Навстречу 300-летию Российской академии наук

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Российская Академия Наук

ИМАШ РАН 85

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Москва, 2023













ИНСТИТУТ МАШИНОВЕДЕНИЯ им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН) создан в 1938 г., входит в состав Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления Российской академии наук и является ведущим научным центром, решающим фундаментальные научные проблемы машиноведения.

Разработки ИМАШ РАН известны и признаны во всем мире. Результаты фундаментальных исследований Института на протяжении всей его истории составляли основу развития и совершенствования отечественного машиностроения в авиационно-космической технике, станкостроении, автомобилестроении, энергетике, в том числе атомной, нефтяной, нефтехимической и других отраслях промышленности.

Одним из основателей Института машиноведения и его первым директором был академик Евгений Алексеевич Чудаков. В дальнейшем Институт возглавляли академики Анатолий Аркадьевич Благонравов и Константин Васильевич Фролов.

В 2008 году ИМАШ РАН возглавил академик Ривнер Фазылович Ганиев, под руководством которого была проведена масштабная реорганизация Института в целях концентрации и объединения его научного потенциала на решении фундаментальных проблем машиноведения и волновой механики. В результате реорганизации в состав ИМАШ РАН вошел Научный центр нелинейной волновой механики и технологии РАН (НЦ НВМТ РАН), была укрупнена тематика отделов, созданы 3 новых отдела: «Конструкционное материаловедение», «Виброакустика машин», «Теоретическая и прикладная акустика», – нацеленные на решение принципиально новых фундаментальных и прикладных проблем, значительно омоложен исследовательский состав, создано опытное производство.

С 1 декабря 2015 года директором Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН назначен доктор технических наук, доктор философских наук, профессор В.А. Глазунов.

Основными научными направлениями ИМАШ РАН являются:

- теория машин и механизмов и управление машинами, анализ и синтез машинных, биомеханических, робототехнических и мехатронных комплексов;
- теория безопасности, ресурса, надежности, живучести, прочности машин и сложных технических систем;
- динамика машин, вибрационные и волновые процессы, виброакустика машин и конструкций;
- проблемы трибологии, повышение износостойкости и снижение энергетических потерь в машинах и оборудовании;
- конструкционное материаловедение, проблемы использования наноматериалов и нанотехнологий для объектов машиностроения;
- научные основы комплексных проблем машиноведения для объектов гражданского и оборонного назначения;
- нелинейная волновая механика многофазных систем, научные основы волновых технологий, волновых машин и аппаратов;
- вибронадежность и бесшумность гидромеханических систем и технических объектов;
- теория машиностроительного производства и новые технологии в машиностроении.

Реализованный комплекс мероприятий позволяет выполнять научные исследования и разработки на высоком мировом уровне. По итогам проведенной оценки результативности деятельности научных организаций Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН отнесен к научным организациям I категории.

РУКОВОДИТЕЛИ ИМАШ РАН

1890



1953

Академик

ЕВГЕНИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ ЧУДАКОВ

Основатель и первый директор Института машиноведения (с 1938 г. по 1953 г.) — известный ученый в области машиноведения и автомобильной техники, дважды Лауреат Сталинской премии, вице-президент АН СССР. Евгений Алексеевич многие годы возглавлял различные научные учреждения и многое сделал для становления и развития основных направлений отечественной науки о машинах. Под его руководством в Институте была реализована стратегия опережающего развития машиноведения как основополагающей науки о машинах для решения первоочередных задач отечественного машиностроения гражданского и оборонного назначения.

РУКОВОДИТЕЛИ ИМАШ РАН

1894



1975

Академик

АНАТОЛИЙ АРКАДЬЕВИЧ БЛАГОНРАВОВ

Директор Института машиноведения с 1954 г. по 1975 г., известный ученый-механик (баллистик), дважды Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской и Сталинской премий, генерал-лейтенант артиллерии, академик-секретарь Отделения технических наук, председатель Комиссии по исследованиям космического пространства при Президиуме АН СССР. При А.А. Благонравове ИМАШ сохранил направленность фундаментальных исследований и продолжил дальнейшее развитие машиноведения в новых исторических условиях становления атомного и ракетно-космического машиностроения, широкой автоматизации, роботизации и информатизации промышленного производства.

РУКОВОДИТЕЛИ ИМАШ РАН

1932



2007

Академик

КОНСТАНТИН ВАСИЛЬЕВИЧ ФРОЛОВ

Герой Социалистического Труда, известный ученый-механик, создатель ряда научных направлений в прикладной механике и машиноведении, получивших широкое признание в России и за рубежом. Константин Васильевич был вице-президентом АН СССР и Российской академии наук, академиком-секретарем Отделения машиностроения, механики и процессов управления. Более 30 лет (1975—2007 гг.) К.В. Фролов возглавлял Институт машиноведения им. А.А. Благонравова. В эти годы ИМАШ подтвердил высокий потенциал ведущего научного центра машиностроительной промышленности страны, расширил исследования по современным проблемам машиноведения. К.В. Фролов награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» III и II степени, двумя орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени и многими медалями. К.В. Фролов – лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР, двух премий Совета Министров СССР и ряда других премий. К.В. Фролов автор более 400 научных работ, в том числе 44 монографий и сборников, более 30 патентов.

РУКОВОДИТЕЛИ ИМАШ РАН



Академик

РИВНЕР ФАЗЫЛОВИЧ ГАНИЕВ

Научный руководитель Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН (директор Научного центра нелинейной волновой механики и технологии РАН с 1995 года по 2008 год, директор ИМАШ РАН с 2008 года по 2015 год), заведующий кафедрой инженерной механики и прикладной математики Механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, известный ученый в области теории колебаний, прикладной математики, нелинейной механики и машиностроения, лауреат Премии Правительства РФ в области науки и техники.

Под руководством академика Р.Ф. Ганиева проведена масштабная реорганизация Института, позволившая сконцентрировать и объединить его научный потенциал на решении фундаментальных проблем машиноведения и волновой механики, выполнены крупные фундаментальные и прикладные исследования в области динамики машин и аппаратов, в том числе авиации, в ракетно-космической технике, теории нелинейных колебаний, волновых и вибрационных процессов.

Академик Р.Ф. Ганиев — создатель новой области механики — нелинейной волновой механики, а также научных основ нового перспективного направления - волнового машиностроения и волновых технологий, предназначенных для интенсификации технологических процессов в различных отраслях промышленности: машиностроении, материаловедении (в частности, получение композитных материалов), нефтегазовой промышленности (бурении, добычи, переработки и транспортировки нефти и газоконденсата), медицинской технике, химических технологиях и др. Р.Ф. Ганиев награжден Орденом Почета, орденами «За заслуги перед Отечеством» III и IV степени, Орденом Александра Невского и многими медалями, он автор более 500 научных работ, в том числе 27 монографий, более 150 изобретений и патентов; им подготовлено более 70 кандидатов наук и 30 докторов наук.

ДИРЕКЦИЯ ИМАШ РАН

Д.т.н., д. филос. н., профессор,
Заслуженный деятель науки
Российской Федерации

ВИКТОР АРКАДЬЕВИЧ ГЛАЗУНОВ



Директор Института машиноведения им. А.А. Благонравова РАН с 2015 г., заведующий отделом механики машин и управления машинами, специалист в области теории механизмов и машин, управления машинами, кинематики и динамики робототехнических систем. Является заместителем председателя Научного совета РАН по машиностроению и Российского национального комитета по теории машин и механизмов, профессором МГТУ им. Баумана. Под его руководством разработаны новые схемы механизмов для различных областей техники: для испытаний моделей аэрокосмических систем в аэродинамической трубе, для сверхточного манипулирования в вакууме, для измерительно-диагностических систем роботов, для испытательных стендов автомобилей, для роботизированных хирургических операций, для обучающих систем-тренажёров. Опубликовано более 400 научных работ, в том числе 12 монографий, около 100 изобретений и патентов; подготовлено 17 кандидатов наук и 5 докторов наук.

ДИРЕКЦИЯ ИМАШ РАН



Заместитель директора
по научной работе, д.т.н., проф.
Михаил Николаевич
ЕРОФЕЕВ



Учёный секретарь, к.т.н.
Владимир Федорович
ЮДКИН



Заместитель директора по
научной работе, д.т.н.
Глеб Сергеевич
ФИЛИППОВ



Начальник отдела кадров –
заместитель директора
по управлению персоналом
Эдуард Николаевич
ПЕТЮКОВ



Заместитель директора
по общим вопросам
Иван Дмитриевич
КИРЕЕВ



Главный инженер
Игорь Леонидович
СМИРНОВ

НЕЛИНЕЙНАЯ ВОЛНОВАЯ МЕХАНИКА И ТЕХНОЛОГИИ

Основатель научной школы



Академик
Ривнер Фазылович
ГАНИЕВ

Под руководством академика Ганиева Р.Ф. разработана нелинейная волновая механика – новая область механики, являющаяся научной основой прорывных технологий. При этом установлен целый класс волновых явлений и эффектов, реализующихся в условиях нелинейных резонансов.

Эти явления и эффекты положены в основу так называемых волновых технологий, которые проверены как в лабораторных, так и в промышленных условиях.

Волновые технологии являются российским приоритетом и широко внедряются в различных отраслях промышленности как в России, так и за рубежом.



НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ИМАШ РАН



Член-корреспондент РАН
Олег Ривнерович ГАНИЕВ

Директор

Известный ученый в области теоретической и прикладной механики, теории нелинейных колебаний многофазных систем, динамики жидкости и газа. Автор более 120 научных публикаций, в том числе 3 монографии, 32 авторских свидетельства или патентов (в том числе зарубежных).

Заместитель директора

Крупный ученый в области нелинейной механики и динамики, заслуженный деятель науки Российской Федерации, автор более 170 научных работ, в том числе 20 патентов, из них 4 международных, 14 монографий, 2 из которых переведены на английский язык и изданы в США и Канаде.



Член-корреспондент РАН
Леонид Ефимович УКРАИНСКИЙ

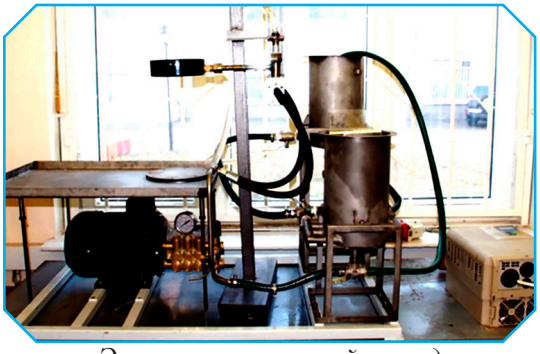
Нелинейная волновая механика и волновые технологии

Отправной базовой научной основой является разработанная в ИМАШ РАН нелинейная волновая механика, являющаяся частью приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в РФ. В процессе разработки этой новой области нелинейной механики открыт ряд новых нелинейных волновых и колебательных явлений и эффектов, которые положены в основу волновых технологий, получивших широкое распространение в России и за рубежом.

В настоящее время Центр осуществляет исследования как в области дальнейшего развития научных основ нелинейной волновой механики, так и в направлении расширения возможностей ее практического использования на стыке физики и химии:

- **волновая механохимия;**
- **нелинейная волноводная микро- и макромеханика пористых сред, в том числе в нефтегазовых пластах;**
- **волновая и волноводная микро-гидромеханика.**

На основе вышеуказанных научных направлений осуществляется разработка новых технологических процессов, машин и аппаратов, опережающих в ряде случаев мировой уровень машиностроения.



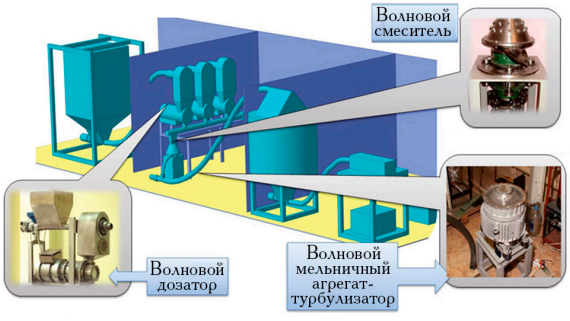
Экспериментальный стенд по исследованию процессов перемешивания в кавитационно-волновых генераторах



Экспериментальный стенд по изучению проблем волнового измельчения сыпучих материалов в вихревых газовых потоках



Гидродинамические генераторы колебаний и волн

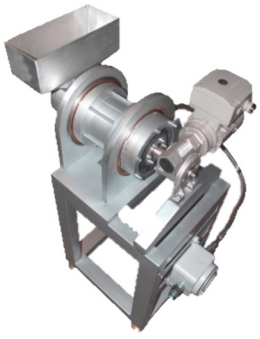


Автоматизированная линия по производству сухих многокомпонентных смесей на волновых принципах

Волновые машины и аппараты электромагнитного принципа действия (типовые узлы)



Установка для волновой обработки вязких и высоковязких сред в порционном режиме



Волновой дозатор сыпучих материалов



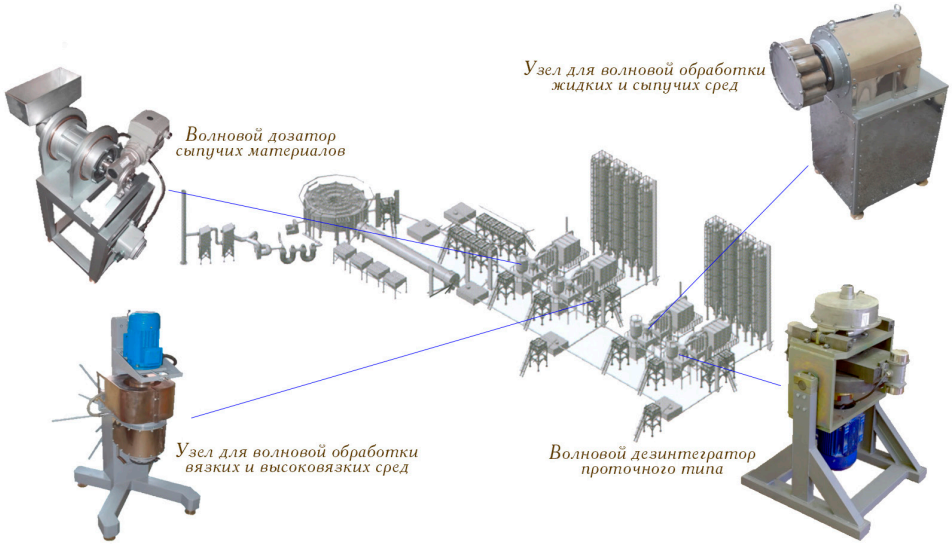
Установка для волновой обработки жидких и сыпучих сред



Роторно-волновой измельчитель сыпучих материалов

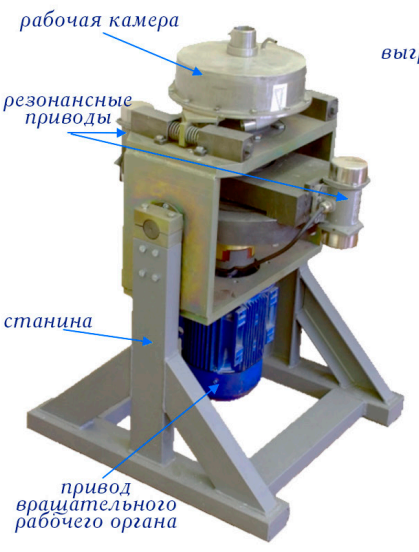
Технологическая линия волновой обработки сухих смесей, эмульсий и суспензий с применением типовых волновых установок

- Тонкое и сверхтонкое измельчение (мкм и нм)
- Механическая активация материала (в том числе тонкодисперсного)
- Идеальное смешение сыпучих материалов с жидкостями, в том числе высоковязкими
- Равномерное распределение малых добавок и их активация
- Дозирование

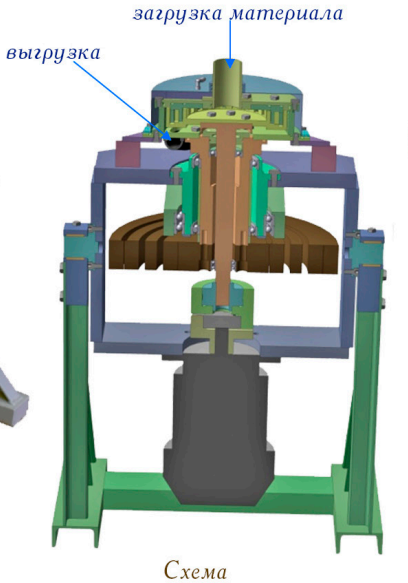


Одна из типовых схем модернизации завода по производству сухих порошкообразных и вязких строительных материалов с применением волновых узлов

Волновые смесители и волновые мельницы электромагнитного принципа действия (отдельные узлы)



Общий вид



Схема

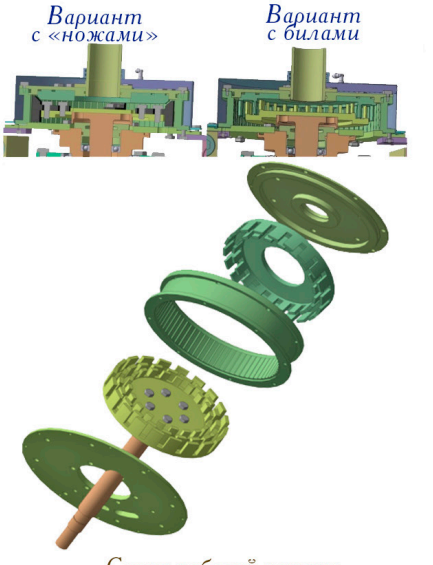


Схема рабочей камеры

Волновая мельница (дезинтегратор)



Волновой аппарат для смешения высоковязких сред и «мокрого» измельчения различных материалов



Волновой смеситель-активатор проточного типа для обработки сыпучих материалов



Волновой смеситель жидких маловязких сред в порционном режиме

Волновые смесители

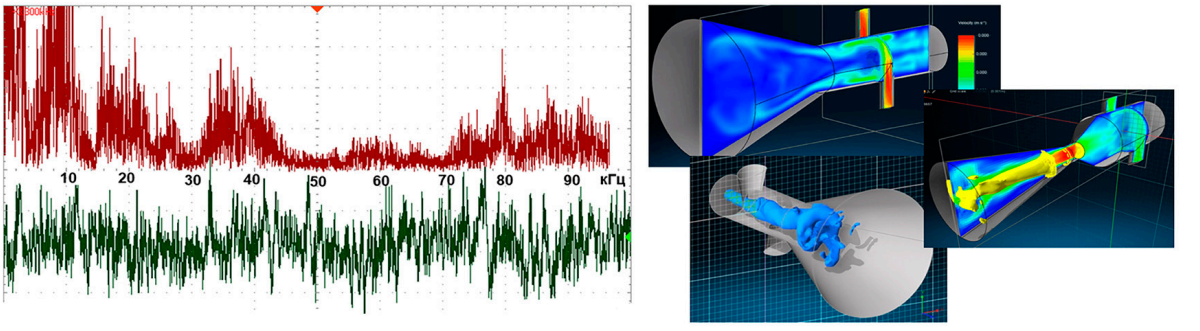
Кавитационно-волновые машины и гидродинамические генераторы



Лабораторные установки для кавитационно-волновой обработки жидких сред (тонкое и сверхтонкое измельчение, смешение и диспергирование суспензий и эмульсий)

Волновые генераторы гидродинамических волновых аппаратов





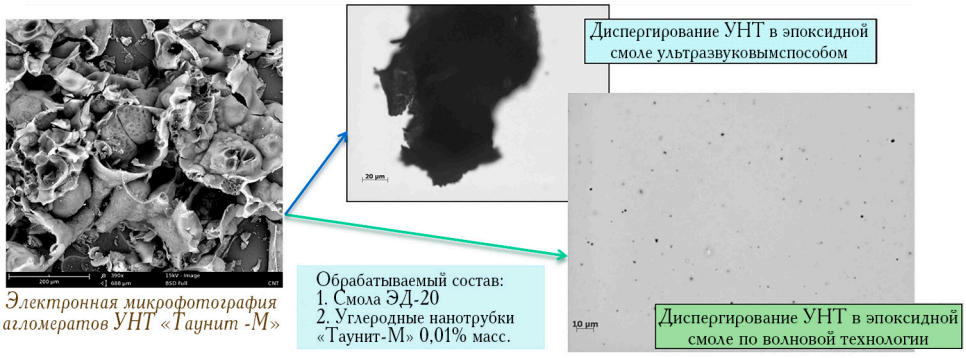
Общий вид типовых лабораторных управляемых кавитационно-волновых аппаратов и их амплитудно-частотный спектр (ширина спектра до 100 *кГц при амплитудах порядка* 70 *атм.)*

Разрабатываются технологические линии для различных отраслей промышленности

Результаты испытаний диспергирования углеродных нанотрубок в эпоксидной смоле ЭД-20 (основа авиационного клея ВК-47)

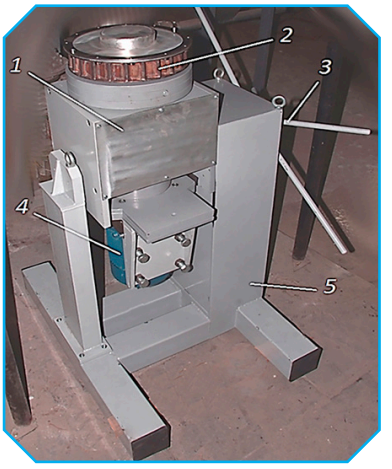
1. Произведено диспергирование 0.01 % углеродных нанотрубок (УНТ) в составе клеевой композиции. Достигнуто повышение механических характеристик клея, сопоставимое с полученной при ультразвуковом диспергировании с 200 раз большей концентрации УНТ, что важно с экономической точки зрения.

2. Полученные оптические и электронные микрофотографии подтверждают высокое качество волнового диспергирования агломератов, формируемых УНТ в свободном состоянии. Видно, что размер агломератов при волновом диспергировании уменьшается в ~10^3 – 10^4 раз при равномерном распределении в объеме клея по сравнению с ультразвуковым диспергированием.



