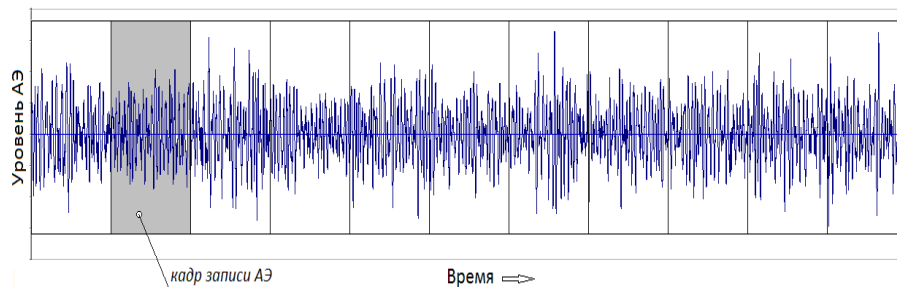
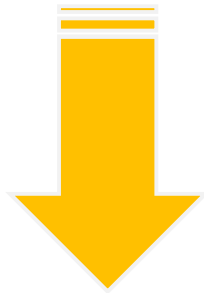
Шаг 2-3. Роторный кавитационный стенд, ультразвуковая установка УЗДН-А

Шаг 3-4. Машины трения клапан-ролик, клапан-втулка, кольцо-гильза

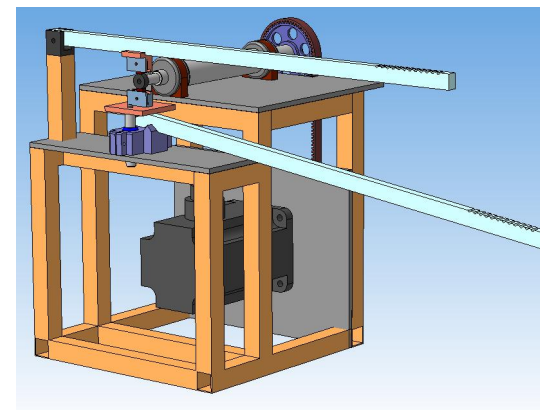
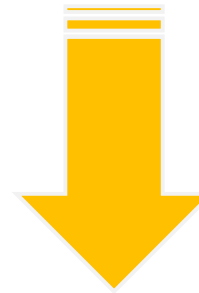
Шаг 5. Двигатель внутреннего сгорания



ТЕКУЩАЯ РАБОТА ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ» В ТРИБОЛОГИЧЕСКОМ НАПРАВЛЕНИИ



Оценка состояния узлов трения и идентификация доминирующих механизмов изнашивания по параметрам сигналов АЭ



Проектирование модульной машины трения пониженной шумности для изучения АЭ при трении и износе

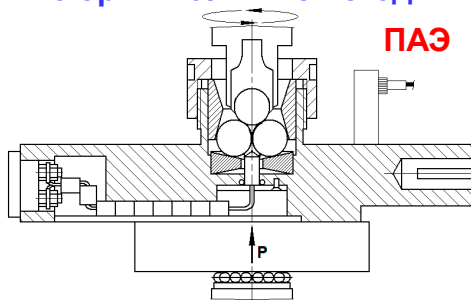
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Исходные данные – результаты 275 испытаний на четырёхшариковой машине трения ЧМТ-1 с записью АЭ
(ЧМТ-1 используется как модельная установка способная имитировать: нормальный режим изнашивания, задиры и сваривание поверхностей трения при постоянных начальных условиях)

Выполнено

Планируется

Испытания по
ГОСТ 9490-75 +
3 оригинальные методики



Узел трения
4 шарика \varnothing 12,7 мм
сталь ШХ-15 ГОСТ 801-78

Испытательная среда

Сухое трение
Вода
«Лукойл-стандарт», Россия
SAE 10W-30, 10W-40
«Литол-24», Россия
«Фиол-1», Россия
«Шрус-4М», Россия
«Renolit IP 1619», Fuchs
«Unirex-3», ESSO

Анализ согласно
ГОСТ 9490-75



Диаметр
пятна износа

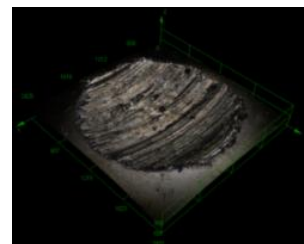


- Задиры
- Сваривание
- Нагрузка P_k
- Нагрузка P_c

Микроскопические
исследования

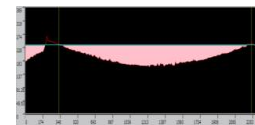


Фотографии
пятен износа

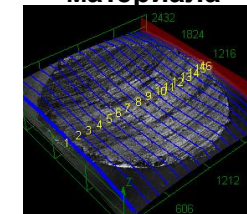


3-D профиль
пятен износа

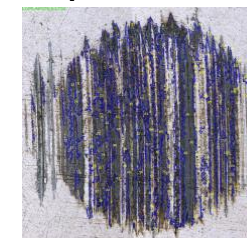
Измерения



Объём
отсесненного
материала



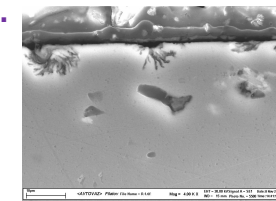
Шероховатость
поверхности износа



Площади отсес-
нённого металла,
со следами прих-
ватывания, внед-
рения продуктов
износа и др.