Электронная микрофотография агломератов УНТ «Таунит -М»

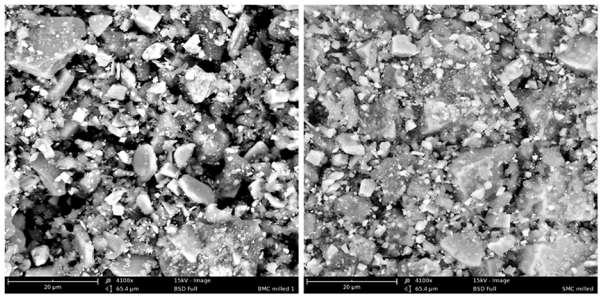
Результаты испытаний измельчения отходов производства стеклонаполненных прессматериалов



Волновой мельничный агрегат РВМ-ПК
1 – узел волнового электромеханического генератора колебаний;
2 – размольная камера;
3 – узел поворота и фиксации;
4 – электропривод ротора; 5 – остов

Не менее 70 масс. % частиц имеет размеры менее 100 мкм, а доля крупных частиц свыше 200 мкм не превышает 2-3 масс. %. Все отпрессованные образцы BMC материала введением в его состав измельченных волновым способом фракций SMC/BMC компаундов показали необходимый качественный уровень.

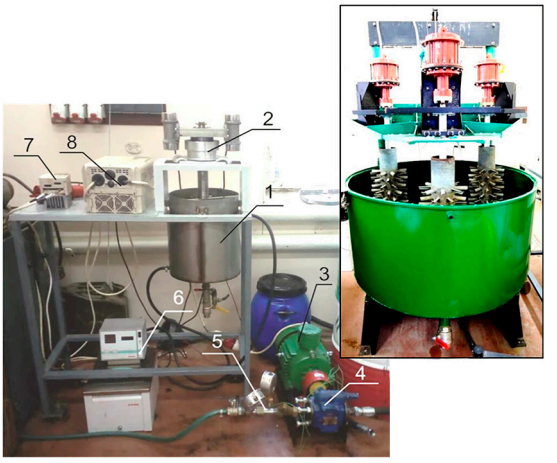
Результаты испытаний позволяют приступить к выпуску мельничного агрегата для линий тонкого волнового измельчения стеклонаполненных материалов.



Электронные микрофотографии помола BMC (слева) и SMC (справа)

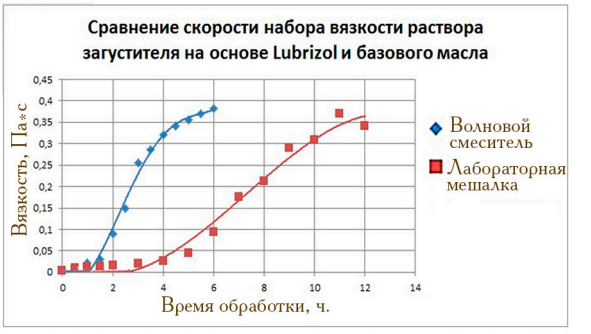
Испытания установок по волновому смешению жидких нефтепродуктов и присадок для узлов приготовления моторных масел

Общий вид установки волнового смешивания объемом до 1 м³



Экспериментальный стенд проточного типа:
1 - рабочая емкость;
2 - волновой смеситель СВ-5;
3 - электродвигатель насоса; 4 - насос;
5 - волновой генератор; 6 - термостат;
7 - управление смесителем;
8 - управление насосом

На основании проведенных испытаний в промышленной лаборатории было определено, что образцы масла, полученные по волновой технологии, полностью удовлетворяют требованиям, предъявляемым к маслу, получаемому промышленным способом.

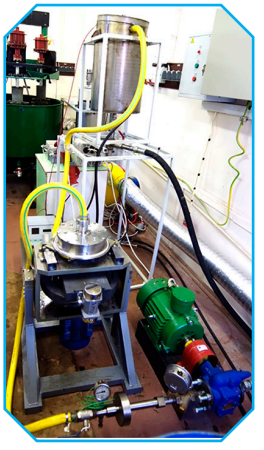


Экспериментально показано, что волновое перемешивание сокращает время приготовления загущающей присадки примерно в 2–2.5 раза

Переход на волновую технологию обеспечит существенное сокращение технологического времени, производственных площадей и затрат на обслуживание оборудования.

Разработана высокопроизводительная (4х-кратное увеличение производительности по сравнению с промышленной технологией) полупромышленная линия получения моторных масел

Результаты испытаний кавитационно-волновых аппаратов для снижения вязкости сверхвязкой нефти



Лабораторный стенд для кавитационно-волновой обработки сверхвязкой нефти

Разработаны и испытаны конструкции кавитационно-волновых смесителей, обеспечивающих снижения вязкости СВН при одновременном снижении асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на стенках трубопроводов и нефтяном оборудовании.

Показана возможность:

• снижения вязкости смеси СВН с карбоновой нефтью порядка 10 % по сравнению с традиционными перемешивающими устройствами и дополнительное прямое уменьшение динамической вязкости СВН при волновой обработке до 15 %; также имеет место попутный нагрев транспортируемой нефти и уменьшение АСПО;

• экономии дорогостоящих добавок за счет волнового смешивания порядка 10 %, дополнительное прямое снижение вязкости СВН до 15 % и снижение вязкости за счет добавок на 50 %, этот процесс также сопровождается дополнительным подогревом нефти и уменьшением АСПО на стенках трубопроводов.

Рассматриваются предложения нефтяных компаний по созданию промышленной установки.

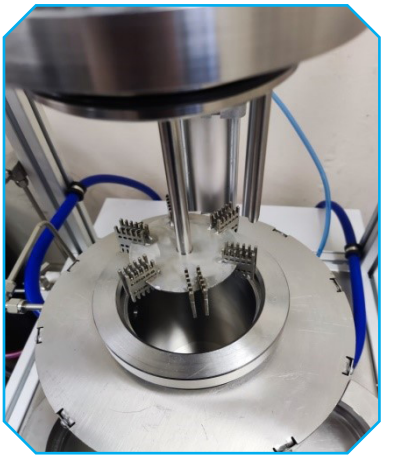
Результаты испытаний волновых аппаратов для повышения эффективности приготовления смешанных видов моторных топлив

Испытаны волновые диспергаторы, позволяющие получить устойчивую гомогенную смесь биоойла в нефтяном моторном топливе.





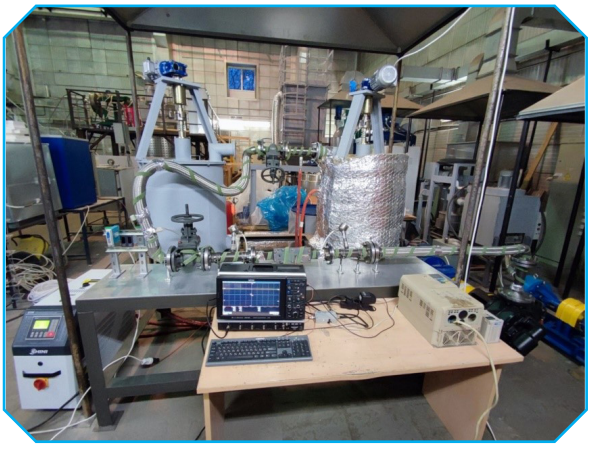




Общий вид экспериментального оборудования

Установлено, что волновые гомогенизаторы позволяют получать эмульсионные топлива с концентрацией биоойла в судовом нефтяном топливе до 15 % масс. с устойчивостью к расслоению до 3 месяцев и устойчивые смесевые эмульсионные топлива с концентрацией биоойла в мазуте до 50 % масс. Степень дисперсности эмульсии, полученной на волновых аппаратах (менее 1 мкм) существенно выше, по сравнению с достигаемой на традиционных коллоидных мельницах и диспергарторах.

Результаты испытаний кавитационно-волновых диспергаторов для повышения эффективности производства дорожных битумов



Показана эффективность использования кавитационно-волновых аппаратов в производстве резиномодифицированных битумов.

При кавитационно-волновом смешении резиновой крошки с битумом удельные энергозатраты на 30-35% меньше, чем при технологии, основанной на использовании традиционных коллоидных мельниц.

Общий вид экспериментального стенда

Результаты испытания модернизованной волновой валковой мельницы для повышения эффективности измельчения нефтяного кокса



Общий вид разработанного агрегата с волновой валковой мельницей: 1 – корпус мельницы с приводом помольной тарелки,столом установки валков и гидроцилиндрами прижима валков; 2 – валки с приводами колебаний (4 шт.); 3 – сепаратор; 4 – гидростанция; 5 – щит управления гидростанцией; 6 – щит управления приводами колебаний валков; 7 – блок циклонов 4хЦН-15; 8 – фильтр тонкой очистки ШВ(Р)-3 с компрессором; 9 – пылевой вентилятор ВРП 01-4.0; 10 – питатель подачи материала; 11 – частотные преобразователи управления приводом сеаратора, пылевого вентилятора, питателя

В НЦ реализован и испытан образец волновой валковой мельницы, позволяющий интенсифицировать процесс измельчения остаточных продуктов нефтеперерабатывающего производства с помощью волновых технологий.

На разработанном прототипе получены следующие основные результаты:

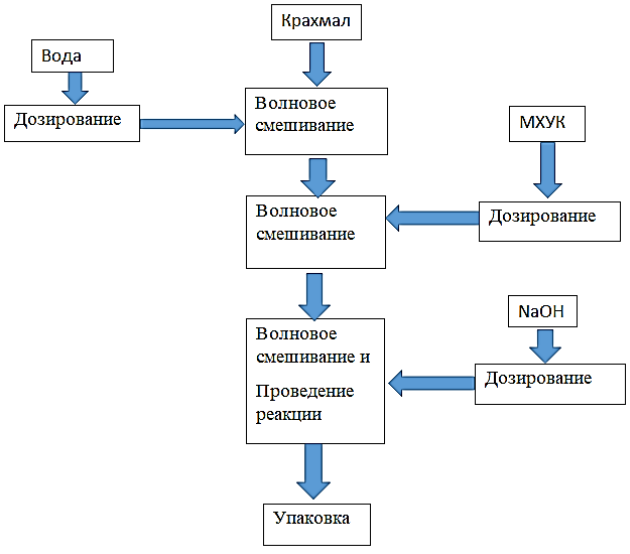
1. Достигнуто повышение производительности валковой мельницы на 38–63 % за счет введения дополнительных волновых приводов, устанавливаемых на валках. При этом общее энергопотребление комплекса валковой мельницы повышается лишь на 15.6–23 % соответственно.

2. Выявлено, что введение дополнительных колебаний позволяет снизить нагрузки на помольную тарелку, возникающие при попадании крупных кусков (даже превышающих максимально допустимый размер для этого типоразмера валков) и твердых конгломератов. При этом снижается нагрузка на привод помольной тарелки, что, в частности, позволило работать на более высоком усилии прижима валков без возникновения заклиниваний помольной тарелки.

3. Выявлено, что повышение производительности за счет применения волновых технологий не влияет на итоговый дисперсный состав.

Модернизированная волновая валковая мельница сокращает затраты электроэнергии на измельчение нефтяного кокса для ТЭЦ ориентировочно на 23– 40 % в случае сравнения с классическими валковыми мельницами и 62–70 % в случае сравнения с шаровыми мельницами.

Результаты применения волновых смесителей для реализации «сухого» способа получения модифицированного крахмала



Технологическая схема производства карбоксиметилированного крахмала сухим волновым способом

В НЦ разработан инновационный волновой «сухой» способ получения катионированых и карбоксиметилированных крахмалов, который позволяет сократить производственный цикл, энергозатраты, сброс сточных вод, что существенно улучшает экологические и экономические показатели производства.

Внедрение данной технологии в перерабатывающие отрасли сельского хозяйства, в том числе для глубокой переработки зерна, откроет дополнительные широкие перспективы и для развития волнового машиностроения.

В настоящее время выполняется проект по созданию модульной пилотной промышленной линии получения модифицированных крахмалов по волновой технологии.

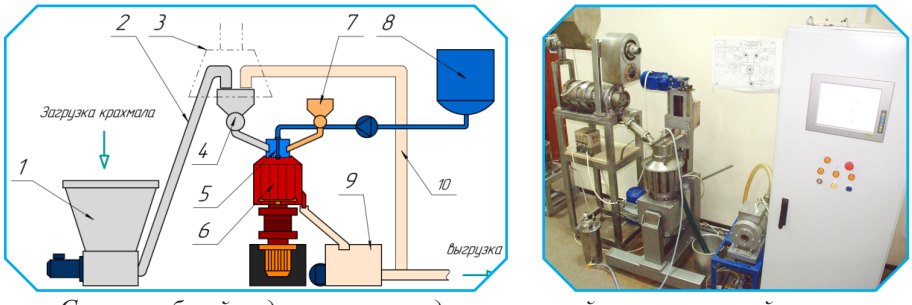
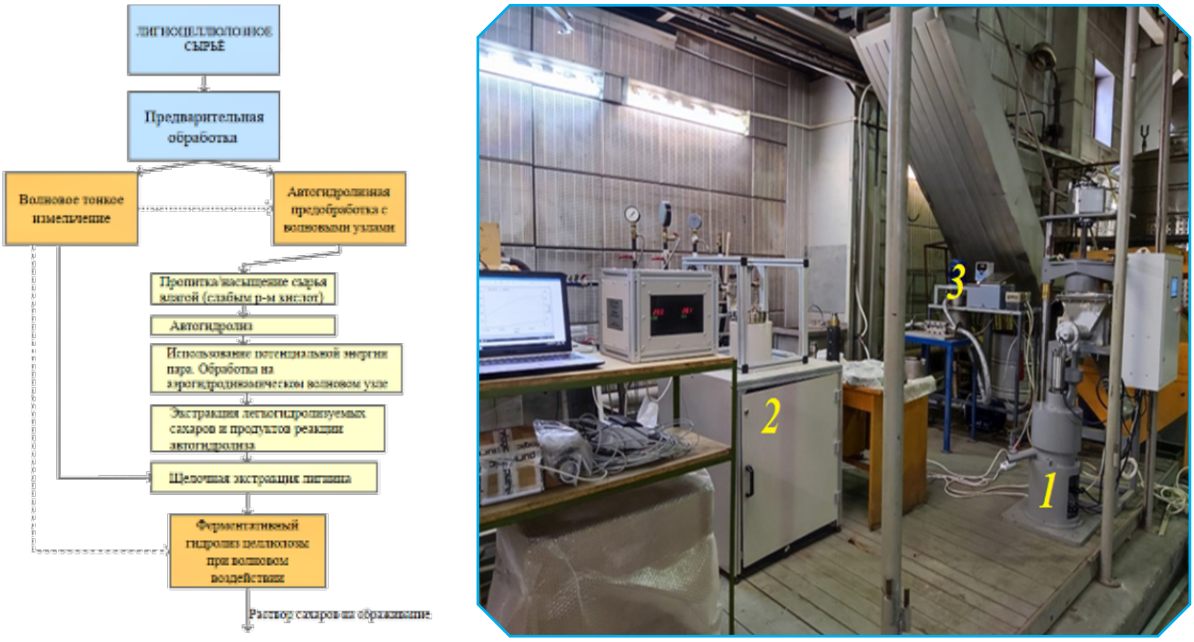


Схема и общий вид волнового модуля пилотной промышленной линии:
1 – станция разгрузки мешков с системой подачи в дозатор; 2 – шнек подачи крахмала в дозатор; 3 – зонт системы аспирации; 4 – волновой дозатор сыпучих компонентов; 5 – неподвижный узел ввода реакционной среды в волновой реактор; 6 – волновой реактор; 7 – дозатор сыпучих реагентов; 8 – узел подготовки и дозирования жидких к омпонентов; 9 – накопитель промежуточных продуктов; 10 – линия рециркуляции

Применение волновой техники для интенсификации процессов гидролиза сырья при производстве биоэтанола

В НЦ создан и успешно испытан экспериментальных стенд, включающий гидродинамическую волновую линию, роторно-волновой мельничный аппарат тонкого измельчения лигноцеллюлозного сырья (ЛЦС) и установку взрывного автогидролиза с волновыми узлами пропитки и измельчения биомассы.



Блок-схема процессов обработки и гидролиза ЛЦС с применением волновых машин и аппаратов и и общий вид экспериментального стенда:
1 – роторно-волновой мельничный аппарат тонкого измельчения лигноцеллюлозного сырья;
2 – установка взрывного автогидролиза с волновыми узлами пропитки/насыщения влагой (реагентами) и измельчения автогидролизованной биомассы; 3 – гидродинамическая волновая линия для исследования ферментативного гидролиза при волновых воздействиях

В результате исследований выяснено, что тонкий волновой помол биомассы увеличивает выход сахаров при ферментативном гидролизе в 2.5–3 раза по сравнению с необработанным материалом; автогидролиз в комбинации с волновыми узлами и волновой метод активации ферментативного гидролиза путем обработки суспензии субстрата в растворе ферментов на гидродинамическом проточном кавитационно-волновом аппарате позволяет повысить как скорость, так и степень конверсии биомассы. Например, показано, что степень конверсии соломы мискантуса достигает 66.5 % по сухому веществу (или 91.1 % от теоретического выхода сахаров).

В настоящее время выполняются проекты по промышленному масштабированию результатов лабораторных исследований.

Генераторы волн для создания качественных тампонажных растворов для обеспечения герметичности заколонного пространства скважин

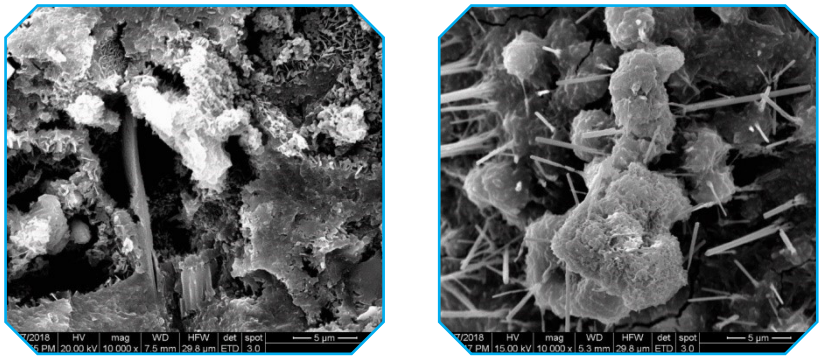
В НЦ разработаны и проведены промышленные испытания волновых генераторов с закрученным течением жидкости.

По результатам экспериментов показано, что после непродолжительной (до 10 минут) обработки тампонажного раствора (при прокачивании его через волновой

генератор), существенно улучшаются его основные технологические характеристики:

- прокачиваемость увеличивается на 15 %,
- седиментационная устойчивость повышается в два раза,
- сроки твердения снижаются на 20 %,
- прочность цементного камня повышается на 25 %.

Микроструктура цементного камня



без волновой обработки *после волновой обработки*

Ударно-волновые генераторы для воздействия на пласт

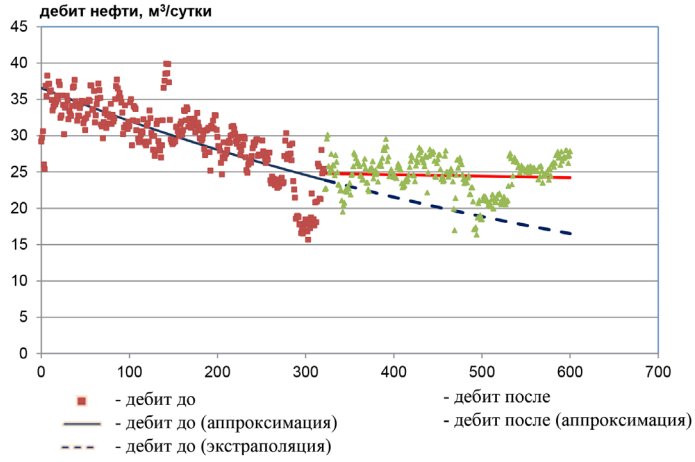
В НЦ создан целый ряд ударно-волновых генераторов. Они являются источником мощных волн давления, которые распространяются по жидкости и по скелету горной породы, проникая глубоко в пласт.

Силы, возникающие во время прохождения волны и действующие на флюид, могут значительно превышать силы, существующие при стационарной фильтрации. При вытеснении нефти водой часть углеводородов может удерживаться капиллярными силами в сужениях поровых каналов, если вытесняющие силы малы. Дополнительные силы, приложенные к флюидам и стенкам пор, способствуют извлечению углеводородов из таких ловушек.

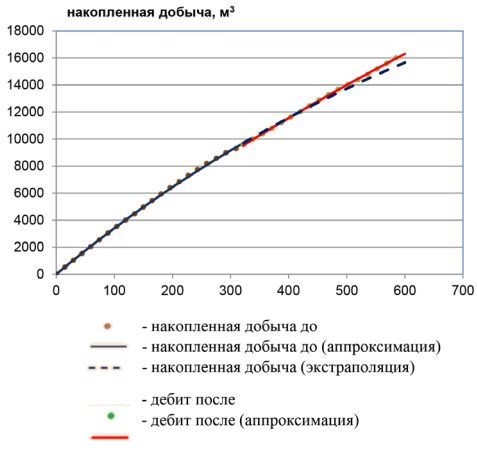
В результате, ударно-волновое воздействие приводит к увеличению нефтеотдачи в обводненных неоднородных пластах при наличии содержащих углеводороды малопроницаемых пропластков.

Для проведения испытаний ударно-волновой генератор был внедрен на колонне насосно-компрессорных труб в специально выбранную скважину с низким дебитом и размещен на уровне продуктивного пласта. Опытный участок, на котором проходили испытания, включал в себя скважины, забои которых были расположены в радиусе 500 метров от скважины с генератором. На этих скважинах были установлены индивидуальные приборы замеров дебита, обводненности и забойного давления. Также в течение времени испытаний на этих скважинах не проводилось никаких других работ по стимуляции притока и повышения нефтеотдачи пласта. В течение года проводилось наблюдение за скважинами опытного участка в отсутствии волнового воздействия, а затем еще 8 месяцев с таковым.

Для месторождений, разрабатываемых продолжительное время характерно снижение дебитов нефти и снижение скорости роста накопленной добычи. Снижение темпов падения дебита и ускорение роста накопленной добычи свидетельствует об эффективности примененного воздействия.



Суточный суммарный дебит нефти скважин опытного участка до и после начала волновой обработки



Накопленная добыча нефти по участку до и после начала волновой обработки

Ударно-волновое воздействие на пласт вызвало значительное уменьшение темпа падения дебита, темп роста накопленной добычи нефти увеличился.