- Для изучения
разрушения в
приповерхностных
слоях материала

...



...разрез образцов по
пятну контакта ...



...подготовка и
изучение шлифов...



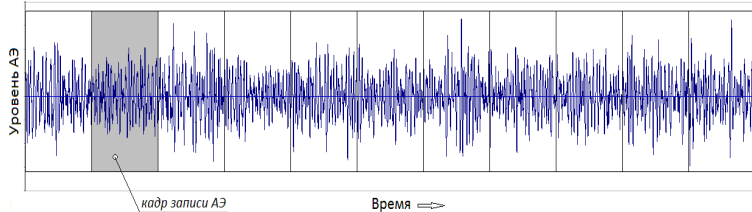


ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Обработка АЭ данных

Выполнено

Планируется



Расчёт:

- Пиковое значение сигнала АЭ

- Среднеквадратичное отклонение сигнала АЭ (RMS)

При сопоставлении данных испытаний и результатов анализа АЭ по времени регистрации показана связь:

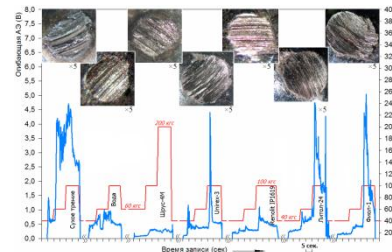
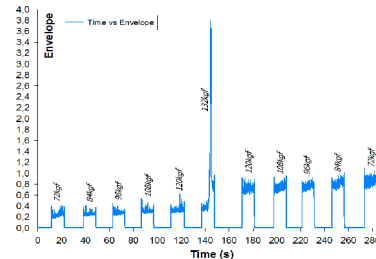
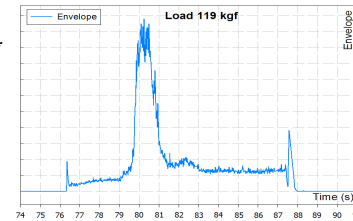
Мерсон Д.Л. Изучение процессов разрушения поверхностей, деформируемых трением, методом акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, В.И. Полунин, Б.А. Чудинов, И.А. Растегаев, А.А. Разуваев // Трение и смазка в машинах и механизмах – 2007. – №8. – С.9-13.

-Наличие задира по методике ГОСТ 9490-75 в 100% случаев подтверждается возрастанием уровня сигналов АЭ (min в 3 раза)

-После задира уровень сигналов АЭ, даже при снижении нагрузки на узел трения, выше своего предзадирного значения, не менее чем на 30 %

-Вид кривой энергетического параметра АЭ при пике отражает стадийность, а характер кривой рельеф формирующегося пятна контакта

Мерсон Д.Л. Мониторинг формирования рельефа поверхности трения по огибающей сигналов акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, И.А. Растегаев // Сборник трудов международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы трибологии» – Москва: Машиностроение, 2007. – Т.3. – С.400-412.



Полученные результаты применять для:

- фиксирования смены характера износа
- продолжительность интенсивного изнашивания
- размер пятна износа
- моменты схватывания поверхностей трения

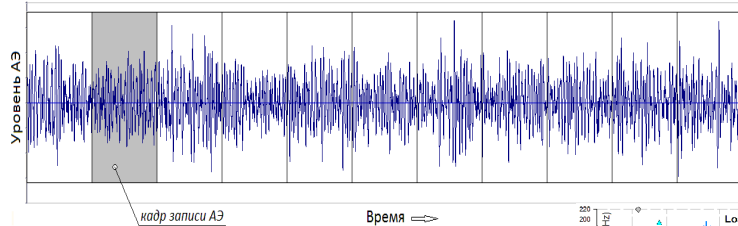
- подобрать удобный критерий для оценки подобия кривых
- создать базу данных критерия оценки подобия для различных сред от особенностей формирования пятна износа