Волновая обработка призабойной зоны скважин с использованием гибких насосно-компрессорных труб (ГНКТ)



Схема оборудования для волновой обработки призабойной зоны добывающей скважины

При проведении волновой обработки в добывающих скважинах волновой генератор, закрепленный на конце ГНКТ, опускается на уровень продуктивного пласта в зазоре между обсадной колонной и колонной насосно-компрессорных труб (НКТ), при этом нет необходимости подъема на поверхность глубинного насосного оборудования, колонны насосно-компрессорных труб и штанговой колонны. В нагнетательных скважинах спуск генератора можно осуществить внутри колонны НКТ.

За счет сокращения время проведения обработки, снижения количества спуско-подъемных операций внедрение новой технологии позволяет существенно увеличить экономическую эффективность волновых обработок.

Следующие результаты были получены в ходе проведения исследований:

• разработана методика расчетов генераторов на основе трубки Вентури ;

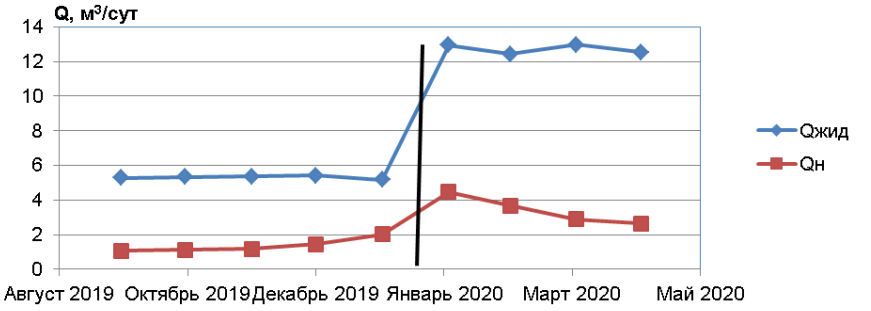
• создан экспериментальный стенд, имитирующий скважинные условия, на котором проведены натурные испытания моделей генераторов;

• разработано несколько вариантов реализации волновой технологии обработки призабойной зоны пласта, с учетом особенностей скважины;

• разработаны конструкции волновых генераторов и технологической обвязки

• разработана измерительная техника для мониторинга волновых процессов во время проведения волновых обработок;

• проведены опытно-промышленные испытания.



Дебит добывающей скважины (Qжид – по жидкости, Qн – по нефти) до и после обработки (вертикальная черта)

Генераторы волн для улучшения характеристик буровых долот

В НЦ разработаны и испытаны в промысловых условиях различные конструкции волновых генераторов для буровых долот, позволяющих повысить основные эксплуатационные характеристики бурового оборудования: скорость бурения, очистку забоя и создания кольматационного экрана. В опытной скважине была достигнута существенно более высокая механическая скорость проходки – на 32.6 % выше, чем в соседней скважине в сравнимом интервале.



Общий вид долота с установленными волновыми генераторами

В целом, использование волновых генераторов, формирующих волновое поле в зоне работы долота, дает следующие преимущества:

• для ряда пород может повышается скорость проходки;

• кольматация ствола скважины улучшает качество цементирования и крепления скважины, снижается вероятность возникновения заколонных перетоков и риска не герметичности крепи скважины;

• меньшее количество бурового раствора и его фильтрата проникает в продуктивный пласт, что в результате обеспечивается лучшая продуктивность скважины;

• эффективность кольматации при воздействии волновым полем увеличивается на несколько порядков.

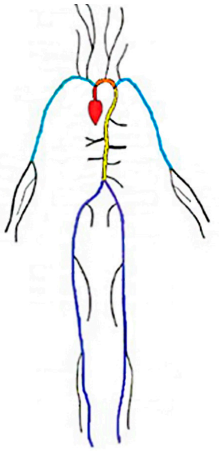
РАЗРАБОТКИ НЦ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ТЕХНИКИ

Компьютерное моделирование волновых процессов в системе крупных артерий

• Разработана математическая модель сердечно-сосудистой системы человека с учетом основ нелинейной волновой биомеханики

• Разработан аппаратно-программный комплекс для исследований формы и скорости распространения пульсовой волны в магистральных артериях

• Моделирование аортального дерева на основе обобщенной модели, включающей восходящую аорту, правые подключичную и плечевую артерии, дугу аорты, левые подключичную и плечевую артерии, аорты грудного и брюшного отделов.



• Моделирование волновых процессов на основе полномасштабной модели артериального дерева, включающей 55 крупных кровеносных сосудов.

Аппаратно-программный комплекс для анализа пульсовых волн

В НЦ создана уникальная аппаратура, позволяющая экспресс-методом (за 3-5 минут) провести обследование сердечно-сосудистой системы человека, определить гидродинамическую картину ее работы, проверить эластичность магистральных сосудов и получить другие характеристики.



Общий вид аппаратно-программного комплекса для анализа пульсовых волн в сосудах

Аппаратура с помощью специальной программы позволяет осуществить синтез пульсовой волны и измерение кровяного давления не только в периферийных сосудах, но и в аорте.

АПК содержит преимущественно отечественные комплектующие, по предварительным оценкам, ее стоимость при серийном изготовлении будет существенно ниже зарубежных аналогов. Основные технические решения, использованные при создании аппаратуры, запатентованы.

Разработанная диагностическая аппаратура может быть рекомендована к использованию в медицинских клиниках, в том числе отдаленных от центров медицинских учреждениях, воинских частях и др.

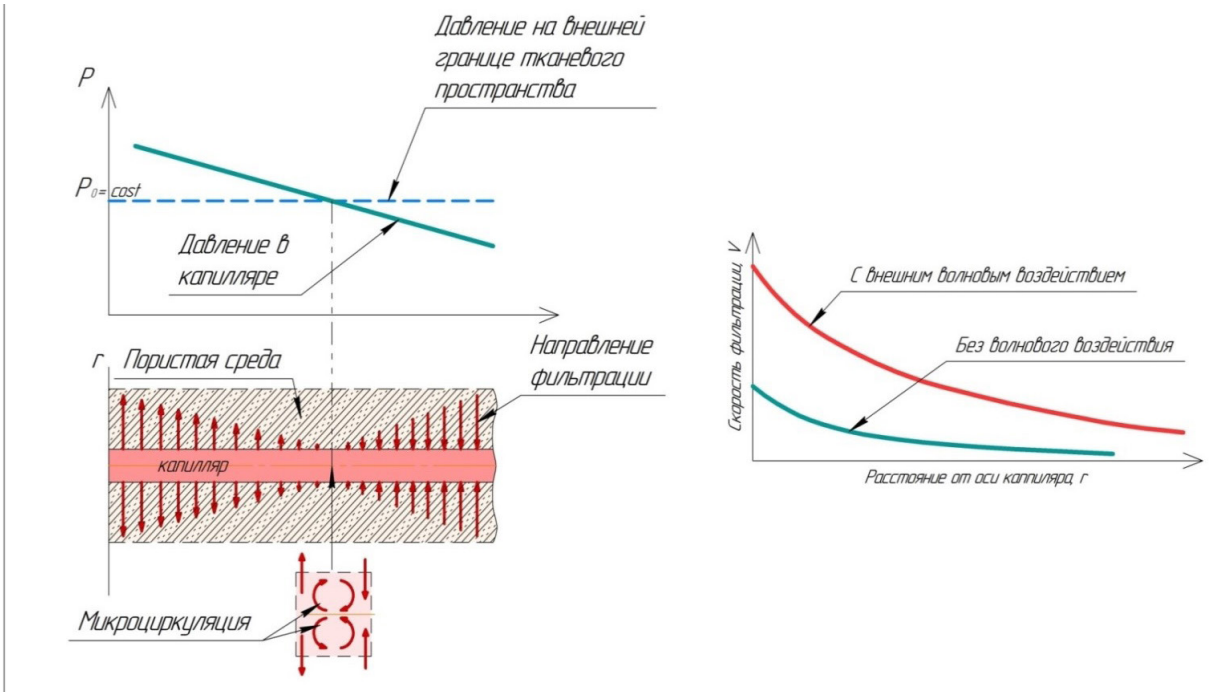
Работы развиваются в широком плане по разработке медицинской техники и для других областей медицины.

Эффект увеличения микроциркуляции и транс-капиллярного обмена благодаря волновым воздействиям

Транс-капиллярный обмен является одним из важнейших физиологических процессов в живых организмах. Он обеспечивает снабжение элементов мышечной ткани и других органов кислородом и другими веществами, присутствующими в крови, и эвакуацию их из ткани в кровеносную систему. Этот процесс происходит в форме микроциркуляции, происходящей в микрососудах (капиллярах с проницаемыми стенками) и окружающем их тканевом пространстве.

В результате теоретических исследований определено влияние внешнего волнового воздействия на фильтрацию жидкости из капилляров с проницаемыми стенками в окружающее поровое пространство и обратно. Установлены два механизма ускорения фильтрации. Первый из них обусловлен нелинейной связью между проницаемостью, окружающей капилляр, пористой среды и пористой поверхности капилляра с характеристиками волнового воздействия. Второй обусловлен синхронными и синфазными колебаниями

давления в капилляре и проницаемости в стенке капилляра и в окружающей капилляр пористой среде. Он проявляется только в резонансном случае, когда частоты колебаний давления в капилляре и проницаемости в пористой среде подчиняются определенным установленным зависимостям. Оба эффекта могут быть использованы для интенсификации транс-капиллярного обмена в медицине.



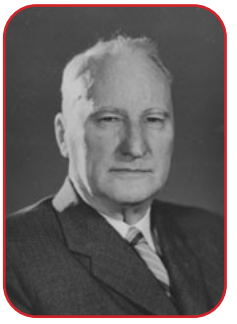
Практическая реализация установленного эффекта для нужд медицины возможна с помощью разработанных в последние годы гидродинамических массажеров, которые к настоящему времени уже запатентованы и проходят клинические испытания.

Механика машин и управление машинами

Основатели научных школ



Академик
Иван Иванович
АРТОБОЛЕВСКИЙ
1905–1977



Академик
Николай Григорьевич
БРУЕВИЧ
1896–1987



Д.т.н., профессор
Александр Филиппович
КРАЙНЕВ
1941–2011



Д.т.н., профессор
Арон Ефимович
КОБРИНСКИЙ
1915–1992

Заведующий отделом «Механика машин и управление машинами»



Заслуженный деятель науки Российской Федерации, является заместителем председателя Научного совета РАН по машиностроению и Российского национального комитета по теории машин и механизмов, специалист в области теории механизмов и машин, управления машинами, кинематики и динамики робототехнических систем.

Д.т.н., д.филос.н, профессор
Виктор Аркадьевич
ГЛАЗУНОВ

Основные научные направления

- Теория механизмов и машин
- Динамика машин и машинных агрегатов
- Механика приводов машин
- Динамика виброударных (сильно нелинейных) систем
- Резонансные и авторезонансные вибротехнические системы
- Экспериментальная динамика и диагностика машин
- Многокритериальная оптимизация сложных систем
- Автоматизация технологических процессов

Основные научные результаты

Отдел «Механика машин и управление машинами» – старейшее научное подразделение Института. У истоков этого направления стояли ведущие ученые академики И.И. Артоболевский и А.А. Благонравов. Отдел решал и решает комплексные задачи в области создания и исследования машин различного назначения. В ИМАШ впервые в мире был создан образец протеза руки, работающего под воздействием электрических импульсов, генерируемых мускулами человека. Разработаны методы анализа и синтеза новых классов механизмов и технологических процессов для машин нового поколения.

В этом отделе в разные годы были получены весьма серьезные научные результаты. Это касается фундаментальных вопросов робототехнических систем, механизмов с зазорами в кинематических парах, механических систем со звеньями переменной массы, шагающих роботов, экспериментальной механики машин и диагностики механизмов, многокритериальной оптимизации и идентификации параметров механических систем, функциональной классификации механизмов и т.д.

Разработано устройство, которое планируется использовать для работы в аэродинамических трубах. Подобные схемы могут быть использованы в других технических приложениях, в частности при манипулировании в агрессивных средах (космос, океан).



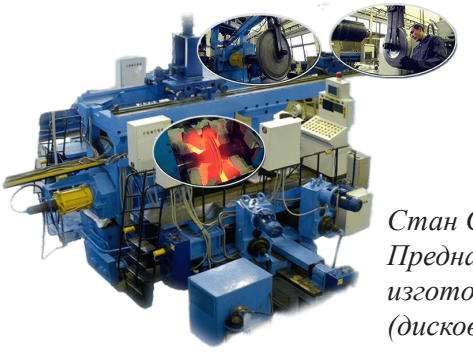
Манипулятор для испытаний моделей летательных аппаратов в аэродинамической трубе

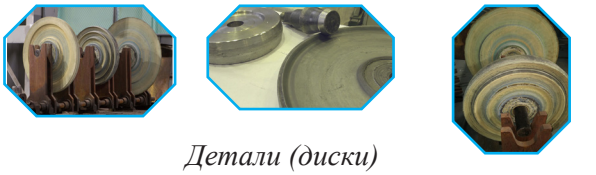


Манипулятор с карданными шарнирами и дополнительными тягами

Отдел активно занимается созданием машин нового поколения, одновременно решая задачу импортозамещения.

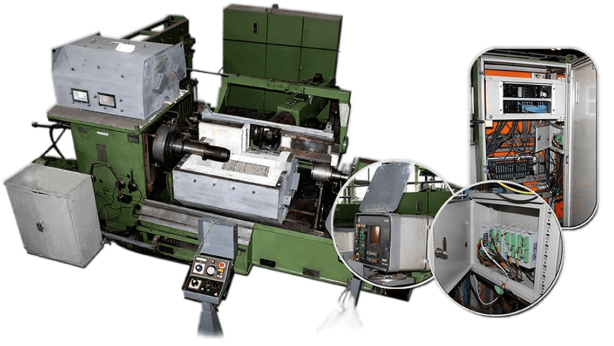
Важнейшей задачей является разработка научных основ высокоэффективной технологии и оборудования для формообразования деталей газотурбинных двигателей из суперсплавов в изотермических условиях. Преимущества формообразования деталей из жаропрочных сплавов методом раскатки и комбинированным методом давления с кручением в изотермических условиях: снижение трудоемкости изготовления за счет снижения усилий деформации и исключения дорогостоящей оснастки; технологичность при изготовлении; получение однородной мелкозернистой структуры; повышение механических свойств сплава (по сравнению с требованиями ТУ на 10–15 %); повышение КИМ в 3–5 раз.

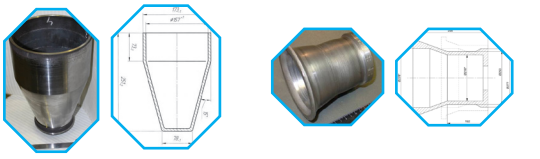




Детали (диски)

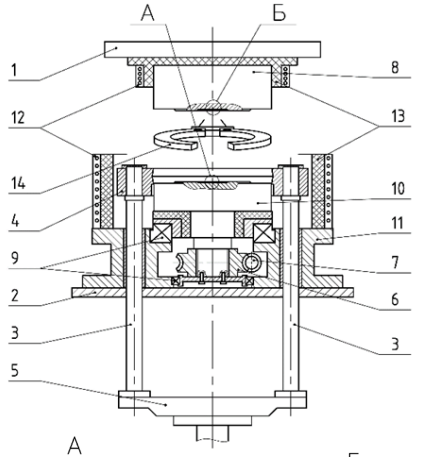
Стан СРЖД–800.
Предназначен для испытаний и отработки технологии изготовления осесимметричных деталей (дисков, колец, обечаек и т.д.)





Детали (полые валы)

Стан СРВ. Предназначен для испытаний и отработки технологии изготовления полых валов



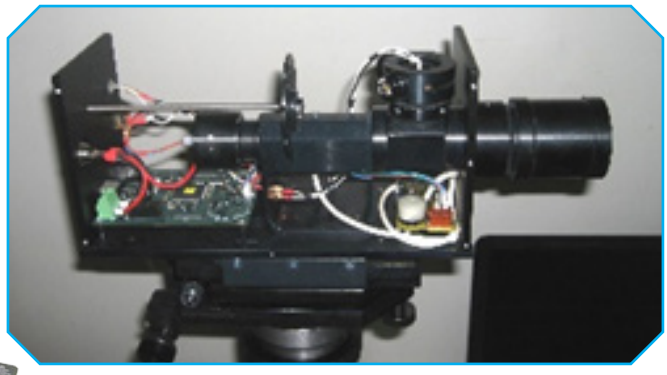
1 – верхняя плита,
2 – нижняя плита,
3 – колонки оснастки,
4 – траверса с боковой частью матрицы,
5 – механизм вертикального перемещения колонок,
6 – червячное колесо,
7 – червяк,
8 – пуансон,
9 – подшипниковые опоры,
10 – донная вращающаяся часть матрицы,
11 – корпус оснастки,
12 – индукционный нагреватель,
13 – теплоизоляция,
14 – загрузочно-разгрузочный механизм

А – профиль пазов на донной части матрицы в виде прямоугольного треугольника

Б – профиль пазов на пуансоне в виде прямоугольника

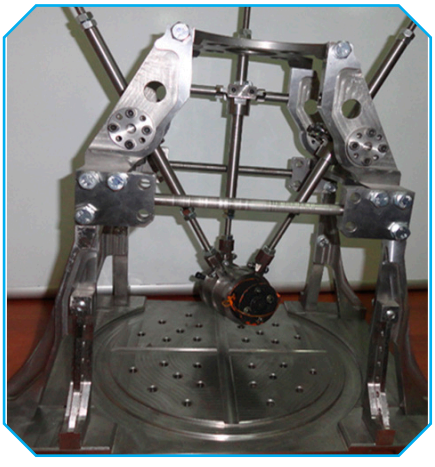
Изотермический штамп для реализации комбинированного метода давления с кручением деформации дисков ГТД





Оптический блок установки

Технологические установки для бестрассовой настройки и проверки лазерных дальномеров гражданского и специального назначения



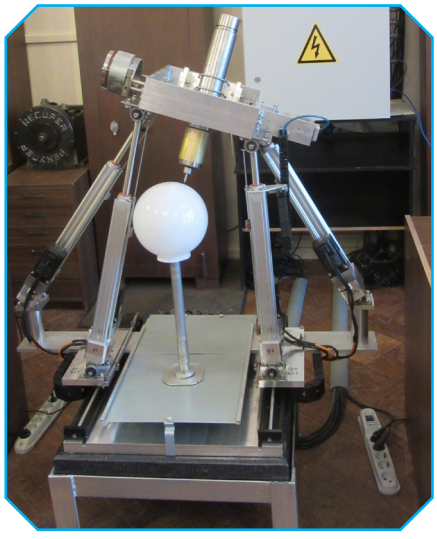
Технологический робот METROM на основе параллельнной структуры



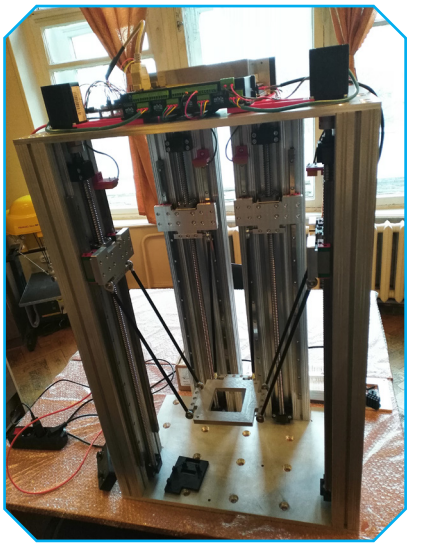
Фасовочно-упаковочная линия для дозировки жидких продуктов питания

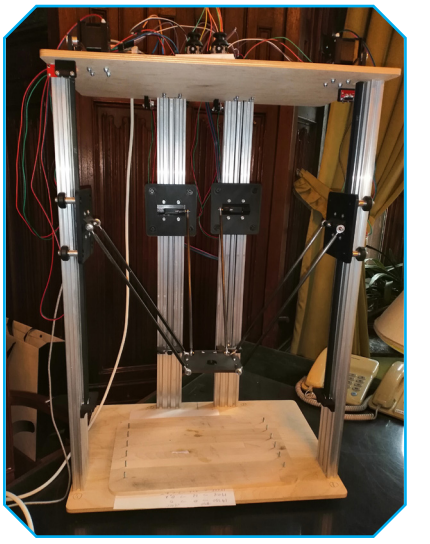


Механизм со стабилизирующими звеньями



Технологический робот параллельной структуры с пятью степенями свободы





Механизмы параллельной структуры с четырьмя степенями свободы

Одной из важных задач в современной технике (транспорт, авиация, космос) является разработка тренажеров для подготовки экипажей наземных транспортных средств и летательных аппаратов. Для решения этой задачи в отделе был синтезирован ряд схем механизмов параллельной структуры с применением круговой направляющей, обладающих качественно новым функционалом – имитация условий «юза» и поворота транспортных средств, а также «штопора» летательных аппаратов.



Макет тренажера для подготовки водителей

Совместно с УдГУ (Ижевск), механико-математическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова, ИПМ им. М.В. Келдыша, ЗАО «Ровер» (Санкт-Петербург) разработан первый в России сферобот – робот-шар SpheROB. Подобные аппараты в силу своей герметичной конструкции могут использоваться для исследования зон с агрессивной средой, например, мест аварий или поверхности других планет.



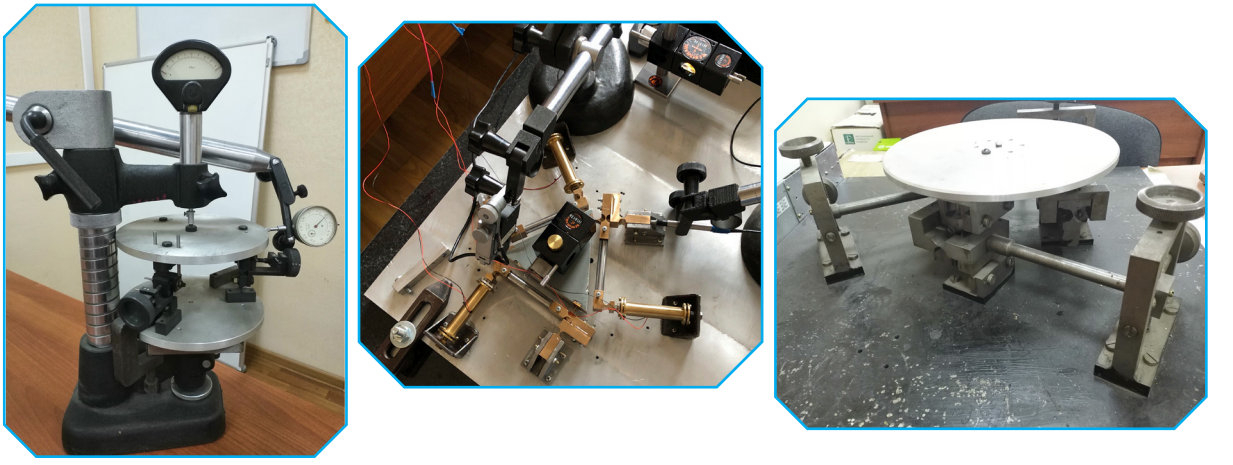
Сферобот – мобильный робот-шар

Синтезированы системы манипулирования для хирургических манипуляций в урологии, ортопедии, кардиологии. Разрабатываемые механизмы являются отечественной альтернативой известному роботу da Vinci.



Хирургические роботы

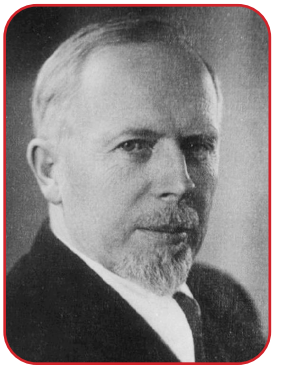
Разработаны устройства для микропозиционирования на упругих шарнирах.



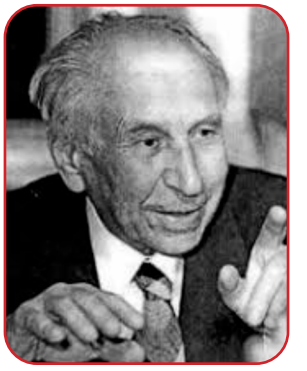
Отдел активно и плодотворно сотрудничает с Центральной клинической больницей РАН, с клиникой им. С.П. Боткина, с МГТУ им. Н.Э. Баумана, с ИКТИ РАН, с Московским университетом дизайна и технологии. Разрабатываемые системы представляют собой импортозамещающую технику, в ряде случаев опережающую зарубежный уровень.

Трение. Износ. Смазка. Трибология

Основатели научных школ



Д.т.н., профессор
Михаил Михайлович
ХРУЩОВ
1890–1972



К.с.-х.н., д.т.н., профессор
Игорь Викторович
КРАГЕЛЬСКИЙ
1908–1989



Д.т.н., профессор
Юрий Николаевич
ДРОЗДОВ
1936–2014

Заведующий отделом «Трение, износ, смазка. Трибология»

Вице-президент Ассоциации инженеров-трибологов России, заместитель председателя межведомственного научного совета по трибологии РАН, почетный работник высшего профессионального образования, профессор кафедры цифровых и аддитивных технологий РТУ МИРЭА. Награжден Золотой медалью им. В.Г. Шухова.



Д.т.н., профессор
Али Юсупович
АЛБАГАЧИЕВ

Основные научные направления

- Трение и износ в машинах
- Фреттинг в неподвижных соединениях
- Трибология в авиационной, космической и оборонной технике
- Лазерное упрочнение материалов
- Смазочные материалы для тяжелонагруженных узлов трения
- Подшипники скольжения и качения
- Трибология в механической обработке материалов
- Диагностика поверхностей трения
- Тепловые процессы в трибологии и механической обработке
- Износостойкие и высокопрочные материалы

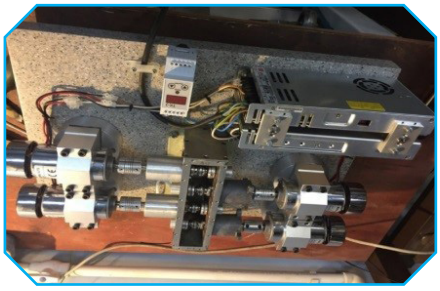
Фундаментальные и прикладные исследования отдела направлены на повышение ресурса, безопасности и коэффициента полезного действия объектов гражданского и военного назначения, космических, транспортных, энергетических, атомных, авиационных, газо-нефтедобывающих систем.

Основные научные результаты

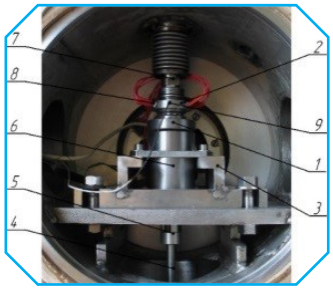
Создано и активно развивается научное направление по обеспечению надежности и ресурса установок электроприводных лопастных насосов, которыми оборудовано более 100 тыс. скважин РФ и добывается более 70 % нефти. Разработаны научные основы и комплекс испытательных стендов для исследования трибодинамических процессов в насосах, в том числе с высокой частотой вращения (до 12000 об/мин). Совместная работа с ведущими нефтяными компаниями по повышению ресурса насосов удостоена Премии Правительства РФ. Впервые разработана трибодинамическая модель насоса с использованием теории подобия, получены зависимости вибрации от износа трибосопряжений, исследованы процессы абразивного и гидроабразивного изнашивания деталей насосов в средах, содержащих абразив и коррозионно-активные вещества. С участием сотрудников отдела разработан национальный стандарт ГОСТ Р 56830-2015 (введен в действие с 01.07.2016 г.), который впервые в мировой практике ввел общие требования для этого оборудования. Результаты научных исследований реализованы в конструкциях износостойких подшипников с функцией виброгашения, методиках по определению износостойкости деталей и узлов насосов.

Развивается научное направление в области трибологической надежности узлов и механизмов аэрокосмического назначения: универсальных многофункциональных мехатронных модулей, обеспечивающих функционирование исполнительных систем трансформируемых конструкций; электронасосных агрегатов устройства терморегулирования системы жизнеобеспечения.

Разработана методика и стенд для испытаний на трение и износ моделей торцевых уплотнений турбонасосных агрегатов при криогенной температуре (–196 °С). Результаты испытания сопряжений «композиционный материал на основе углеродных волокон – сталь 07Х21Г7АН5 с покрытием «твердый хром» использованы АО «НИИГРАФИТ» рамках международной программы.



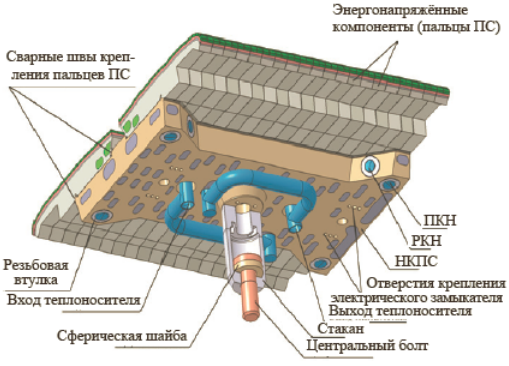
Стенд 4х-позиционный для испытаний шарикоподшипника



Стенд для испытаний подшипников в вакууме

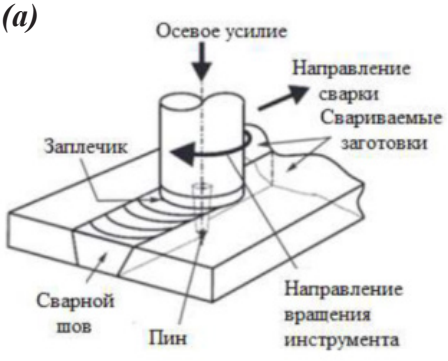
Разработана методика и вакуумный стенд для исследования работоспособности твердых смазочных покрытий в вакууме для узлов крепления бланкетных устройств экспериментального термоядерного реактора по заказу АО «НИКИЭТ» по международной программе ITER.





Сварка трением с перемешиванием (СТП, Friction Stir Welding – FSW) является весьма востребованной технологией. Основой данной технологии является трение и перемещение вращающегося инструмента - цилиндрического заплечика и конического пина по стыку между двумя соединяемыми пластинами материала.

(а)



(б)

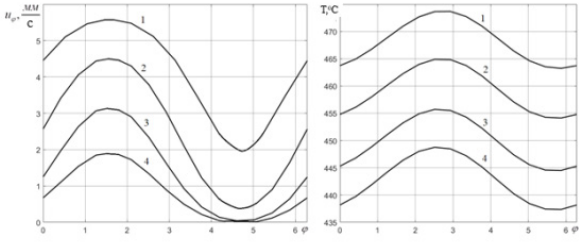


Схема процесса сварки трением с перемешиванием (а), изменение скорости пластического течения и температуры по угловой координате (б)

Численным методом установлена закономерность изменения скорости течения для алюминия и определена температура сварки при СТП, максимальная величина которой составляет 473 °С, что близко к экспериментальному оптимальному значению.

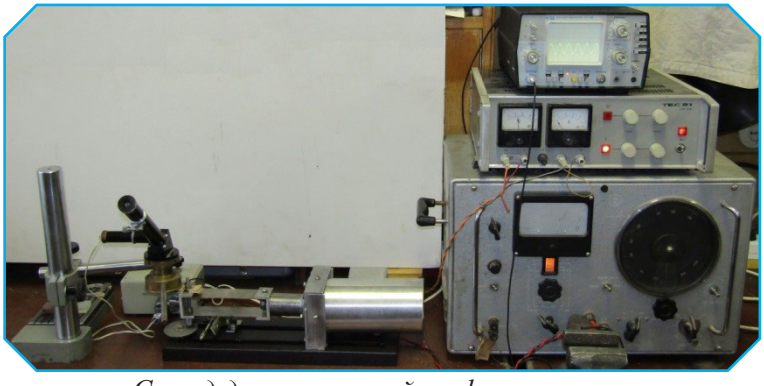


Сотрудники отдела принимают участие в разработке нового поколения современных углерод-углеродных фрикционных композиционных материалов совместно с НИИ Графит





Разработан и изготовлен стенд для испытаний на фреттинг-износ



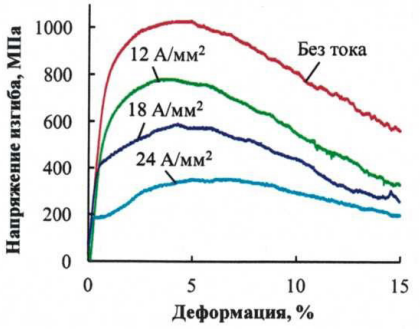
Стенд для испытаний на фреттинг

Исследование сопротивления к фреттинг-износу проводилось по схеме «шаровой индентор-пластина». К индентору прикладываются возвратно поступательные колебания и нормальная нагрузка. Колебания создаются магнитострикционным преобразователем.

Степень износа образца после проведения испытаний определяется измерением размеров области износа, которая имеет вид прямоугольника. Длина н ширина измеряются инструментальным микроскопом. Глубина определяется при помощи профилометра.

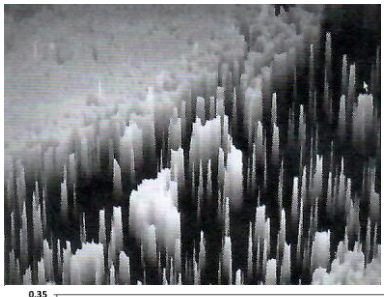
На конструкцию стенда был получен патент на полезную модель № 190246 от 25.06.2019.

Создана технология гибки имплантатов из титана Grade 4, без существенного нагрева с током. Имплантаты используются для коррекции шеечно-диафизарного угла у детей. Конструкция имплантата из стали 0Х18Н10Т разработана в ФГУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера», которую планируется заменить на титан, что позволит улучшить биосовместимость и механические свойства имплантата. Результаты исследований легли в основу патента № 2 781 513.

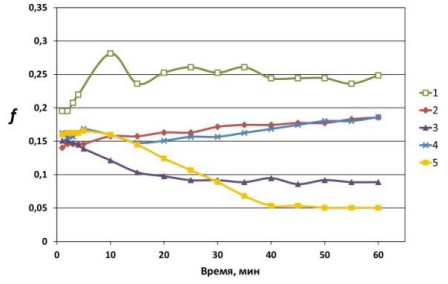




Проведено исследование монокристаллического углеродного покрытия (МКУ) на вибрационном трибометре ИМТ-3МТ в среде нормального тетрадексана. Объемный износ снижается до 12 раз.



Дорожка износа МКУ-покрытия при трении по стальному шару. Температура 200 °С, нагрузка на узел трения 7.4 Н. Смазка - масло вазелиновое медицинское.



Зависимости коэффициента трения f от продолжительности испытания в масле ПАО-4 с серосодержащей присадкой ДФ-11 при трении в режиме граничной смазки: 1 – сталь по стали; 2 – сталь по монокристаллическому покрытию-ориентанту; 3 – сталь по МКУ, легированному кремнием; 4 – сталь по покрытию МКУ, легированному вольфрамом; 5 – стальпо покрытию МКУ, легированному молибденом.

Разрушение МКУ покрытий в основном определяется как достаточно незначительным износом вершин кристаллитов, так и выламыванием отдельных столбчатых кристалли-

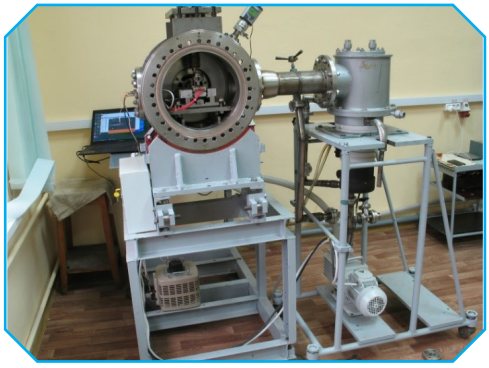
тов. Изображение получено с помощью оптического микроскопа Neofot-32 с использованием компьютерной системы обработки и моделирования оптических изображений.

В отделе проводятся работы по получению перспективных износостойких покрытий методом атомно-слоевого осаждения, исследования наномодификаторов для автомобильных масел, фрикционных материлов для подъемно-транспортных механизмов.

Для серосодержащих смазочных материалов повышение антифрикционных и противоизносных свойств достигается путем легирования МКУ покрытий вольфрамом или молибденом (Патенты РФ №№ 2570057 и 2728449).

Разработаны методики и испытательное оборудование для испытаний смазочных материалов и узлов трения в условиях, имитирующих космос. Оборудование аттестовано по международной методике ASTM G133- 99.

С использованием разработанных методики и испытательного оборудования получены зависимости смазочной способности и ресурса ПСМ от внешних факторов (вакуума, температуры, нагрузки).



Внешний вид стенда для испытаний в условиях, имитирующих космос

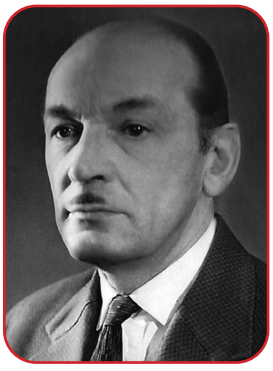
Разработана технология модифицирования поверхности углеродного композита (УУКМ) обработкой парами халькогенов с антифрикционными присадками. Рекомендации по парам трения для работы узлов трения космических аппаратов на поверхности Венеры переданы в НПО им. С.А. Лавочкина.

Разработанные в ИМАШ РАН технологии лазерного упрочнения, легирования и наплавки с использованием поперечных высокочастотных колебаний луча позволяют повысить производительность обработки в 1,8-2,5 раза по сравнению с воздействием круглым расфокусированным пучком. Разработаны технологии лазерной наплавки микро- и нано-размерных карбидов вольфрама и тантала многокомпонентных порошков для повышения ресурса работы узлов трения. Новизна разработок подтверждена патентами РФ на изобретение. Установлено повышение задиростойкости до 3 раз и износостойкости наплавленных поверхностей при абразивном изнашивании до 5 раз по сравнению с исходными материалами.

Проведены системные исследования несущей способности (контактной прочности) поверхностей трения, упрочняемых тонкими твердыми керамическими покрытиями, обеспечивающими высокую работоспособность поверхностей трения. Для повышения работоспособности поверхностей трения деталей машин, приборов и инструмента в настоящее время широко используются различные покрытия и модифицированные поверхностные слои. Толщина поверхностного слоя может варьироваться от нескольких миллиметров для наплавляемых покрытий до нескольких микрометров для вакуумных ионно-плазменных и газофазных покрытий. Композиционный приповерхностный слой с покрытием определенной толщины, обеспечивающий поверхности и детали в ряде случаев такую техническую эффективность и экономическую целесообразность, какую не дают элементы слоистой системы в отдельности, стал называться топокомпозитом.

Прочность, живучесть и безопасность машин

Основатели научной школы



Академик
Юрий Николаевич
РАБОТНОВ
1914–1985



Член-корреспондент РАН
Николай Андреевич
МАХУТОВ

Заведующий отделом «Прочность, живучесть и безопасность машин»



Заслуженный деятель науки РФ, заведующий базовой кафедрой «Ракетная техника» Технологического университета (г. Королев), является специалистом в области моделирования повреждений, механики разрушения, живучести и безопасности машин.

Д.т.н., профессор
Юрий Григорьевич
МАТВИЕНКО

Основные научные направления

• Теоретическая и экспериментальная механика разрушения и живучести
• Моделирование, диагностика и мониторинг повреждений и разрушений
• Экспериментально-расчетные методы анализа напряженно-деформированного состояния (НДС)
• Долговечность при термомеханических циклических воздействиях
• Риск-анализ и безопасность критически важных объектов
• Аэрогидроупругость и динамика машин
• Оптимальное проектирование структуры композитных конструкций
• Управление локальными и объемными механическими свойствами материалов

Научное направление фундаментальных и прикладных исследований ИМАШ РАН по проблемам прочности, ресурса, живучести и безопасности машин и конструкций сформировалось на базе большого цикла работ, проводимых на протяжении всей его 85-летней истории. Основы этого направления были заложены и развиты академиком Ю.Н. Работновым и членом-корреспондентом РАН Н.А. Махутовым. Основное научное направление отдела связано с постановкой и проведением фундаментальных исследований по разработке комплексных и многоуровневых моделей, критериев и методов анализа, обоснования, нормирования и мониторинга прочности, надежности, живучести и безопасности машин и конструкций.

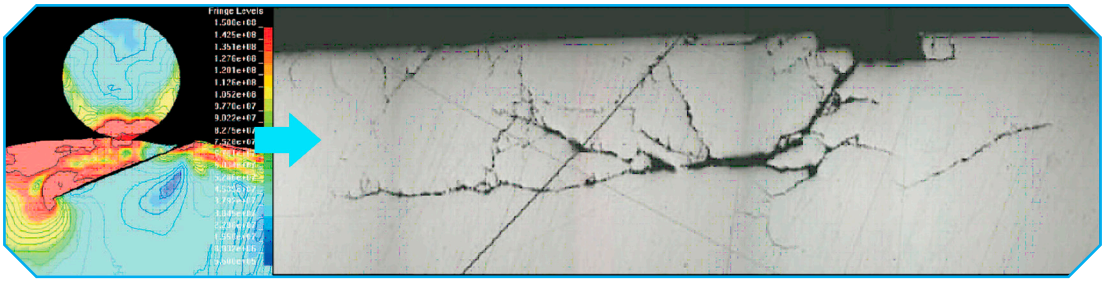
Основные научные результаты

В последние годы усилия отдела направлены на формирование обобщенных подходов к комплексным проблемам безопасности, ресурса и живучести с целью снижения техногенных и технологических рисков для объектов гражданского и оборонного назначения, аэрокосмической и атомной техники, транспортных и других сложных машиностроительных систем с учетом критических технологий. В качестве основных научных достижений следует отметить иерархию методов и систем поэлементного и комплексного определения техногенной безопасности и рисков. Создана многоуровневая иерархическая система комплексных моделей и двухпараметрических критериев механики хрупкого и упруго-пластического разрушения конструкционных материалов в условиях экстремальных физико-механических воздействий. Особое внимание уделено нелинейному физико-математическому и имитационному моделированию процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов и конструкций на различных масштабно-структурных уровнях.

Предложена методология ранней диагностики и мониторинга повреждений, остаточной прочности и ресурса критически важных полимерно-композитных элементов конструкций на основе акустико-эмиссионного метода.

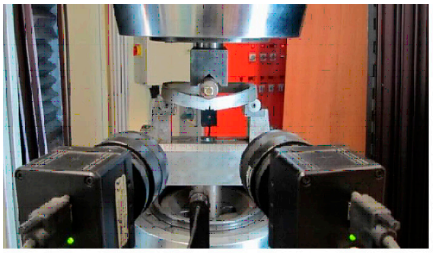
Разработаны методика, аппаратура и программное обеспечение для регистрации неоднородных полей перемещений, созданы действующие макеты мобильных электронных цифровых интерферометров различных типов, предназначенные для исследования существенно неоднородных напряженно-деформированных состояний в натурных условиях при квазистатическом и циклическом нагружениях.

Предложен экспериментально-численный метод определения различных параметров НДС и трещиноподобных дефектов в машинах.

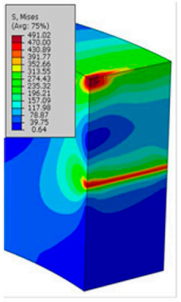


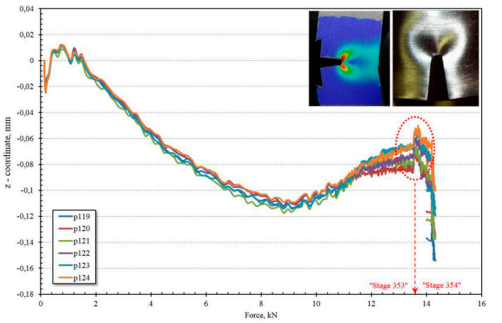
Конечно-элементное моделирование микроповреждений поверхностных слоев и бифуркации микротрещины

Значительное развитие получили работы по математическому и физическому моделированию динамических процессов в гидроаэроупругих системах с использованием иерархической структурно-групповой системы моделей для диагностики состояний и повышения вибропрочности конструкций энергетического и транспортного машиностроения. Для модификации поверхности с целью повышения коррозионной стойкости, износостойкости и ресурса элементов машин разработана технология газодинамического напыления меди, цинка и никеля.