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

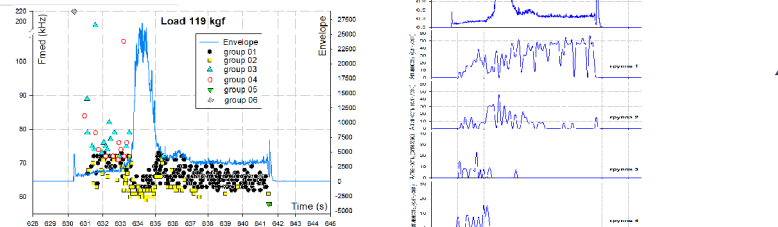
Обработка АЭ данных

Выполнено

Планируется

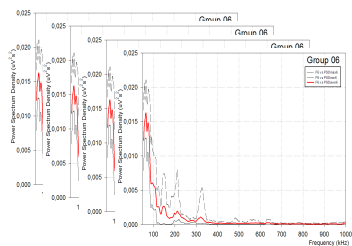


группа 1 ● - шум трения (нераспознанные кадры АЭ)
группа 3 ▲ - образование точек схватывания и их разрыв
группа 4 ○ - образование точек и областей схватывания и их разрыв
группа 2 ■ - пластическое отгеснение слоя материала



При сопоставлении данных испытаний и результатов анализа АЭ по времени регистрации предположена связь: между группами сигналов АЭ и доминирующими механизмами изнашивания

дискретное преобразование Фурье



вычисление спектральной плотности сигналов АЭ

Одновременная сортировка всех сигналов АЭ на группы по форме кривой спектральной плотности (методика Разуваева А.А.)

определение спектральных параметров сигналов:
-энергии сигнала АЭ
-медианная частота сигнала
- центральная частота сигнала и др.

Полученные результаты применять для:
-идентификации доминирующих механизмов изнашивания
-определения момента смены механизмов изнашивания
-моменты схватывания поверхностей трения
-активность доминирующих процессов изнашивания

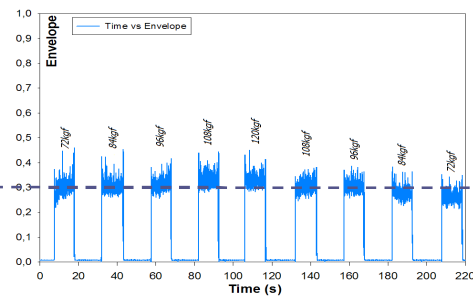
-выявить и вычистить несущий процесс (нормального) изнашивания из сигналов АЭ для более устойчивого разделения сигналов АЭ на группы

- создать базу данных спектров групп сигналов АЭ регистрируемых при доминирующих механизмах изнашивания

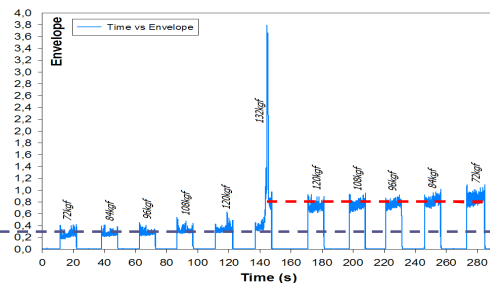
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Мониторинг работы и оценка предельного состояния узлов трения по интегральному параметру АЭ:

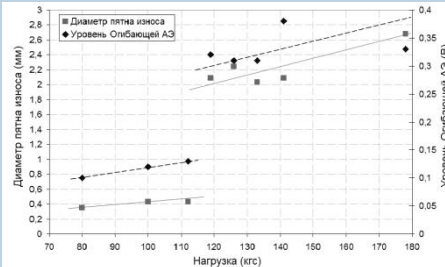


нормальный износ



допущен критический режим изнашивания

По параметрам АЭ в режиме реального времени оценивается:
-площадь контакта



-массовый износ (например, патент RU № 2212648, Фадин Ю.А.)

-Вывод о годности узла трения

-Уточнение остаточного ресурса узла трения

-Разработка компенсирующих мероприятий для безаварийной и безостановочной работы узла трения

-Проведение внеочередного диагностирования узла трения в режиме эксплуатации с применением метода АЭ или др. методов диагностирования