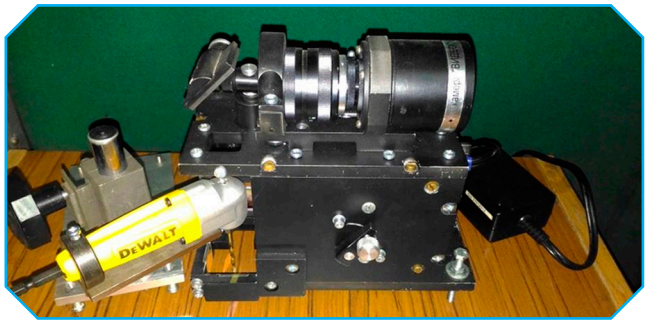
Имитационное моделирование процессов деформирования, повреждения и разрушения с использованием цифровых технологий

Оптимальное проектирование композитных элементов конструкций с использованием рациональных криволинейных траекторий укладки волокон позволяет обеспечить повышенные характеристики надежности, живучести и безопасности ответственных композитных конструкций транспортного, энергетического, авиационного и аэрокосмического назначения.

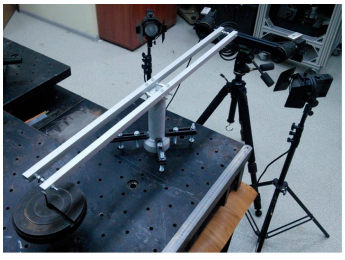
Результаты научных исследований и разработок отдела последних лет востребованы в различных отраслях машиностроения, нефтяных и газовых компаниях, среди которых: ФГУП «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского», ОАО «Компания «Сухой», ОАО «Газпром», ОАО «Российские железные дороги», АО НИКИЭТ им. Н.А. Доллежаля, ОКБ «Гидропресс», АО «ОКБМ Африкантов», НИИ «Транснефть», компания «Sakhalin Energy», ФГУП «ВИАМ», Группа компаний «Промышленная безопасность», ООО «НГБ-Энергодиагностика» и др.

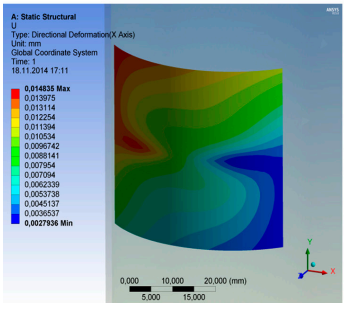


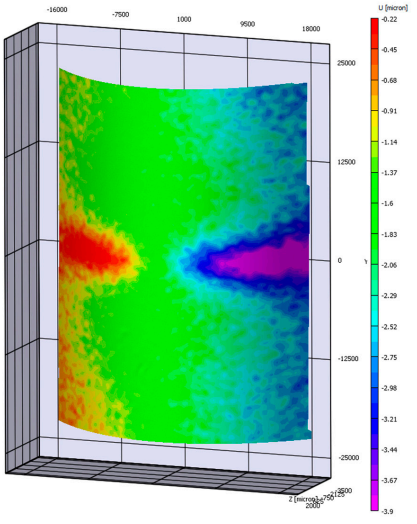
Исследование кинетики повреждений в зоне технологического окна стенки лонжерона акустико-эмиссионным методом



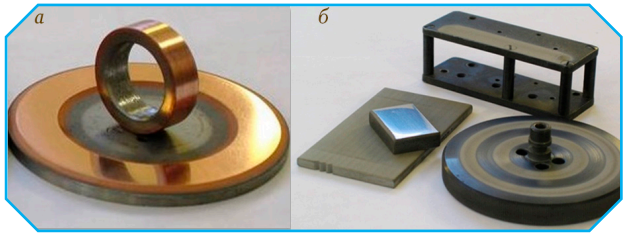
Специализированный мобильный спекл-интерферометр для экспериментального исследования НДС и определения остаточных напряжений в натурных условиях







Экспериментально-численный метод определения скрытых трещиноподобных дефектов с использованием цифровых технологий



Газодинамическое напыление меди (а), цинка и никеля (б)

По направлению «Риск-анализ и безопасность критически важных объектов» проведен обобщающий анализ тяжелых аварий и катастроф в стране и мире за последние десятилетия.

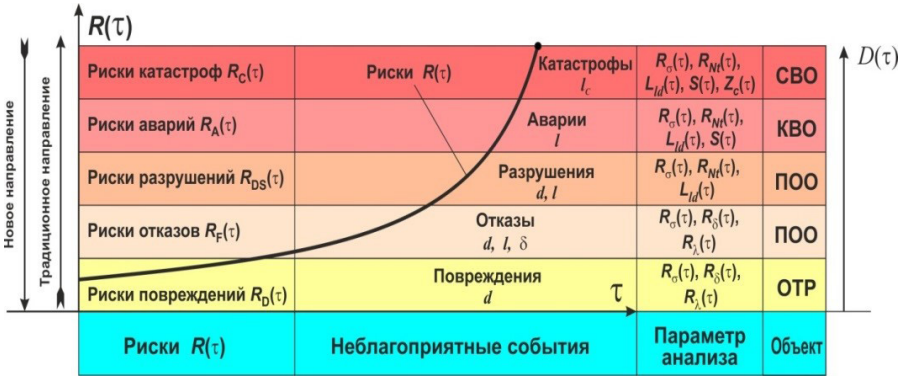
Он относится к чрезвычайным ситуациям на Чернобыльской АЭС, атомных подводных лодках, на объектах ракетно-космической и авиационной техники, на гидроэлектростанциях, магистральных трубопроводах, уникальных инженерных сооружениях и турбогенераторах, на нефтегазохимических производствах.

Для заданной стадии жизненного цикла ключевыми параметрами рисков тяжелых аварий и катастроф обоснованно выбраны ущербы (от 10^5 до 10^{11} руб.) и вероятности (от 10^1 до 10^{-2} 1/год) их возникновения. Учтены риски техногенных, природных и антропогенных факторов безопасности последних опасных событий 2020 – 2023 гг.



Ущербы и периодичность тяжелых катастроф

На основе фундаментальных и прикладных исследований всего спектра высокорисковых объектов, процессов деформирования, повреждений, отказов, разрушения, аварий и катастроф в линейной и нелинейной, детерминированной и вероятностной постановке предложена и обоснована базовая кинетическая кривая увеличения рисков и накапливаемых повреждений при штатных и нештатных режимах для массовых объектов технического регулирования (ОТР), потенциально опасных объектов (ПОО), критически (КВО) и стратегически (СВО) важных объектов.

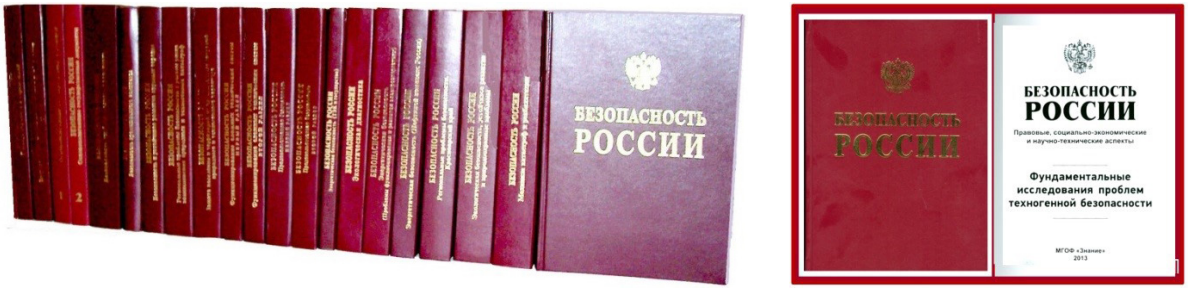


Последовательность анализа опасных состояний КВО и СВО и соответствующих им рисков

Результаты разработок по теории безопасности и рисков были доложены на заседаниях президиума РАН, Правительства, комиссий Научного совета при Совете Безопасности, Национального центра управления в кризисных ситуациях, Научно-технических советах Ростехнадзора, Росприроднадзора, МЧС России, в структурах Росатома, Роскосмоса, ОАО «РЖД», Газпрома, Транснефти и были использованы при формировании государственных стратегий безопасности, федеральных законов о безопасности и отражены в 66-томном издании 1988 – 2023 гг. «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты».



(*а*)



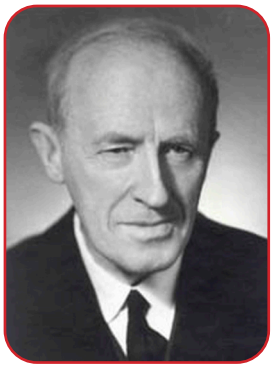
(*б*)

Научно-методическое обеспечение безопасности комплексной безопасности: Национальный центр управления в кризисных ситуациях (а) и многотомное издание «Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты» (б)

В ближайшей (до 2025 г.) и отдаленной (до 2030 – 2050 гг.) перспективе на базе указанных фундаментальных исследований и прикладных разработок будет реализован переход от классического прочностного и ресурсного к новому риск-ориентированному проектированию и функционированию критически и стратегически важных объектов машиностроения.

КОНСТРУКЦИОННОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

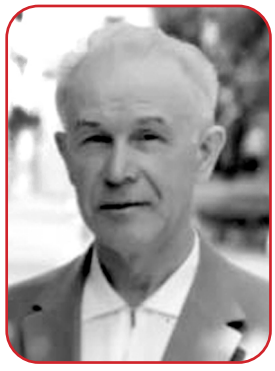
Основатели научной школы



Академик
Сергей Владимирович
СЕРЕНСЕН
1905–1977



Д.т.н., профессор
Михаил Григорьевич
ЛОЗИНСКИЙ
1909–1970



Д.ф.-м.н., профессор
Борис Моисеевич
РОВИНСКИЙ
1899–1973

Заведующий отделом «Конструкционное материаловедение»

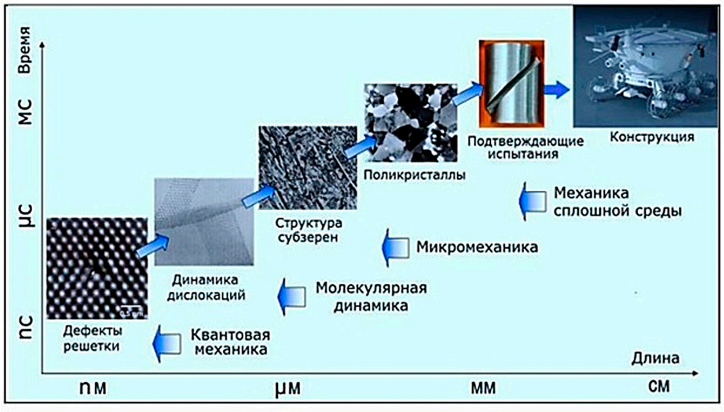
Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, академик МИА, является специалистом в области конструкционного материаловедения и прочности материалов.



Д.т.н., профессор
Александр Никитович
РОМАНОВ

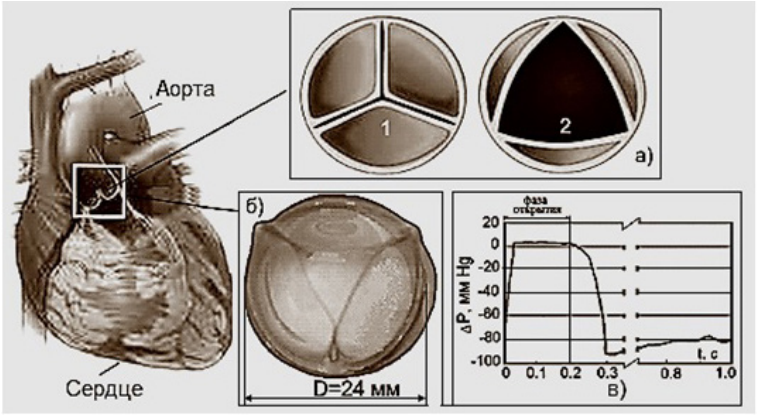
Основные научные направления

- Исследование роли структурного состояния в формировании прочностных и функциональных свойств конструкционных материалов для работы в условиях статического, циклического и контактного нагружений, моделирование структурных, напряженно-деформированных и предельных состояний, создание критериальной базы оценки предельных состояний материалов
- Разработка математических моделей деформирования и разрушения элементов конструкций из полимерных и композиционных материалов и методов оценки их работоспособности
- Управление структурной и деформационной неоднородностью конструкционных материалов, структурным состоянием поверхности элементов конструкций с целью повышения прочностных и трибологических свойств
- Разработка инженерных критериев разрушения и рекомендаций по подбору материалов при конструировании
- Исследование несущей способности конструкционных материалов и ее исчерпание при статическом, длительном статическом, циклическом и контактном нагружении.
- Исследование целостности материалов и элементов конструкций из них при статическом, длительном статическом, циклическом и контактном нагружении.
- Исследование структуры и свойств поверхностных слоев сталей и сплавов после химико-термической обработки и высокоэнергетического воздействия концентрированными потоками энергии, выявление трибологических закономерностей их контактного разрушения
- Моделирование процессов деформирования и разрушения конструкционных материалов с учетом их многоуровневых состояний (нано-, микро-, мезо-, и макро-) и разработка критериев разрушения на стадиях образования и развития трещин
- Повышение эффективности машиностроительного производства на основе принципов модульной технологии
- Клеевые соединения в летательных аппаратах
- Неразрушающий контроль качества конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов
- Численное моделирование волновых процессов при высокоскоростном воздействии



Анализ динамики искусственного клапана сердца и оценка его долговечности

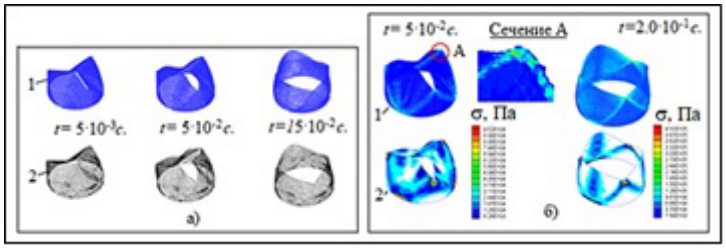
Разработан дискретно-точечный градиентный метод численного моделирования. Метод применим для различных приложений механики сплошных сред.



Сердце и аорта:
а) родной аортальный клапан в закрытом-1 и открытом-2 состоянии,
б) искусственный клапан, в) нагружение клапана

Выполнено моделирование работы трехстворчатого аортального искусственного клапана сердца, (б), полагая известным, полученным экспериментально, нагружение его створок (в). Внутренняя поверхность клапана нагружалась разностью давлений, действующих по обе стороны створок клапана. Построение точечных моделей клапана выполнено на основе образов, полученных КТ.

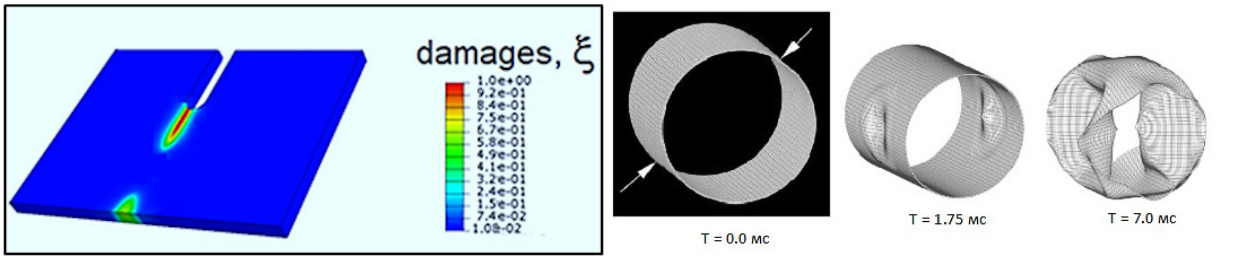
Моделирование выполнено для диапазона времени, соответствующего полному циклу работы клапана. Долговечность (жизненный ресурс) искусственного клапана сердца при условии такого функционирования составляет 10 лет.



Деформирование искусственного клапана и возникающие в нем напряжения для двух моментов времени. Картины раскрытия створок клапана и возникающие в них напряжения для различных моментов времени показаны на рис. (а) и (б). Моменту времени 0.15 с. соответствует полное раскрытие клапана

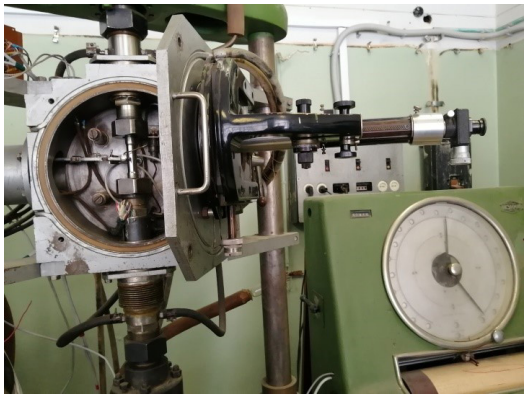
Анализ предельных состояний и ресурса металлических конструкций и изделий из полимерных материалов

Метод разработан для изучения нелинейной динамики трехмерных элементов конструкций, подвергаемых большим смещениям и деформациям, в том числе биологических объектов в реальном времени на основе их реальных анатомических геометрических моделей (образов), получаемых компьютерной томографией (КТ).



Распределение повреждений в полосе для момента времени T= 10.5 мс (а) и деформирование тонких оболочечных конструкций при ударном нагружении (б)

Накопление повреждений при малоцикловом нагружении на стадии образования и распространения трещин

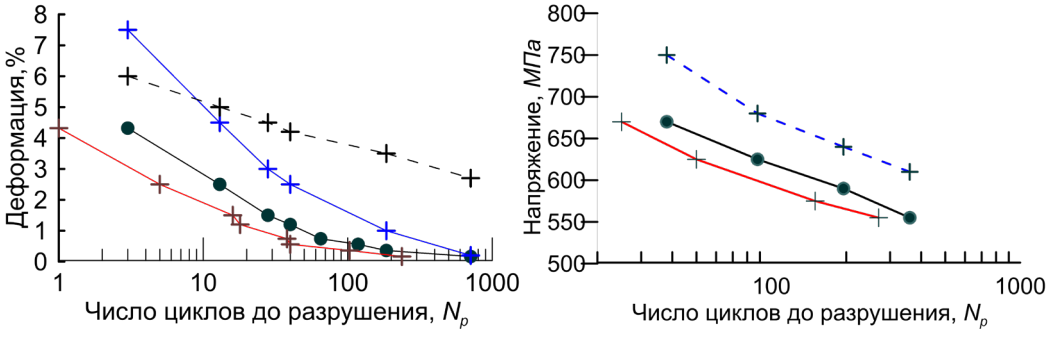


Вакуумная камера к установке для малоциклового нагружения с рамещенным на крышке камеры микроскопом для исследования микроструктуры, скоростей и перемещения берегов трещин в широком интервале температур и система нагрева трубчатого образца
(*1 – захваты; 2 – деформометр; 3 - нагреватель; 4 – экран; 5 – образец*)

Накопление повреждений при циклическом упруго-пластическом деформировании оцениваются на основе разработанного деформационно-кинетического критерия усталостного разрушения по деформационным характеристикам циклического деформирования в сопоставлении с деформационным параметром несущей способности материала при статическом разрушении.

Исчерпание несущей способности при циклическом нагружении происходит вследствие накопления повреждений до предельного значения.

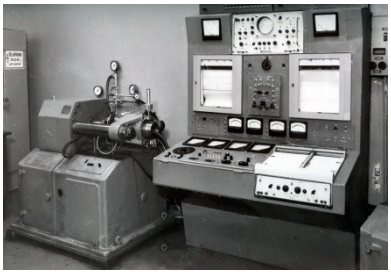
Несущая способность материала (образца) определяется истинным пределом прочности и соответствующей ему истинной деформацией при статическом нагружении. Критерий позволяет описать кинетику накопления повреждений, предельное состояние и соответствующие ему критические параметры: предельные обратимая пластическая, упругая, накопленная деформации и критические напряжения.



Кривые усталости стали ТС (*черные линии*) *и предельные кривые усталости* (*красные лини*):
(а) - при мягком нагружении в деформациях (*синия линия – предельная ширина петли гистерезиса, штриховая линия – предельно наопленная деформация*);
(б) - жестком нагружении в напряжениях (*штриховая синяя линия – предельные напряжения*).
Деформации и напряжения – в исходном полуцикле раятяжения

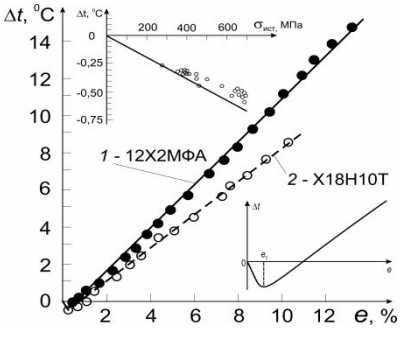
Исследование условий саморазогрева материала при циклическом упругопластическом деформировании

Задача о связности процессов деформирования и разрушения с саморазогревом материала за счет развития деформаций является достаточно сложной в экспериментальном и теоретическом плане как при однородных, так и при неоднородных напряженно-деформированных состояниях в существенно нелинейной постановке. В первую очередь это относится к научно-методическим особенностям формирования уравнений состояния при статическом и циклическом нагружении, а также описанию связи между процессами деформирования и нагрева материала за счет внутреннего тепловыделения как при текущих, так и при предельных разрушающих деформациях.



Установка для программных испытаний

Эксперименты, выполненные на испытательной установке в условиях вакуума показали, что при статическом и циклическом деформировании образцов из сталей Х18Н10Т и 12Х2МФА на стадии упругого деформирования согласно термодинамическим представлениям имеет место линейное снижение температуры на – 0.5÷0.6 ℃, а при переходе к стадии упругопластического деформирования температура начинает повышаться.



Диаграммы саморазогрева при статическом упругопластическом деформировании

Упругопластическое деформирование может вызвать разогрев материала вплоть до его расплавления, что позволило обосновать конструктивное исполнение и режимы работы лопаток реактивных двигателей, что было использовано при их проектировании в КБ «Химавтоматика», а результаты исследований опубликованы издательством «Наука» в сериях авторских монографий.

Накопление усталостных повреждений при динамическом нагружении с учетом влияния трения и износа

Модели накопления повреждений и оценки соотношения напряжение–долговечность или вероятностных зависимостей нагрузка–долговечность–вероятность, включают области малоцикловой, многоцикловой и гигацикловой усталости. Трактовка износа, как усталостного разрушения поверхностного слоя, сближает задачи триботехники с задачами оценки накопления повреждений в конструкционных материалах при динамическом нагружении.