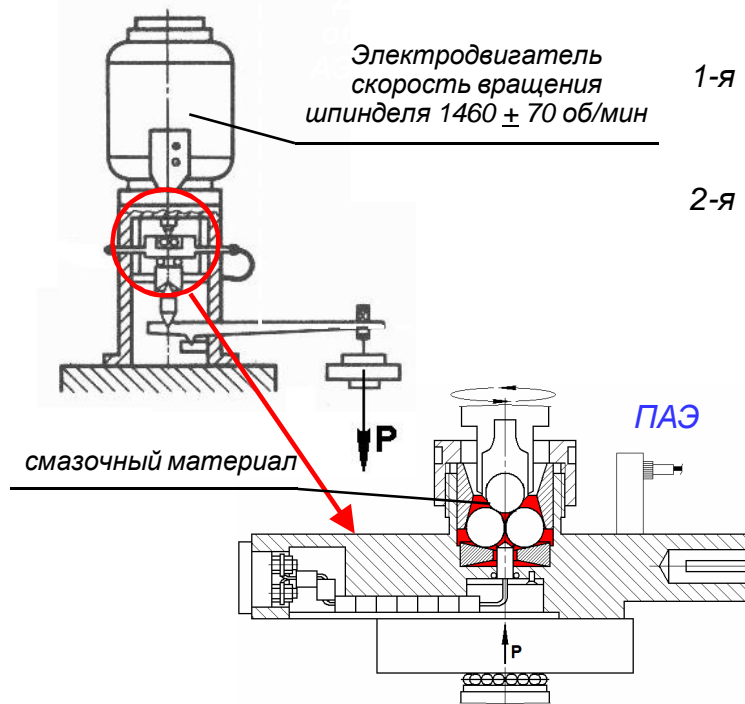
Мерсон Д.Л. Изучение процессов разрушения поверхностей, деформируемых трением, методом акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, В.И. Полунин, Б.А. Чудинов, И.А. Растегаев, А.А. Разуваев // Трение и смазка в машинах и механизмах – 2007. – №8. – С.9-13.

Растегаев И.А. Экспресс-методика испытаний смазочных материалов на четырёхшариковой машине трения с применением метода акустической эмиссии / И.А. Растегаев, Д.Л. Мерсон // Известия Самарского научного центра РАН, специальный выпуск «Технологии управления организацией. Качество продукции и услуг» – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2008. – Выпуск 8. – С.101-105.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Сокращение времени и стоимости трибологических исследований за счёт применения метода АЭ (на примере методики ГОСТ 9490-75 «Метод определения трибологических характеристик на четырёхшариковой машине»):



Метод включает в себя две методики испытания:

1-я заключается в испытании узла трения в течение 10 сек при каждой дискретно возрастающей нагрузке. Фиксируется нагрузка задира (P_k) и сваривания (P_c), определяется индекс задира (I_z).

2-я заключается в испытании узла трения в течение 30-60 мин при постоянной нагрузке. Определяют: размер пятна износа ($D_{и}$).

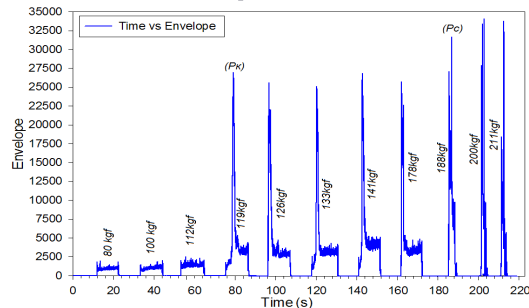
Метод предназначен для определения основных трибологических характеристик смазочных материалов:

- несущей способности – по критической нагрузке (P_k);
- предельной нагрузочной способности – по нагрузке сваривания (P_c);
- противоизносных свойств – по диаметру пятна износа ($D_{и}$);
- противозадирных свойств – по индексу задира (I_z);

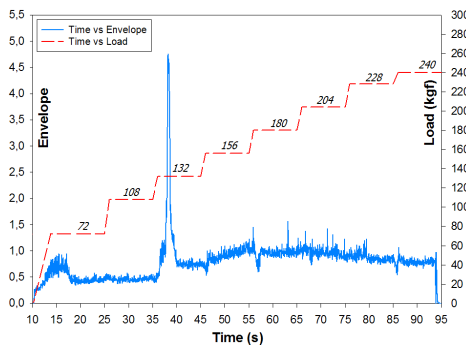
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Сокращение времени и стоимости трибологических исследований за счёт применения метода АЭ (на примере методики ГОСТ 9490-75):



стандартная методика
по 1 ряду нагрузок в записи АЭ
(44 шарика, 11 порций смазки, 76 мин.)



экспериментальная методика
по 1 ряду нагрузок в записи АЭ
(4 шарика, 1 порция смазки, 95 сек.)

Объект испытания	Средняя критическая нагрузка с доверительной вероятностью 0.95, полученная:			
	по ГОСТ 9490-75		по экспери- ментальной методике	
	P_k (кгс)	P_c (кгс)	$P_k^{эк}$ (кгс)	$P_c^{эк}$ (кгс)
Моторное масло	130±11	206±18	140±10	-
Консистентн ая смазка	75±10	172±15	88±18	177±23

Мерсон Д.Л. Изучение процессов разрушения поверхностей, деформируемых трением, методом акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, В.И. Полунин, Б.А. Чудинов, И.А. Растегаев, А.А. Разуваев // Трение и смазка в машинах и механизмах – 2007. – №8. – С.9-13.

Растегаев И.А. Экспресс-методика испытаний смазочных материалов на четырёхшариковой машине трения с применением метода акустической эмиссии / И.А. Растегаев, Д.Л. Мерсон // Известия Самарского научного центра РАН, специальный выпуск «Технологии управления организацией. Качество продукции и услуг» – Самара: Издательство Самарского научного центра РАН, 2008. – Выпуск 8. – С.101-105.

-Ускорение испытаний происходит за счёт уменьшения числа межоперационных переходов и подтверждения задира без исследований на микроскопе

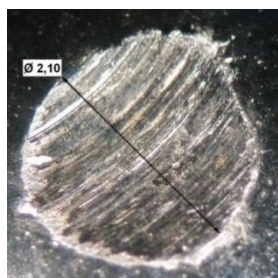
-Время испытания при апробации экспериментальной методики удавалось сократить, как минимум в 50 раз

Сокращение стоимости за счёт меньшего количества шариков и количества смазочного материала требующегося для определения нагрузок P_k и P_c

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем

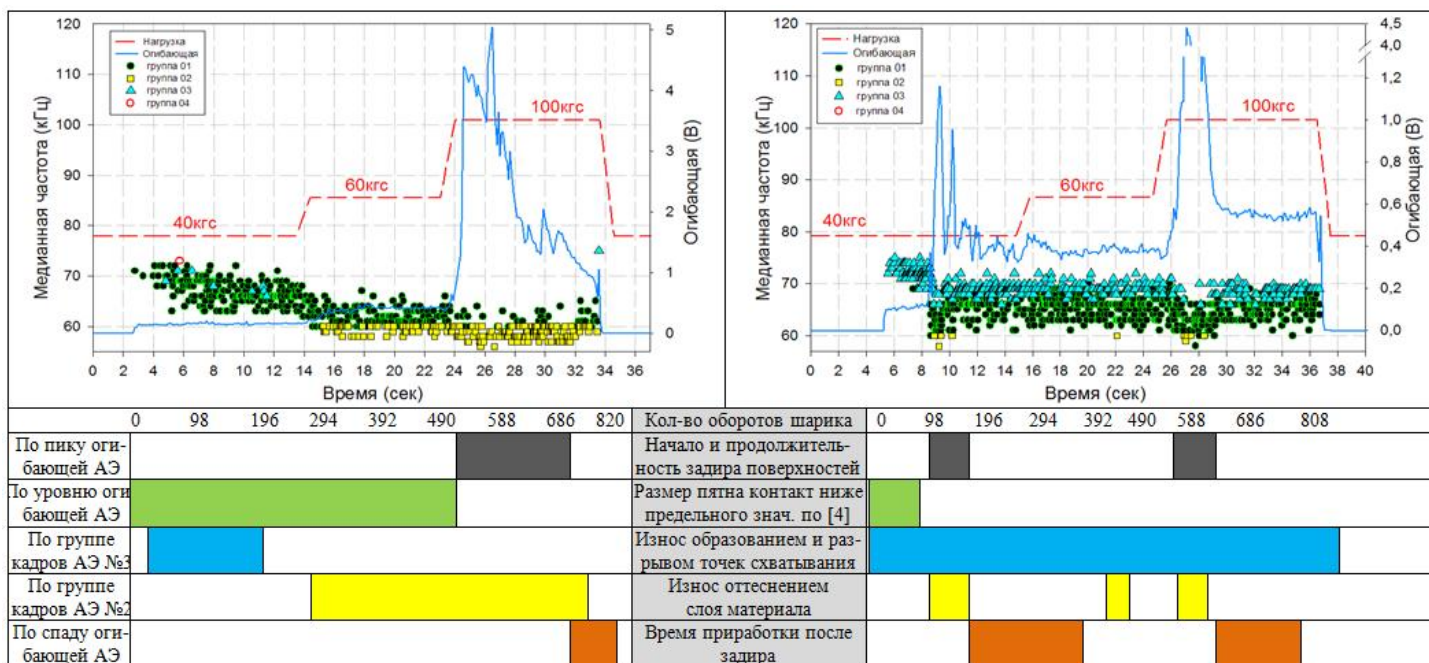
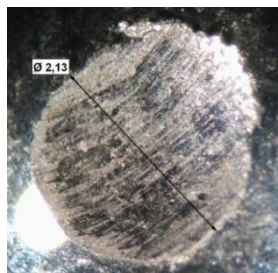
Применение метода АЭ позволяет восстановить хронологию разрушения поверхностей материала при испытании в следующем объёме (на данный момент исследований):



- 2 смазочных материала
- одинаковые пятна износа



Как протекал износ и формировалось пятно контакта?