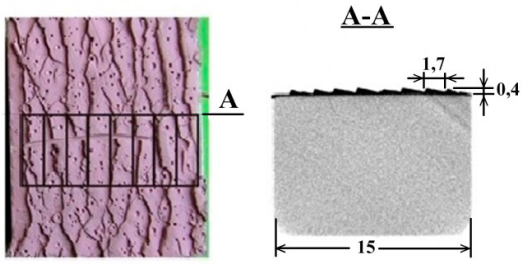
В зоне фрикционного контакта элементов трибосопряжений реализуется накопление повреждений, соответствующее малоцикловой и многоцикловой усталости.

Зависимость вероятности разрушения шатуна оппозитного компрессора от величины зазора и величины поршневых сил

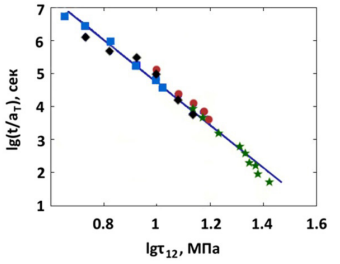
Нагрузка, кН	Зазор в сопряжении, мм	σ_a, МПа	Вероятность разрушения P, %
180	0.05	40.0	0.001
	0.10	45.5	0.002
	0.15	50.7	0.020
250	0.05	53.3	0.074
	0.10	60.0	0.991
	0.15	66.5	3.363

Расчет клеевых соединений

Создан метод расчета и прогнозирования механического поведения клеевых соединений, обеспечивающих ряд преимуществ по сравнению с традиционными механическими способами соединений (сварными, заклепочными, болтовыми, резьбовыми, соединениями пайкой или вальцеванием). Результаты реализованы в конструкциях летательных аппаратов. Использование метода позволило не только повысить качество и надежность аппаратов, но и теоретически объяснить наличие регулярно повторяющихся волнообразных областей когезионного разрушения. Показано, что длина волны периодичности зависит от толщины клеевого слоя.



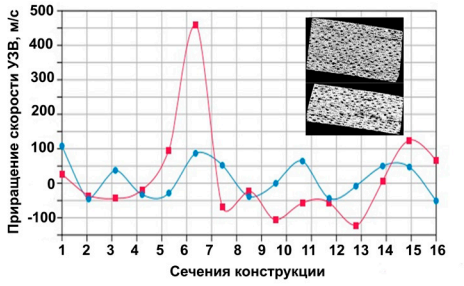
Расчет периода и числа волн разрушения на сдвиг



Единая кривая долговечности клеевого соединения «металл-герметик-керамика»

Ультразвуковой контроль элементов конструкций

Разработаны способы ультразвукового контроля качества ответственных элементов конструкций летательных аппаратов. Показано, что структурная неоднородность композиционного материала, вызванная сложной геометрической формой, приводит к появлению дефектов типа «складка» и отклонению механических свойств от требуемых.



УЗ-профили оболочек с неравномерными (красные точки) и равномерными (синие точки) структурными характеристиками

Метод контроля трибологических свойств азотированных конструкционных сталей

Структура и износ азотированной стали 38Х2МЮА

Расстояние от поверхности, мкм	Фазовый состав	Интенсивность изнашивания I_h	Положение на кривой изнашивания
0 – 5	Оксиды железа	$1.0.10^{-8}$	Приработка
5 – 20	ε-фаза ($Fe_{2-3}N$)	$(0.1-0.5).10^{-10}$	Первый уровень низкого износа
20 – 25	ε+γ' ($Fe_{2-3}N + Fe_4N$)	$0.2.10^{-9}$	Переход ко второму уровню низкого износа
>25	Диффузионная зона (α-Fe + нитриды)	$(0.3-0.5).10^{-9}$	Второй уровень низкого износа

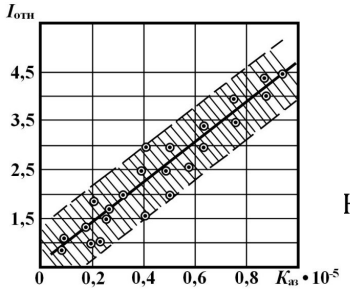
Две зоны обработки: поверхностный нитридный слой и подповерхностный слой – диффузионный азотированный слой.

Нитридный слой, состоящий преимущественно

из **ε-нитридов ($Fe_{2-3}N$)**, вносит существенный положительный эффект в триботехнические характеристики сопряжения в условиях трения скольжения. Интенсивность изнашивания слоя нитридов в несколько раз ниже, чем диффузионной зоны, благодаря нанокристаллическому состоянию ε-фазы.

Максимальной износостойкостью обладает азотированный слой, содержащий упрочняющие дисперсные частицы некогерентных нитридов.

Значимые характеристики структурного состояния азотированного слоя: размер частиц нитридов легирующих элементов, расстояние между ними, плотность распределения упрочняющих частиц, микродеформация кристаллической решетки матрицы, значения физического уширения рентгеновских линий материала зоны контактной деформации, твердость азотированного слоя и ее изменения при деформации, показатель запаса пластичности (деформационной способности).

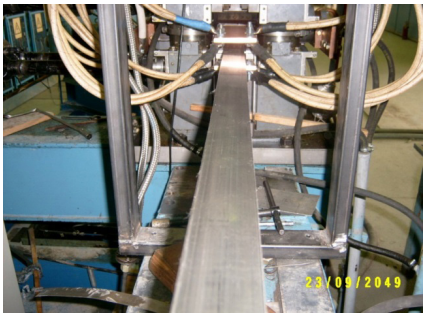


Зависимость относительной износостойкости от обощенного параметра азотированных сталей и сплавов

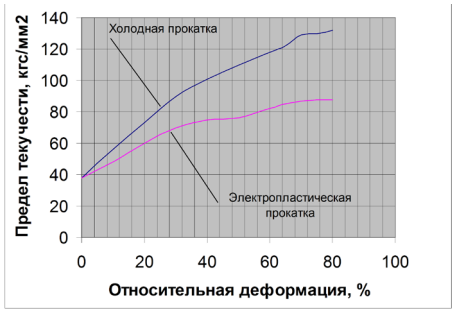
$$K_{аз} = \frac{\left[H_0 + k_1\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^{1.75}\left[DbA\left(\beta_{кр}^2 - \beta_0^2\right)\right]^2}{\left(k_2 + \frac{e}{\delta}C_y\right)^2}.$$

Разработаны методологические основы направленного воздействия на поверхность металлических материалов методами диффузионного насыщения и массопереноса в зоне контактной деформации под влиянием различных по природе и свойствам смазочных сред. Сформулированы научные положения по критериальным оценкам качества материала поверхностного слоя и выбора его состава и обработки для повышения надежности и долговечности реальных узлов трения.

Прокатка полосы из нержавеющей стали с применением импульсного тока высокой плотности



Пятикратная прокатка полос из нержавеющих сталей 12Х18Н9 и стали 12Х18Н10Т от толщины 2 мм до толщины 0.3 мм без промежуточных отжигов за счет применения импульсного тока высокой плотности



Изменение предела текучести при обычной прокатке и с применением импульсного тока (электропластической)

Применение импульсного тока при прокатке дает преимущества по сравнению с обычной прокаткой: устраняются операции промежуточных отжигов; уменьшается энергопотребление приводами прокатных станов 30 %; повышается производительность станов в 1.5 раза; уменьшается анизотропия материала; повышается остаточная пластичность заготовок; увеличивается длина заготовок на 10–15 % за счет сокращения ширины; подавляются нежелательные структурно-фазовые превращения.

Прокатный стан разработан совместно с ЦАГИ.

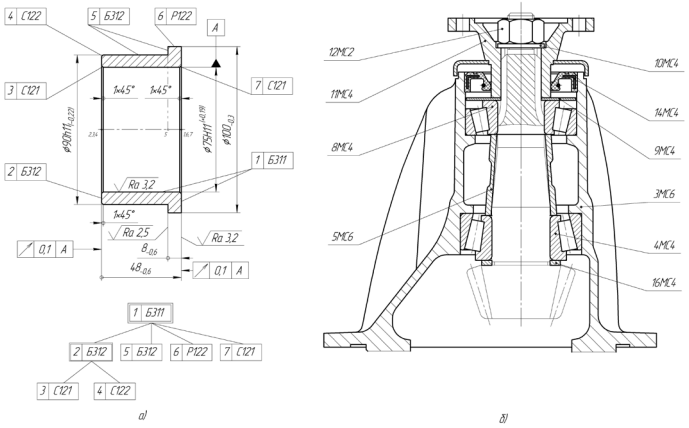
Сравнительный анализ особенностей структурно-фазового состояния и трибологического поведения ионно-плазменных покрытий с композитной структурой

Сравнительному анализу подвергались механические и трибологические характеристики покрытий Cr-DLC: *H* – нанотвердость и DCr – размер ОКР хрома; зависимость *f* – коэффициента трения и *N* – числа циклов, выше которого возникает нестабильность коэффициента трения от нагрузки *P* при испытаниях на фрикционную усталость; Li – пороговые нагрузки для стадий (1)–(5) процесса повреждения при скретч-тесте.

На основе проведенного электронно-микроскопического изучения морфологии повреждений поверхности покрытий Cr-DLC при инструментальном царапании было впервые показано, что при изменении структурно-фазового состояния покрытия меняется как морфология поверхности царапин, так и механизм поверхностного разрушения, определяющий эту морфологию.

Модульная технология

Модульная технология – высокоэффективный метод организации производства изделий, в основе которой лежит представление изделий в виде совокупностей модулей поверхностей (МП) и модулей соединений (МС) деталей.



Чертежи: а) детали в модульном исполнении с графом. б) редуктора с указанием МС

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДУЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Производство деталей становится высокоэффективным на уровне:

отрасли

1. Создание единой отраслевой элементной базы средств технологического обеспечения на модульном уровне. как для изготовления деталей и сборки изделий
2. Управление организацией создания специализированных производств. в частности предметно-специализированных производств

предприятия

1. Сокращение трудоемкости и сроков технологической подготовки производства.
2. Повышение точности определения потребностей в средствах технологического оснащения для выполнения производственной программы
3. Повышение качества управления производственным процессом

рабочего места

1. Возможность специализации рабочих мест под изготовление МП в условиях мелкосерийного и серийного производств.
2. Возможность изготовления МП по последовательно-параллельной схеме
3. Исключение избыточности в потребностях обрабатывающего инструмента. зная требуемые инструментальные наладки под изготовление заданных МП

ВИБРОАКУСТИКА МАШИН

Основатель научной школы



Д.т.н., профессор
Михаил Дмитриевич
ГЕНКИН
1910–1995

Заведующий отделом «Виброакустика машин»

Член Совета по комплексной проблеме «Гидрофизика» при Президиуме РАН, специалист в областях динамики зубчатых передач, колебаний и излучения цилиндрических оболочечных конструкций в жидкости.



Д.т.н., с.н.с.
Олег Иванович
КОСАРЕВ

Основные научные направления

- Исследование колебаний, излучения и дифракции цилиндрических оболочек
- Динамика и прочность зубчатых передач
- Виброакустическая диагностика машин

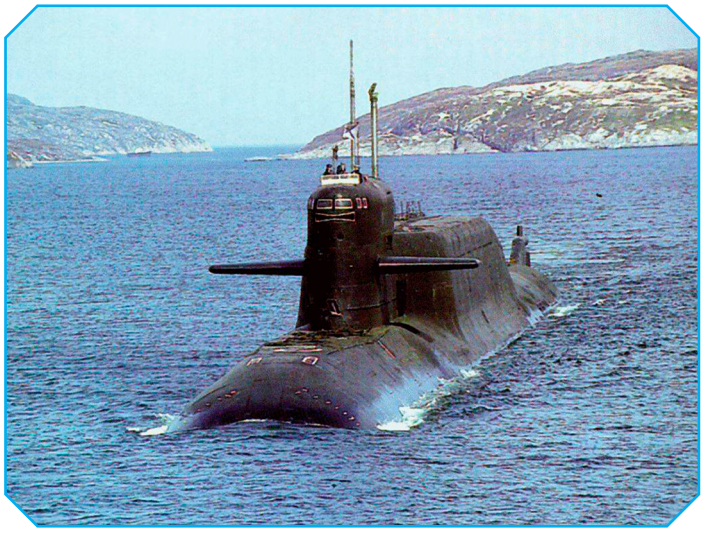
Основные научные результаты

Отдел виброакустики машин был создан в 1963 году и совместно с другими институтами, конструкторскими бюро и заводами изготовителями принимал активное участие в создании отечественного атомного подводного флота. Постановлением Правительства отдел был привлечен к созданию малошумных главных турбозубчатых агрегатов (ГТЗА). В ИМАШ был построен испытательный корпус с натурным судовым редуктором, акустической камерой, создан экспериментальный отдел с новейшей виброакустической аппаратурой и средствами измерения вибраций и напряжений. Институт проводил измерения вибраций всех головных и многих серийных планетарных редукторов ГТЗА во время их сдаточных испытаний на стендах Ленинградского Кировского (ЛКЗ) и Калужского турбинного (КТЗ) заводов. Отлаженные в ИМАШ методы измерения вибраций и обработки сигналов легли в основу работы Акустических служб, созданных на: ЛКЗ, КТЗ, Северном машиностроительном предприятии и Южно-турбинном заводе (г. Николаев, Украина).

Большую помощь Институту оказывал Совет по «Гидрофизике», который возглавлял президент АН СССР академик А.П. Александров.

В отделе проводились исследования в областях управления гидроакустическими полями, разработки информационных систем по оценке акустического качества объектов, управления скрытным движением морских подвижных объектов (МПО). Разработаны научные основы создания информационных систем оценки скрытности МПО по первичным гидроакустическим полям, предусматривающие комплексное решение задач скрытности на основе: теории колебаний, теории информации, теории вероятности, теории обнаружения, гидроакустики, теории корабля, океанологии, тактики использования подводных сил.

На базе комплекса компьютерных программ создана Экспертная система оценки акустической скрытности, позволяющая прогнозировать оценку скрытности МПО в акваториях Норвежского, Баренцева и Белого морей.



Испытание малошумных ГТЗА

Данная система использовалась в Военно-Морском Инженерном Институте (г. Санкт-Петербург) и на Северном Флоте.

В последние годы разрабатывались методы виброакустических расчетов и вибродиагностики различных объектов.

В обеспечение решения поставленных задач на основе проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Определено точное выражение импеданса излучения конечной цилиндрической оболочки при произвольном распределении колебательной скорости по ее поверхности.

2. Получено дисперсионное уравнение колебаний оболочки в жидкости и определены его корни.

3. Разработана методика расчета вынужденных колебаний цилиндрической оболочки в жидкости, возбуждаемых дискретными и распределенными силами.

4. Разработана методика расчета первичного поля конечной цилиндрической оболочки в дальней зоне.

5. Разработана методика расчета дифракционного (вторичного) поля конечной оболочечной конструкции в дальней зоне.

6. Разработаны способы гашения дифракционного поля.

7. Разработано программное обеспечение.

8. Проведены расчетные исследования.

Примеры динамической модели цилиндрической оболочки и результатов расчетов приведены на рисунках.

Результаты, полученные по другим направлениям исследований:

Создан численный метод расчета параметров упругой гидродинамической смазки в узлах трения (подшипники качения, зубчатые передачи).

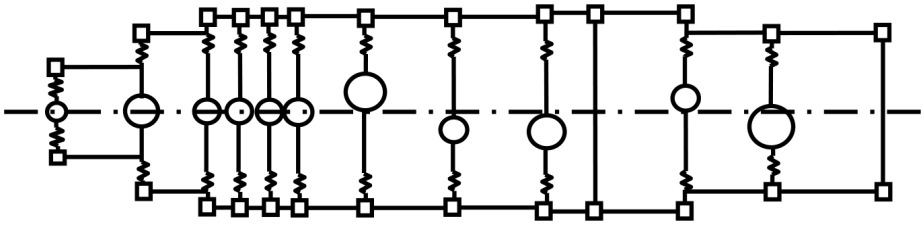
Проведено расчетное исследование динамических характеристик планетарного редуктора ГТЗА.

Разработан принципиально новый метод вибромониторинга технического состояния машинного оборудования с использованием результатов дискриминантного анализа вибраций, обеспечивающий обнаружение зарождающихся дефектов и оперативную диагностику неисправностей оборудования.

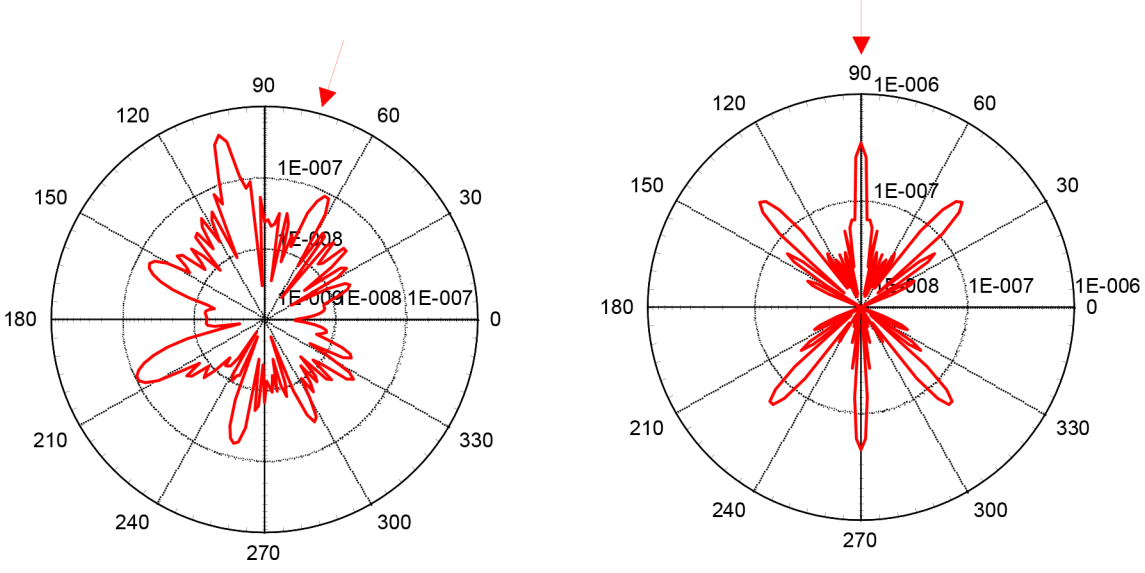
Разработан программный комплекс многомерного дискриминантного анализа вибросигналов в обеспечение процедур вибромониторинга, обнаружения эксплуатационных повреждений и локализации источников повышенной виброреактивности машинного оборудования.

Проведено моделирование использования новой технологии вибромониторинга на ГТУ на базе двухвального авиационного двигателя ПС-90.

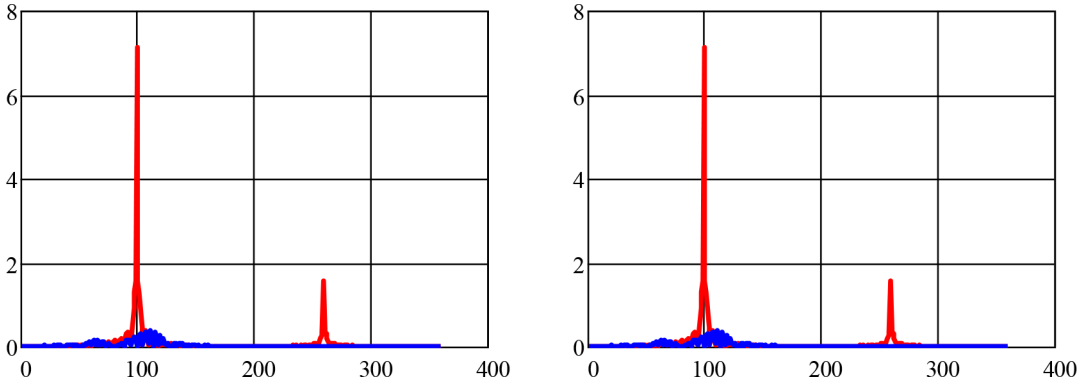
На основе анализа современного состояния норм прочности и расчетно-экспериментальных исследований в области живучести самолетных конструкций, с целью повышения безопасности эксплуатации гражданских самолетов получены закономерности роста трещин при нерегулярных спектрах напряжений и поправочные коэффициенты для учета влияния различных факторов на коэффициент интенсивности напряжений в продольных стыках обшивки фюзеляжа при многоочаговых трещинах.



Динамическая модель цилиндрической оболочки



Диаграммы направленности дифракционного поля



Эффективность гашения дифракционного поля

Разработаны новые методы расчета нагруженности и прочности зубчатых передач, работающих в реальных условиях эксплуатации, в том числе при перекосе в зацеплении зубьев. Некоторые из этих методов используются на предприятиях оборонного промышленного комплекса.

Впервые разработана арбитражная методика экспериментальной оценки крутильных колебаний в сечении вала и угла закрутки вала между сечениями методом временных интервалов, учитывающая влияние поперечных перемещений вала и/или датчиков угловой вибрации, инструментальную погрешность расположения маркеров угловых положений вала. Создан программно-технический комплекс (ПТК) мониторинга крутильных колебаний роторных агрегатов, обеспечивающий наилучшую (по сравнению с зарубежными и

отечественными аналогами) точность измерения угловой вибрации вала во всем диапазоне частот возбуждения. Проведена экспериментальная апробация ПТК на валопроводе турбоагрегата мощностью 350 МВт, подтвердившая возможность регистрации собственных частот крутильных колебаний на всех режимах работы турбоагрегата. Показано, что мониторинг изменения собственных частот крутильных колебаний валопровода турбоагрегата без учета влияния режимных параметров турбоагрегата позволяют обнаруживать трещины вала, начиная с 35 % площади сечения вала. Учет влияния режимных параметров позволяет обеспечивать обнаружение трещин усталости вала, в том числе наиболее трудно обнаруживаемые кольцевые, начиная с 2…5 % площади сечения вала, что является абсолютным рекордом по раннему обнаружению дефектов типа «трещина вала» среди всех известных методом оперативной диагностики.

Область применения: энергетика, авиадвигателестроения, машиностроение, роторные агрегаты любых типов. Примеры применения приведены на рисунках.