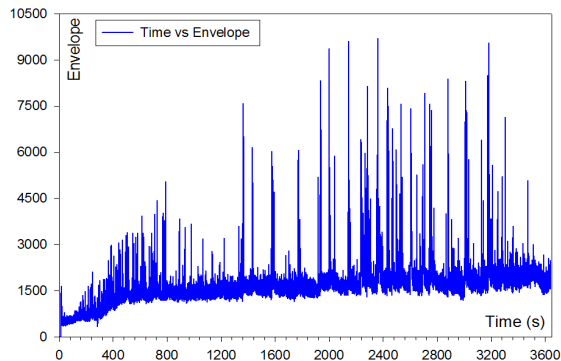


Растегаев И.А. Восстановление хронологии разрушения материала на шариковых машинах трения по параметрам сигналов акустической эмиссии / И.А. Растегаев, Д.П. Мерсон // «Микромеханизмы пластичности, разрушения и сопутствующих явлений»: VI Всероссийская молодежная научная конференция; «Физическое материаловедение»: V Международная школа: сб. конкурсных докладов – Тольятти: ТГУ, 2011. – С.140-145.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Повышение помехозащищённости метода АЭ при применении в трибологических исследованиях:

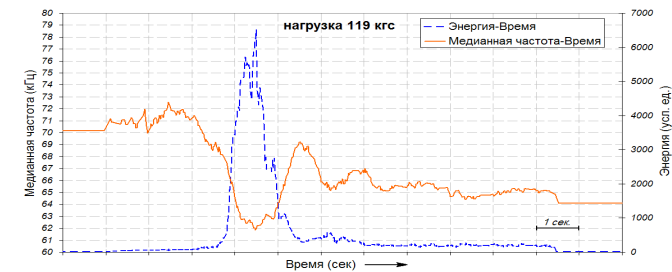


Помехи
(при идентификации задира в автоматическом режиме)

- Электрические (включение/выключение/переключение режимов работы установки)

- Схватывание поверхностей трения

В работе показано, что смена режимов трения, т.е. переход от установившегося режима изнашивания к схватыванию и задиру, сопровождается резким увеличением энергии сигналов в сочетании с уменьшением их медианной частоты.



Таким образом при одновременном анализе изменения среднего энергетического параметра АЭ и средней медианной частоты стабильно (исключая влияние помех) можно идентифицировать задрин в реальном времени в автоматическом режиме

Типичный вид записи интегрального энергетического параметра АЭ при мониторинге работы узла трения

Мерсон Д.Л. Изучение процессов разрушения поверхностей, деформируемых трением, методом акустической эмиссии / Д.Л. Мерсон, В.И. Полунин, Б.А. Чудинов, И.А. Растегаев, А.А. Разуваев // Трение и смазка в машинах и механизмах – 2007. – №8. – С.9-13.

Заявка № 2008018634/28, 05.03.2008 «СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ (19) RU (11) 2008108634 (13) A
(51) МКК G01N3/56 (2006.01)



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ЗАЯВКА НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

По форме на 18.10.2011 состоянии деловоговодства. Эксперта по существу

(21) (22) Заявка: 2008108634/28, 05.03.2008

(43) Дата публикации заявки: 10.09.2009

Адрес для переписки:

448887, Самарская обл., г. Тольятти, ул.
Белгородская, 14, ГОУ ВПО "Тольяттинский
государственный университет", каф. "Право и
ИС", Е.М. Чертаковой

(71) Заявитель(и):

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
"Тольяттинский государственный университет" (RU)

(72) Автор(ы):

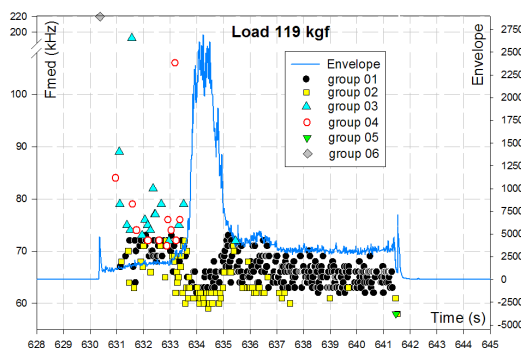
Мерсон Дмитрий Львович (RU),
Растегаев Игорь Анатольевич (RU),
Данюк Алексей Валерьевич (RU),
Кристал Михаил Михайлович (RU),
Чугунов Алексей Владимирович (RU)

(54) СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИНАМИКИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ И РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ТРЕНИИ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Идентификация доминирующих механизмов изнашивания в реальном времени по параметрам сигналов АЭ:



группа 1 ● - шум трения (нераспознанные кадры АЭ)
группа 3 ▲ - образование точек схватывания и их разрыв
группа 4 ○ - образование точек и областей схватывания и их разрыв
группа 2 ■ - пластическое отгеснение слоя материала