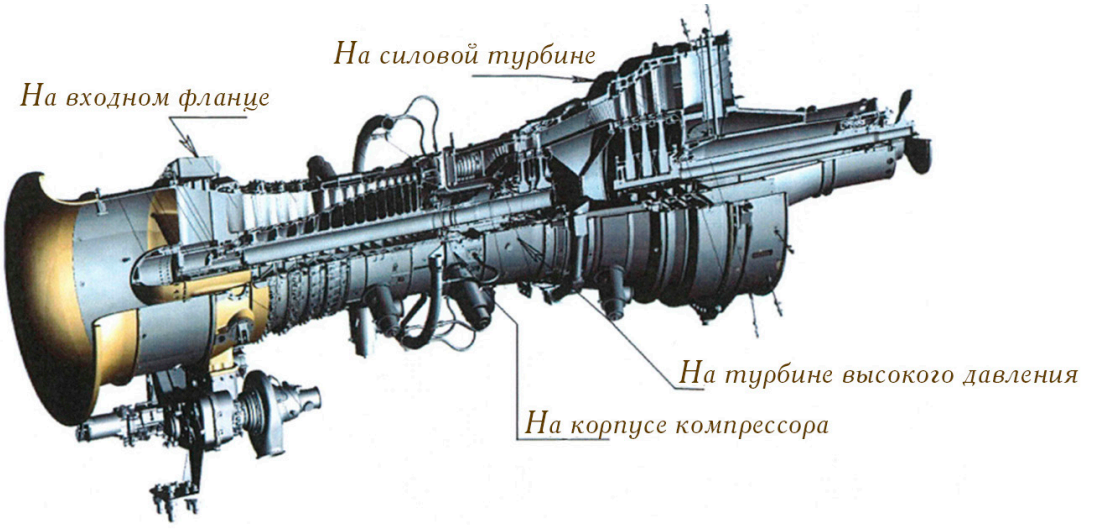
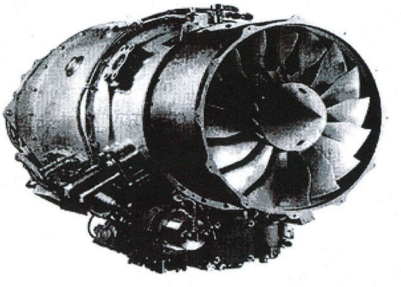
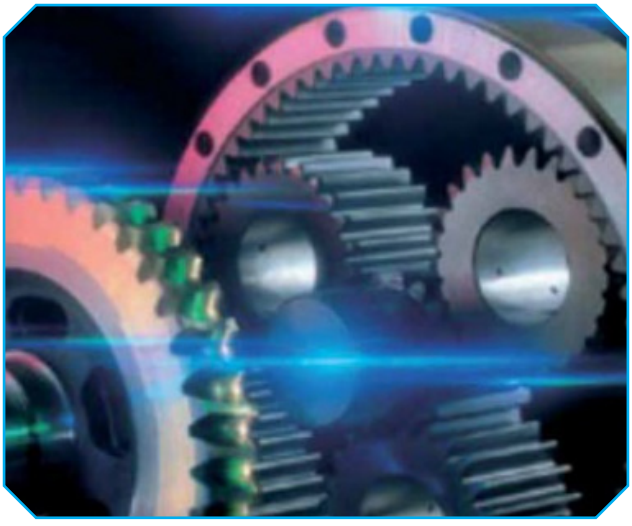


Схема установки вибродатчиков на корпусных конструкциях ГТУ с двигателем авиационного типа ПС-90



Газотурбинный двигатель ДУ-80, на котором отработана методика расчета прочности конструкций



Зубчатые передачи



Паровая турбина К-1200-6,8/50
для НВАЭС и ЛАЭС



Костромская ГРЭС
турбоагрегат 1200 МВт



Устройство мониторинга крутильных
колебаний валопровода турбоагрегата
350 МВт

Теоретическая и прикладная акустика

Заведующий отделом
«Теоретическая и прикладная акустика»

Заслуженный деятель науки Российской Федерации, Председатель секции «Виброакустика» Научного совета РАН «Акустика», вице-президент Российского акустического общества.



Д.ф.-м.н.,
Юрий Иванович
БОБРОВНИЦКИЙ

Основные научные направления

- Разработка принципов создания упругих сред и структур со специальными волновыми и звукопоглощающими свойствами, в том числе акустических метаматериалов, для применения в авиации, ракетно-космической технике, приборостроении.
- Разработка и создание экспериментальных установок для исследования акустических свойств акустических метаматериалов и механических свойств конструкций космических приборов.
- Фундаментальные и прикладные исследования отдела направлены на разработку и создание новых методов и средств решения проблемы шума и вибраций в ракетно-космической технике и авиации, где проблему требуется решать при минимальных массах и объемах.

Основные научные результаты

1. Создана импедансная теория распространения упругих волн в акустических метаматериалах и определены принципы создания эффективных ЗП-покрытий.
2. Разработаны научные основы акустической невидимости.
3. Определены принципы создания высокоэффективных звукопоглощающих покрытий.
4. Определены принципы синтезирования составных упругих конструкций с заданными виброакустическими свойствами, применимые в создании конструкций научных космических приборов.
5. Разработаны и созданы стенды и методики для акустических испытаний акустического метаматериала (АММ) и для наземной отработки механических свойств конструкций космических приборов с собственными измерительно-вычислительными комплексам и.
6. Разработаны методики 3D моделирования и изготовления образцов АММ-звукопоглотителей и элементов из лунного реголита по технологиям PolyJet (пластик) и SLM (металл, имитатор лунного реголита).

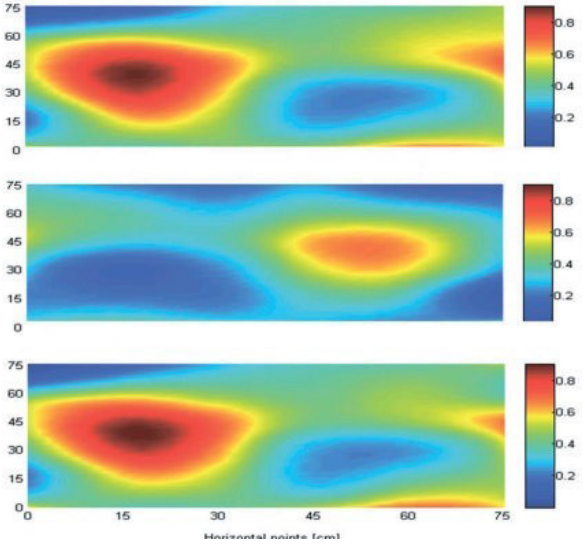
Акустическая невидимость

Создано неотражающее и нерассеивающее покрытие в лабораторном эксперименте для тела в среде, которое облучается акустическим источником.

Распределение акустического давления в среде с акустическим источником в отсутствии тела

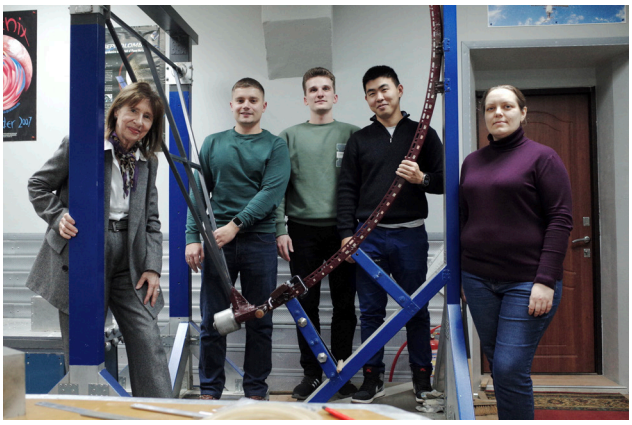
Распределение акустического давления в среде с источником и упругим телом (в сечении за телом)

То же, но тело с покрытием, импедансы которого соответствуют импедансам среды вокруг тела, так что оно акустически невидимо



Вибромеханические испытания конструкций научных космических приборов

Для проведения ударных испытаний по заданному спектру ударного отклика SRS были разработаны стенды на основе плиты на упругом основании (ringing table), позволяющие подобрать такое воздействие, которое давало бы заданный спектр в местах крепле-



Сотрудники отдела – ударники со своим стендом

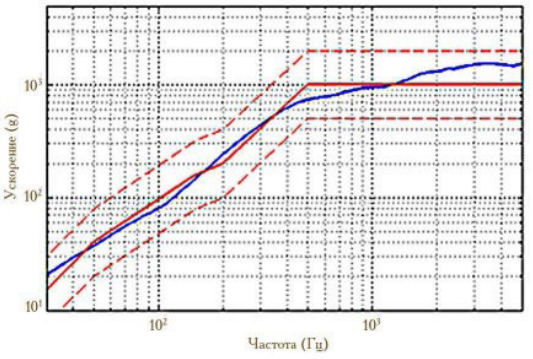
ния прибора к стенду. На стендах успешно испытаны российские приборы ДАН (проект MSL (НАСА)), МГНС (проект BepiColombo (ЕКА)), приборы проекта «Луна-25».

Для испытаний на случайную вибрацию разработана 2-х этапная методика испытаний, которая исключает перегрузку высокоточных приборов при проведении испытаний. Алгоритм реализует разработанная сотрудниками ИМАШ РАН компьютерная программа с графическим интерфейсом.

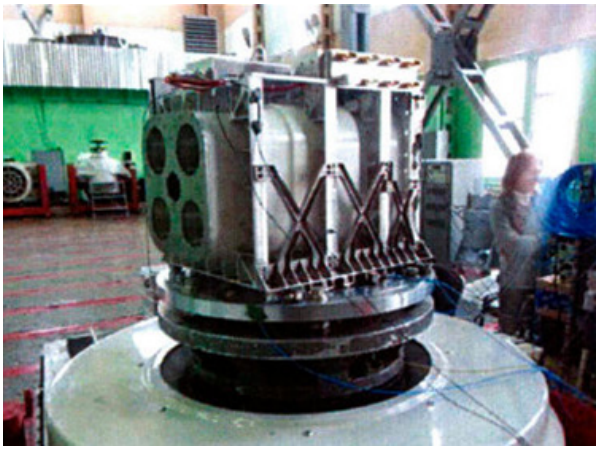


(а) (б)

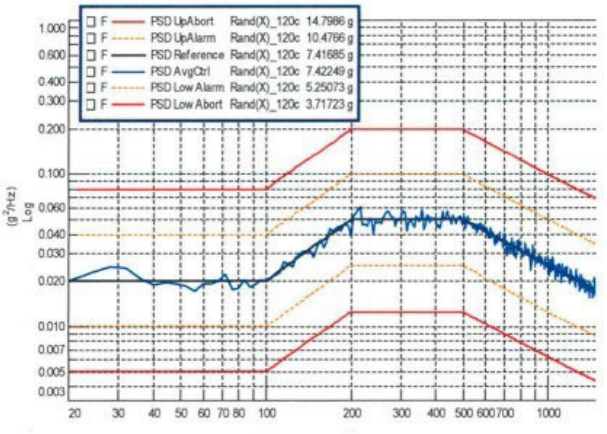
Ударные стенды ИМАШ РАН.
(а) для воздействия из плоскости крепления прибора,
(б) для воздействия в плоскости крепления прибора



Экспериментальный спектр ударного отклика SRS для прибора МГНС и требуемый (красная сплошная) с допусками (красный пунктир). Максимальное ускорение 1000g



Натурные испытания прибора Френд (проект ЭкзоМарс) на вибростенде по заданному спектру возбуждения – проект ЭкзоМарс Европейского Космического Агентства



Экспериментальный спектр возбуждения psd для прибора Френд, требуемый (синяя сплошная линия) и допуски (красные и желтые линии)

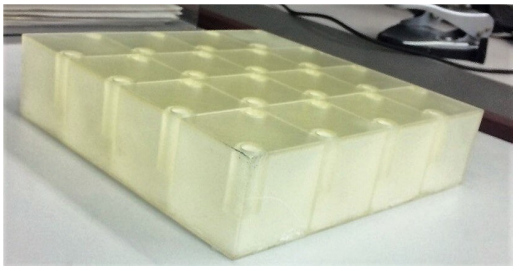
Аддитивные технологии для изготовления поглотителей звука из АММ

С помощью аддитивных технологий (PolyJet, SLM) созданы поглощающие АММ-покрытия со сложной внутренней структурой, имеющие повышенную эффективность звукопоглощения по сравнению с существующими стандартными звукопоглотителями в заданном диапазоне частот.

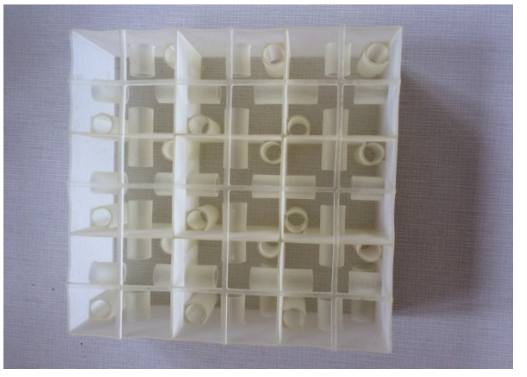
Проект РНФ № 15-19-00284 «Аддитивные технологии для решения проблемы шума в машиностроении».



Сотрудники отдела проводят испытания звукопоглотителей из метаматериалов на акустической установке, моделирующей акустические условия работы авиадвигателя

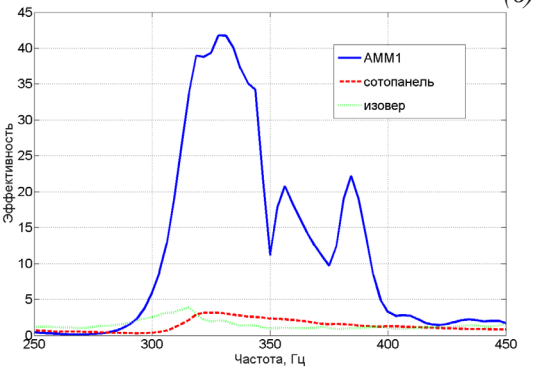


(а)

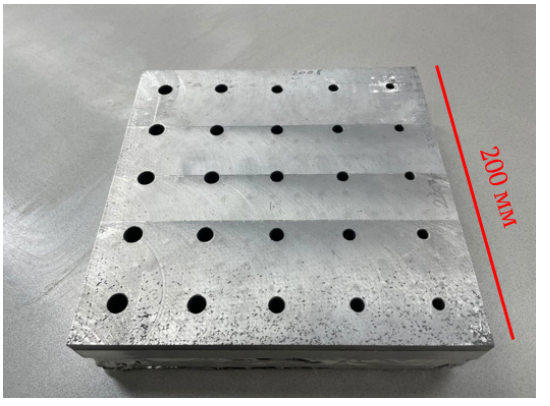


(б)

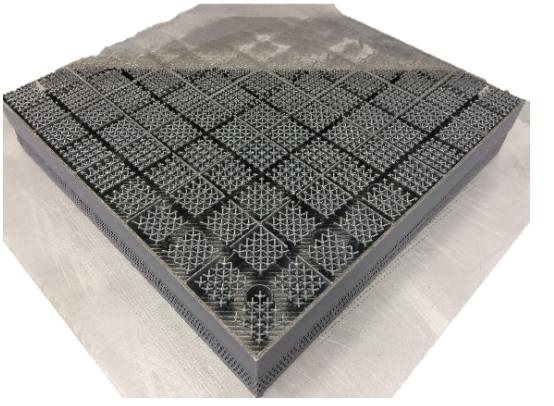
(в)



Образец-панель (а) и вид его периодической внутренней структуры (б) для испытаний на акустической установке, моделирующей акустические условия работы авиадвигателя: технология PolyJet (пластик). Эффект звукопоглощения АММ-панели (синяя линия) по сравнению с типовыми в частотном диапазоне 300-400 Гц (в)



(а)



(б)

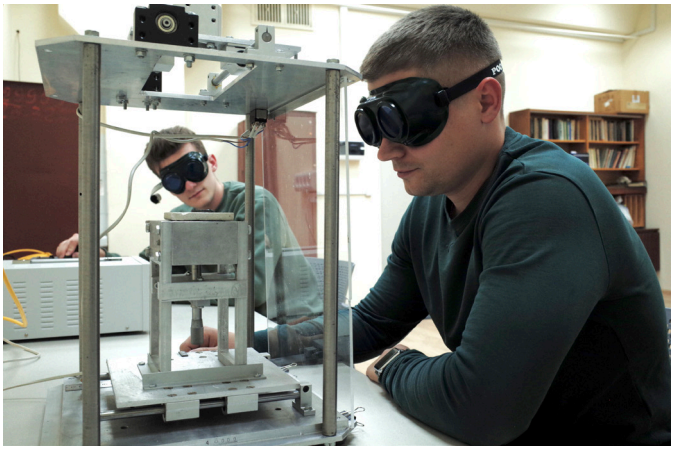
Образец-панель (а) и вид его периодической внутренней структуры (б) для испытаний на акустической установке, моделирующей акустические условия работы авиадвигателя: технология SLM (металл)

Аддитивные технологии для изготовления строительных элементов из лунного реголита

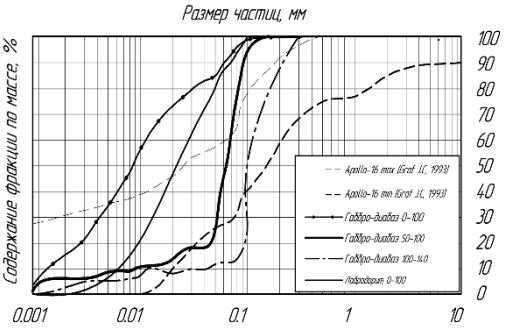
Освоение Луны и создание на ее поверхности соответствующей инфраструктуры приобретает важное значение. Одной из задач в этом направлении является разработка технологий, позволяющих создавать строительные элементы и материалы на месте из природного сырья – поверхностного лунного грунта (реголита). Среди потенциально реализуемых рассматриваются аддитивные технологии, особенно – технология селективного лазерного сплавления (СЛС). СЛС-технология разрабатывалась для изготовления изделий из порошковых материалов, а лунный реголит является таким естественным материалом.

Сотрудниками отдела продемонстрирована принципиальная возможность применения технологии селективного лазерного сплавления к имитаторам лунного реголита для будущих экспериментов в космосе – получены тестовые образцы простейшей формы.

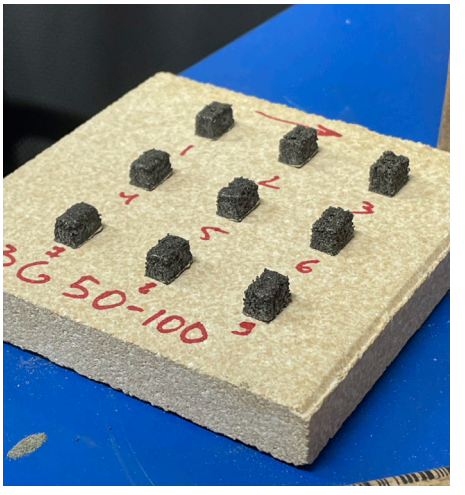
Проект РНФ № 22-22-00840 «Научные основы разработки лунного 3D принтера».



Сотрудники отдела сплавляют порошок имитатора лунного реголита на лабораторной лазерной установке



Гранулометрический состав реголита и порошковых композиций



(а)

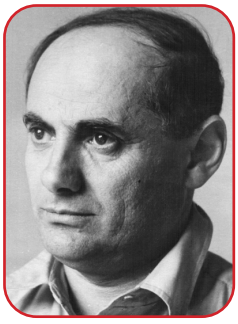


(б)

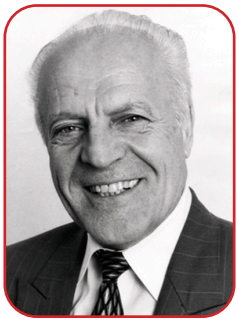
Образцы, полученные из имитатора лунного реголита с помощью селективного лазерного сплавления: а) конструкционные материалы простейшей формы, б) эмблема ИМАШ РАН (сложная форма)

ВИБРАЦИОННАЯ БИОМЕХАНИКА

Основатели научных школ



Д.т.н., профессор
Федор Менасьевич
ДИМЕНТБЕРГ
1908–1999



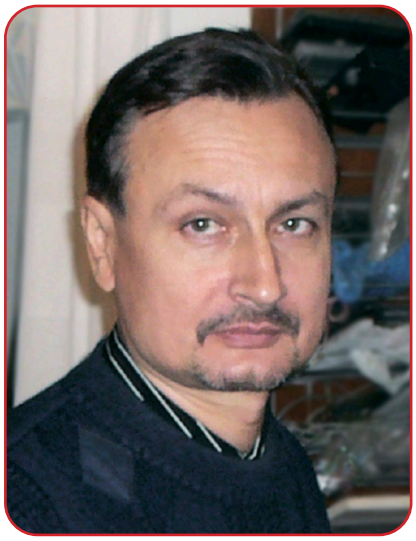
Академик АН СССР и РАН
Константин Васильевич
ФРОЛОВ
1932–2007



Д.т.н., профессор,
Максим Дмитриевич
ПЕРМИНОВ
1934–2020

Заведующий отделом «Вибрационная биомеханика»

Является специалистом в области воздействия ударно-волновых и вибрационных нагрузок на объекты с различными физико-механическими свойствами, включая биологические системы. Автор более 250 научных работ, включая 1 монографию, 9 авторских свидетельств и 7 патентов на изобретения. Награжден знаком «Изобретатель СССР».



Д.т.н.
Виктор Олегович
СОЛОВЬЕВ

Основные научные направления

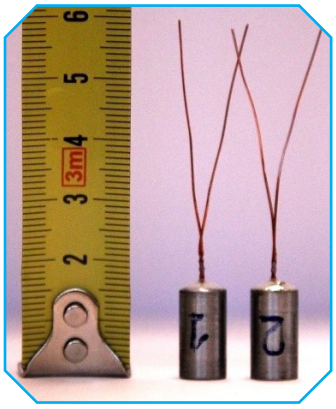
- Разработка научных основ создания твердотопливных генераторов ударных волн различного целевого назначения и защиты конструкций от ударных и волновых воздействий.
- Разработка научных основ повышения эффективности технологических машин вибрационного принципа действия с самосинхронизирующимися вибровозбудителями.
- Расчетные и экспериментальные исследования критически важных роторных систем при различных условиях эксплуатации и действующих сил.
- Разработка научных основ и средств исследования биомеханики волновых процессов в системе «человек – машина – среда», включая модели наследуемых волновых и циклических процессов в организме человека и способы повышения биосовместимости конструкционных материалов.
- Многокритериальный связной анализ, обеспечение и повышение безопасности машин, машинных и человеко-машинных комплексов в междисциплинарных проблемах машиноведения и машиностроения. Научные основы конструкционного материаловедения.
- Разработка научных основ создания технологического оборудования на принципах модульной технологии.