НО

- Сигналы АЭ при трении высокоподобны и для их разделения требуется использование значения коэфф. подобия 85-95%

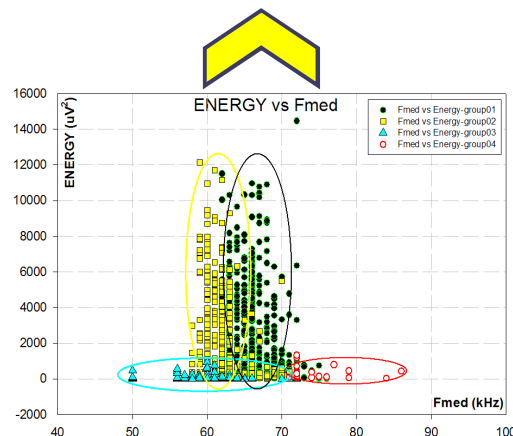
- 80% сигналов за испытание это нераспознанные кадры АЭ (группа 1), которые такие же носители информации, как и другие сигналы

- Основная доля спектра сигналов АЭ – энергия несущего процесса трения (нормальный режим изнашивания, шум установки)

- Идентифицированы всего два доминирующих механизма изнашивания, но не выявлено их место в спектре сигналов АЭ

Текущая работа

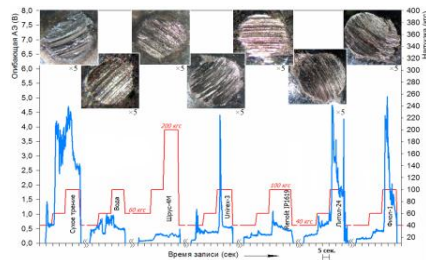
- Выявление несущего процесса в сигналах АЭ
- Вычитание спектра несущего процесса из спектра всех сигналов АЭ
- Повторное разделение сигналов АЭ по критерию подобия с меньшим значением
- Сравнение полученных результатов обработки сигналов АЭ с предыдущими
- Включение в анализ подповерхностное разрушение материала
- Выявление особенностей в спектре сигналов при действующем доминирующем механизме изнашивания
- Вычисление объема материала задействованного в процессе разрушения по сигналам АЭ
- Создание базы данных сигналов АЭ при трении и износе
- Апробация результатов



ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДОМИНИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ ИЗНАШИВАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АЭ

Применение полученных результатов – создание интеллектуальных диагностических систем и методик (на данный момент исследований) обработки сигналов АЭ регистрируемых при трении и износе

Прогнозирование формирования рельефа пятна контакта по параметрам сигналов АЭ:



вид кривой энергетического параметра АЭ при пике отражает стадийность, а характер кривой - рельеф формирующегося пятна контакта

В реальном времени можно прогнозировать характеристики рельефа пятна контакта

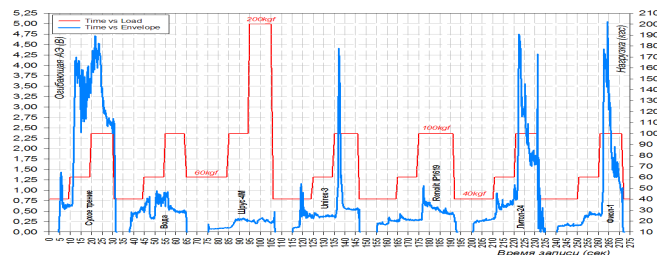
размер, волнистость, шероховатость

ПЛОЩАДЬ	Ra (Rz)
250.01	10 (40)

вид пятна контакта



при схожих действующих доминирующих механизмах изнашивания материалов - вид изменения кривой энергетического параметра АЭ подобен



Текущая работа

- Подбор параметра (возможно несколько параметров) оценки подобия кривых, который легко вычислять и эффективно использовать

(на данный момент времени опробовано только амплитудное распределение)

- Вычисление объема материала задействованного в процессе разрушения по сигналам АЭ

- Выявление связи со спектральными характеристиками сигналов АЭ

- Создание базы данных параметра(ов) оценки подобия кривых и характерных особенностей рельефа пятна износа

- Аprobация результатов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ МАШИНЫ ТРЕНИЯ Пониженной шумности для АПРОБАЦИИ МЕТОДИК АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АЭ И ИЗУЧЕНИЯ АЭ ПРИ ТРЕНИИ



ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ МАШИНЫ ТРЕНИЯ ПОНИЖЕННОЙ ШУМНОСТИ ДЛЯ АПРОБАЦИИ МЕТОДИК АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АЭ И ИЗУЧЕНИЯ АЭ ПРИ ТРЕНИИ



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- 20 битный встроенный энкодер (1 280 000 имп/об)
- Напряжение питания ~ 220 В.
- Номинальная мощность 3,0 кВт.
- Максимальный момент 42 Нм.
- Максимальная скорость 3000 об/мин
- Масса 18,5 кг
- Степень вибрации 15 мкм
- Рабочая $t^{\circ}\text{C}$ 0-40
- Управление через порты USB 1.1, RS232, RS485

ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ:

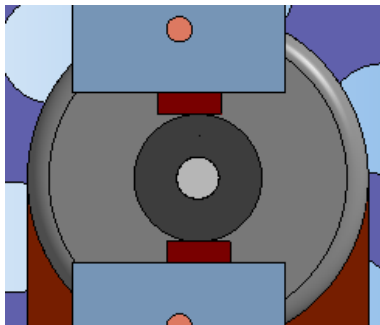
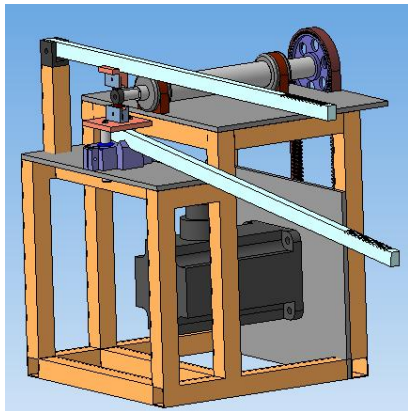
- Позиционирование вала по углу
- Позиционирование по оборотам
- Управление моментом при пуске
- Управление скоростью вращения вала
- Работа двигателя через реверс
- Высокая динамика переключения (от -3000 до +3000 об/мин за 10мс – без нагрузки)
- Подавления низкочастотной вибрации

ИЗМЕРЯЕТ И ЗАПИСЫВАЕТ:

- Суммарное число оборотов
- Частоту вращения вала
- Угловое положение вала
- Крутящий момент на валу двигателя

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ МАШИНЫ ТРЕНИЯ Пониженной шумности для АПРОБАЦИИ МЕТОДИК АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АЭ И ИЗУЧЕНИЯ АЭ ПРИ ТРЕНИИ

Трибомодуль 1
«ролик-пластина»



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАШИНЫ ТРЕНИЯ С МОДУЛЕМ 1:

- Размер образцов: ролик тах $\varnothing 50 \times H15$ мм
- Размер образцов: пластина тах $L100 \times Z30 \times H15$ мм
- Частота вращения: тах 3000 об/мин
- Мощность установки: тах 4,5-5,5 кВт
- Крутящий момент 42-90 Нм.
- Нагрузка на верхний образец: тах 300 кгс (3000Н)
- Нагрузка на нижний образец: тах 100 кгс (1000Н)

Планируется:

- Смазка образцов: капельная, окунанием, подача под давлением
- Нагрев образцов и смазочного материала

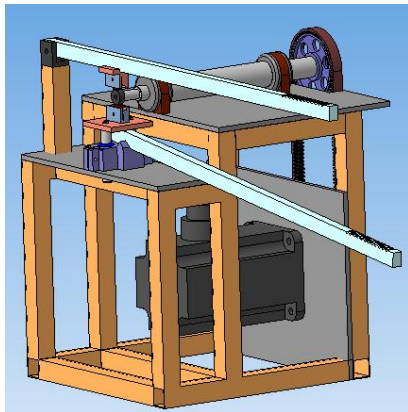
ИЗМЕРЯЕТ И ЗАПИСЫВАЕТ

- Суммарное число оборотов ролика
- Частоту вращения ролика
- Угловое положение ролика
- Крутящий момент
- Усилие прижима образцов
- Температуру пластин
- Температуру масла
- Сигналы АЭ с пластин
- Износ образцов (по перемещению пластин)
- Момент / сила трения

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДУЛЬНОЙ МАШИНЫ ТРЕНИЯ Пониженной шумности для АПРОБАЦИИ МЕТОДИК АНАЛИЗА СИГНАЛОВ АЭ И ИЗУЧЕНИЯ АЭ ПРИ ТРЕНИИ

Возможные направления применения модульной машины трения:

Трибомодуль 1
«ролик-пластина»



СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ В РАМКАХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ

- для исследования процессов трения и изнашивания различных материалов
- для исследования смазочных материалов
- для исследования АЭ при трении и изнашивании

СТАНДАРТИЗОВАННЫЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ В РАМКАХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ, например

- ГОСТ 23.204-78
- ГОСТ 23.216-84
- РД 50-339-82
- ASTM G-77-98
- ASTM G-137-97
- ASTM G-83-96 и др.



ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ «ФИЗИКА ПРОЧНОСТИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

Растегаев Игорь Анатольевич

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

Лаборатория «Физика прочности и интеллектуальные диагностические системы»

20 октября 2011 г.