Основные научные результаты

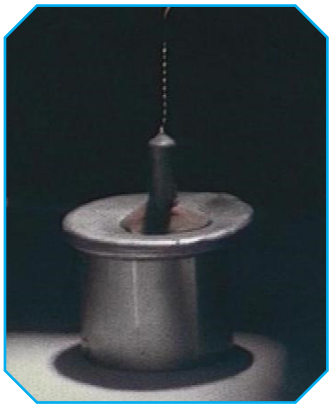
1. Разработаны теоретические основы создания твердотопливных генераторов ударных волн различного целевого назначения.
2. Разработан принцип и алгоритм автоматической настройки резонансных режимов колебаний механических систем с дебалансным вибровозбудителем асинхронного типа при переменной массе системы (в приложении к резонансным вибромашинам).
3. Разработаны и проанализированы динамические модели роторных систем различных технологических агрегатов с целью предупреждения возникновения в них опасных уровней вибрации на различных режимах эксплуатации.
4. Создана компьютеризированная система сердечно-сосудистой диагностики на основе волоконно-оптических датчиков и соответствующих математических моделей.
5. Развивается многокритериальный связный анализ обеспечения и повышения безопасности машин, машинных и человеко-машинных комплексов.

Образцы разработанных твердотопливных генераторов ударных волн различного целевого назначения

Испытания разработанных высокобезопасных средств инициирования



Разработанные специальные детонаторы



перед работой



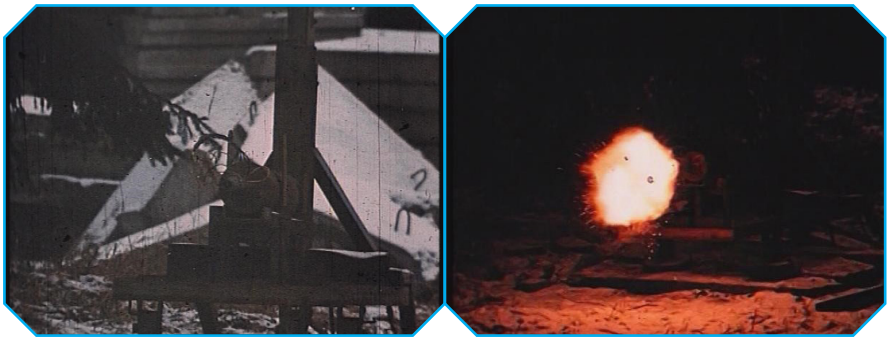
в процессе работы

испытания специальных детонаторов

Испытания твердотопливных кассетных взрывогенераторов



Разрушение взрывогенератором бетонной плиты серией последовательных взрывов



Работа взрывогенератора в воздухе (аналог детонационного ракетного двигателя)

Испытания разработанных взрывогенераторов для образования скважин в горных породах (переносные взрывореактивные комплексы)

Опытные образцы переносных взрывореактивных комплексов (ПВРК)

Упрощенный тип ПВРК *Промежуточный тип ПВРК* *Универсальный тип ПВРК*



ВУ-7А *ВУ-7В* *ВУ-14А* *ВУ-14В* *ВУ-21А* *ВУ-21В*

Этапы подготовки к применению взрывореактивных комплексов



Доставка ПВРК к месту работы



Подготовка ПВРК к работе



Зарядка конденсаторов БЭИ-7А и выбор частоты инициирования кассет с ДПУ-1

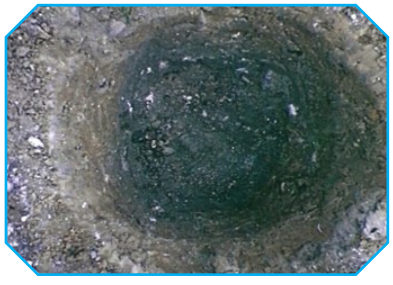
Результаты образования скважин при применении взрывореактивных комплексов



Разрушение породы и вынос шлама продуктами взрыва



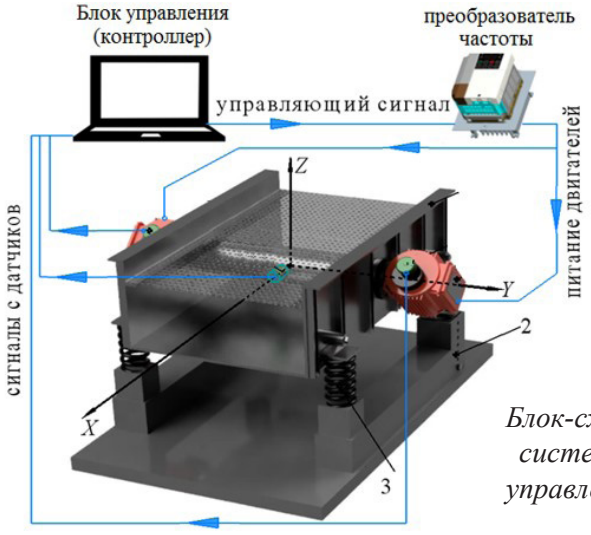
Скважина, образуемая одним ПВРК



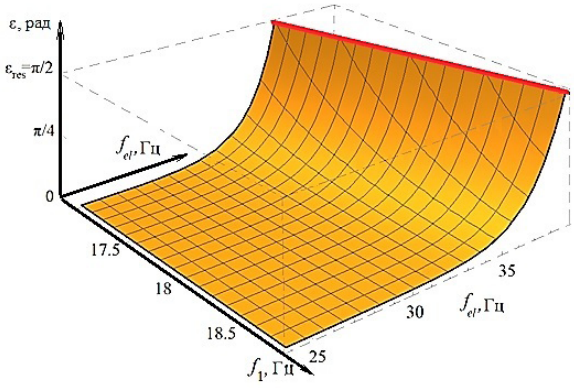
Вид скважины сверху

Автоматическое поддержание резонансных колебаний вибрационной машины при изменении массы обрабатываемого материала

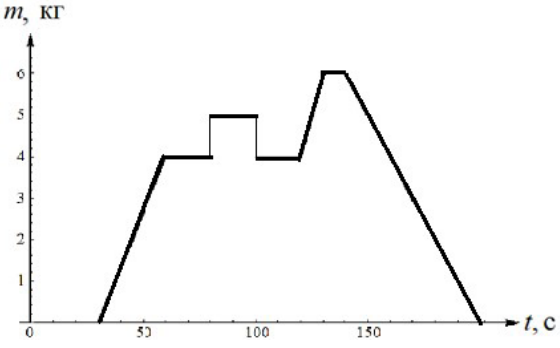
Цель работы: обеспечение устойчивой работы вибрационных машин с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями в резонансном режиме колебаний при возможных изменениях параметров системы.

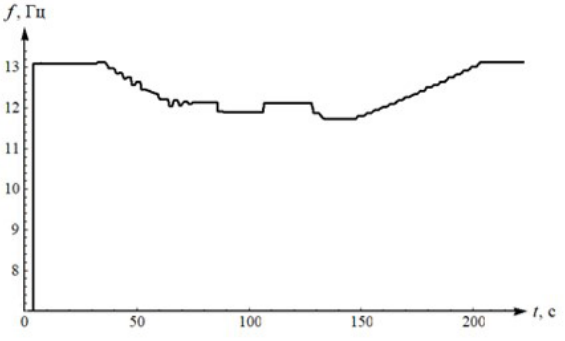


Блок-схема системы управления



Динамический портрет вибромашины





Результаты моделирования

Предложен принцип создания резонансных вибромашин с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями и системы поддержания резонансных колебаний при изменениях параметров системы.

Обкатывание гибким полым ротором соосно расположенного внутреннего жесткого ротора – статора

Цель работы: исследование режима безотрывной обкатки внутреннего вала внешним ротором.

Разработана методология аналитического, численного и экспериментального исследования двух соосных роторов, когда внешний гибкий ротор, представляющий собой полый цилиндр на податливых опорах, при закритических скоростях, в результате собственной прецессии контактирует с медленно вращающимся и мало деформируемым внутренним валом – статором.

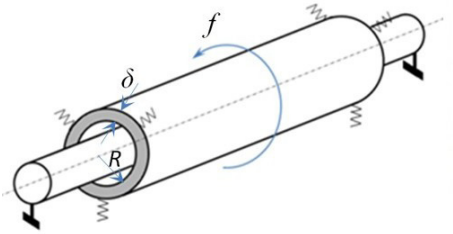
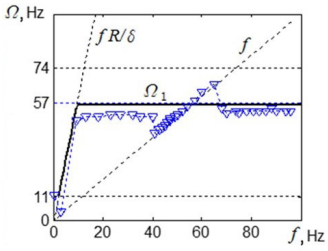


Схема соосных роторов



Траектория прецессии



Частотные характеристики

Динамика внешнего ротора идентифицирована на основе траекторий его прецессии, частот и форм колебаний, зарегистрированных в эксперименте, и расчетом частотных характеристик, в т.ч. диаграмм Кэмпбелла. Установлена возможность возникновения обратной прецессии ротора при обкатке статора.

Энергопоглощающее кресло с обратимой адаптацией

Разработан новый подход к построению энергопоглощающих кресел с обратимой адаптацией (ЭПКОА) (Патент на изобретение № 2699461 от 13.08.2018). Результат достигается за счет изготовления сиденья и спинки кресла из гигроскопического материала – пенополивинилформаля (ППВФ), способного адаптироваться к телу оператора и фиксировано принимать его форму, а также обратимо и управляемо изменять свою жесткость в зависимости от степени увлажнения ППВФ, что позволяет обеспечить эффект энергопоглощения при ударных нагрузках или для виброизоляции тела оператора ЭПКОА.

Установлена возможность использования ППВФ для создания адаптируемых к опорной поверхности активных виброизоляционных опор, в том числе для станков или прецизионного оборудования.

ЭПКОА позволит повысить комфорт, надежность и безопасность в процессе эксплуатации и снизить габаритно-массовые параметры конструкции. Конструкция ЭПКОА обеспечивает возможность регулирования жесткости адаптируемой поверхности и энергопоглощения, а также использования кресла детьми, пассажирами невысокого роста, инвалидами и людьми подобных категорий без посторонней помощи.

Интеллектуальный самоперемещающийся адаптивный протез верхней конечности на основе параллельного робота «Октаэдральный додекапод»

Разработана новая концепция интеллектуального самоперемещающегося адаптивного протеза верхней конечности, построенного на основе робота-манипулятора параллельной структуры в виде октаэдрального додекапода (Патент на изобретение № 2738859 от 10.02.2020). Конструктивные принципы позволяют обеспечить его самоперемещение и самоустановку на культю независимо от уровня ампутации, высокую удельную жесткость, а также надежное схватывание предметов независимо от их геометрической формы, размеров и физических свойств материала изготовления.

Адаптивный протез верхней конечности в виде робота-манипулятора может самостоятельно передвигаться для захвата и доставки мелких предметов или для подключения к зарядному устройству.

В основе конструкции протеза двенадцать линейных приводов, образующих ребра активного октаэдра. За счет изменения длины ребер, робот способен перемещаться на небольшие расстояния. Одна из граней октаэдра предназначена для захвата и «доставки» небольших предметов, другая — для захвата культи руки. Таким образом, пациент может манипулировать предметами, когда робот-протез «возвращается» на культю пациента, как и в случае с обыкновенным, пристяжным протезом-манипулятором.

Реверсивное одноприводное пушпульное транспортное средство для перемещения по внутренним поверхностям

Разработано оригинальное одноприводное пушпульное транспортное средство для перемещения по внутренним поверхностям (Патент на изобретение № 2743787 от 17.07.2020).

Технические результаты: расширение функциональных возможностей устройства и повышение надежности за счет обеспечения возможности организации перемещений по внутренним поверхностям внутри труб большого диаметра, а также в пространстве между плоскими поверхностями как постоянного, так и переменного профиля по длине без необходимости увеличения поперечных размеров корпуса линейного привода и увеличения сцепления фиксирующих элементов с гладкой внутренней поверхностью, а также обеспечения возможности развития значительных тяговых усилий и перемещения в криволинейных участках труб с малым радиусом поворота, что существенно расширяет область применения.

Предлагаемое транспортное средство может быть использовано как для транспортировки различных объектов, так и для протягивания кабелей и труб внутри труб большого диаметра, а также при проведении ремонтно-строительных и аварийно-спасательных работ.

Адаптивный мобильный пространственный робот-манипулятор для перемещения в межтрубном пространстве

Разработан оригинальный адаптивный мобильный пространственный робот-манипулятор для перемещения в межтрубном пространстве (Патент на изобретение № 2786065 от 15.07.2022).

Робот-манипулятор представляет собой активную пространственную двенадцатистержневую параллельную структуру, стержни которой образуют каркас кругового прямого цилиндра с фронтальным и тыльным основаниями и выполнены в виде дугообразных приводов криволинейного перемещения с одинаковыми длинами хорд, равными расстояниям между смежными вершинами. Каждое из оснований цилиндра образовано тремя дугообразными приводами криволинейного перемещения, шарнирно соединенными в вершинах соответственно фронтального и тыльного оснований цилиндра, а дуги смежных пар боковых дугообразных приводов криволинейного перемещения выполнены в виде участков гелисы правого и левого хода.

Таким образом, обеспечивается снижение габаритно-массовых характеристик устройства и расширение его функциональных возможностей за счет организации уменьшения минимального межтрубного расстояния, а также увеличения максимально допустимого диаметра протяженных предметов, например труб и кабелей, перемещаемых внутри трубы.

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ НАУЧНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

«Наукоемкие технологии создания машин будущего»

Основными задачами ЦКП являются:
• проведение исследований, измерений и испытаний на научном оборудовании центра;
• обеспечение доступа к современному научно-исследовательскому оборудованию учёных различных областей знаний из сторонних организаций;
• обеспечение единства и достоверности измерений при проведении научных исследований на оборудовании ЦКП;
• подготовка специалистов и кадров высшей квалификации (студентов, аспирантов, докторантов) на базе современного научного оборудования;
• повышение уровня загрузки и использования научного оборудования ИМАШ РАН исследователями и научными коллективами, а также заинтересованными пользователями из сторонних организаций.

Научные направления деятельности ЦКП:
• Научные основы создания волновых машин и аппаратов для реализации прорывных технологий в интересах машиностроения и энергетики
• Разработка современных технологий получения конструкционных материалов, в том числе композитов и продуктов (нефтехимии и пищевых) с уникальными свойствами.
• Разработка моделей, критериев и методов обеспечения прочности, надежности и живучести элементов машин и конструкций на основе физико-математического, имитационного моделирования и мониторинга процессов нагружения.
• Роль структурного состояния в формировании деформационных и прочностных характеристик конструкционных материалов при статическом, длительном статическом, циклическом и контактном нагружении.
• Физико-математическое моделирование трибологических процессов и разработка материалов и технологий, обеспечивающих требуемые фрикционно-износные характеристики сложнонагруженных узлов трения.
• Разработка принципов создания упругих сред и структур со специальными волновыми и звукопоглощающими свойствами, в том числе акустических метаматериалов, для применения в авиации, ракетно-космической технике, приборостроении.
• Разработка методов анализа и синтеза новых классов механизмов и машин новых поколений.
• Разработка интеллектуальных систем управления технологическими процессами и оборудованием.
• Вибрационные процессы, виброзащита в машиноведении, биомеханика систем «человек-машина-среда».
• Динамические и виброакустические процессы в технике.

Перечень оборудования, входящего в ЦКП размещен на сайте ИМАШ РАН:
http://imash.ru/nauka-dejt/ckp/oborudovanie-tskp-1/

ПОДГОТОВКА НАУЧНЫХ КАДРОВ

ИМАШ РАН осуществляет прием в аспирантуру по очной форме за счет бюджетных ассигнований и по договорам об оказании платных образовательных услуг по направлениям подготовки и научным специальностям:

1.1 Математика и механика:

1.1.7 Теоретическая механика, динамика машин.
1.1.8 Механика деформируемого твердого тела.
1.1.9 Механика жидкости, газа и плазмы.
1.1.10 Биомеханика и биоинженерия.

1.2 Компьютерные науки и информатика:

1.2.2 Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

2.3 Информационные технологии и телекоммуникации:

2.3.5 Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.
2.3.3 Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами.

2.5 Машиностроение:

2.5.2 Машиноведение.
2.5.3 Трение и износ в машинах.
2.5.4 Роботы, мехатроника и робототехнические системы.
2.5.9 Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.
2.5.11 Наземные транспортно-технологические средства и комплексы.
2.5.21 Машины, агрегаты и технологические процессы.

2.5 Химические технологии, науки о материалах, металлургия:

2.6.2 Металлургия черных, цветных и редких металлов.

2.8 Геология, разведка и разработка полезных ископаемых:

2.8.2 Технология бурения и освоения скважин.
2.8.4 Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

Диссертационные Советы при ИМАШ РАН :

Совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.1.075.01 на базе ИМАШ РАН по научной специальности:

2.5.2 – Машиноведение (технические науки)

Совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 24.1.075.02 на базе ИМАШ РАН по научной специальности:

1.1.7 – Теоретическая механика, динамика машин (технические науки)

Объединенный совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 99.0.033.02 на базе ИМАШ РАН и БГТУ по научным специальностям:

2.5.3 – Трение и износ в машинах (технические науки)

2.3.3 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки)

2.6.17 – Материаловедение (машиностроение) (технические науки)



ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Подготовка и издание научной и справочной литературы, в том числе по конструированию машин, вибрации в технике, прочности атомных реакторов, малоцикловой прочности, основам проектирования машин, издание уникальной 40-томной энциклопедии «Машиностроение», издание научных периодических журналов:



Журнал основан в 1965 году, публикует материалы по теории машиностроения в целом и по исследованию надёжности машин в частности, статьи по конструированию и усовершенствованию работы машин и приборов.

Редакционная коллегия:
Главный редактор - член-корреспондент РАН Украинский Леонид Ефимович
Заместители главного редактора:
д.т.н., профессор Азиков Николай Сергеевич
д.т.н., профессор Романов Александр Никитович
д.х.н., профессор Сайфуллин Инсаф Шарифуллович
Ответственный секретарь - к.т.н. Хасьянова Динара Усмановна

Индексирование и реферирование: Web of Science, Scopus

http://mecheng.imash.ru/
mecheng-imash@mail.ru

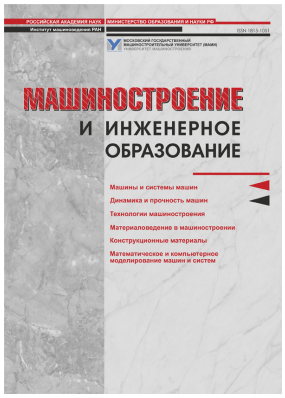


Журнал основан в 1982 году, публикует статьи и обзоры по результатам научных исследований и разработок в России и за рубежом в области машиноведения и машиностроения, включая проблемы экономики, управления, автоматизации и инноваций.

Редакционная коллегия:
Главный редактор - академик Ганиев Ривнер Фазылович
Заместители главного редактора:
д.ф.-м.н. Березин Александр Васильевич
член-корреспондент РАН Сироткин Олег Сергеевич
д.х.н., профессор Сайфуллин Инсаф Шарифуллович
профессор L. Papich (Сербия)
Ответственный секретарь - к.т.н. Хасьянова Динара Усмановна

Индексирование и реферирование: Web of Science, Scopus

http://imash.ru/publishing/journal2/
pma-info@mail.ru



Журнал создан в 2004 г. согласно решениям Президиума РАН и Министерства образования и науки РФ в целях интеграции науки, образования и производства, а его учредителями выступили Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской Академии наук и Московский государственный индустриальный университет (МГИУ). Тематика журнала охватывает широкий круг научных и технических тем в сфере машиностроения, актуальные проблемы высшего технического образования, а также вопросы интеграции науки, образования и производства.

Редакционная коллегия:
Главный редактор - академик Ганиев Ривнер Фазылович
Заместители главного редактора:
д.т.н., профессор Пановко Григорий Яковлевич
д.т.н., профессор Овчинников Виктор Васильевич
д.х.н., профессор Сайфуллин Инсаф Шарифуллович
Ответственный секретарь - к.т.н. Хасьянова Динара Усмановна

http://mospolytech.ru
mio_imash@mail.ru

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Институтом заключены и действуют в настоящее время двусторонние соглашения с иностранными организациями-партнерами по научно-техническому сотрудничеству и обмену студентами и аспирантами, наиболее продуктивное сотрудничество с:

БЕЛАРУСЬ	Институт прикладной физики НАН РБ
БЕЛАРУСЬ	Физико-технический институт НАН РБ
БЕЛАРУСЬ	Объединенный институт машиностроения НАН РБ
КАЗАХСТАН	Институт механики и машиноведения им. акад. У.А. Джолдасбекова
КИТАЙ	Шанхайская техническая компания Цзинхуа
КИТАЙ	Исследовательская ассоциация современных образовательных и компьютерных наук (Гонконг)
ИТАЛИЯ	Университет Падуи
ИСПАНИЯ	Институт материаловедения Валенсийского политехнического университета
ВЕНГРИЯ	Институт «СИММЕТРИОН» Международного общества СИММЕТРОЛОГИИ



Участники международного симпозиума Romansy

Инновационная деятельность

Инновационные разработки ИМАШ РАН последних лет

- Аэродинамический центробежный классификатор и волновой дозатор порошков (патент № 020863, 2015 г.)
- Экспериментальные методы, программы и аппаратура для исследований:
  - процессов накопления повреждений, определения размеров деффектов материалов (патент № 2569078, 2015 г.);
  - триботехнических характеристик материалов и смазок (патент № 2570057, 2015 г.)
- Многопоточная вально-планетарная коробка передач (патент № 2724943, 2019 г.)
- Погружной многоступенчатый центробежный насос (патент № 2726977, 2019 г.)
- Устройство для циклического погружения и всплытия морского буя (патент № 2733550, 2019 г.)
- Способ моделирования переходных процессов накопления повреждений (патент № 2704575, 2019 г.)
- Технология формообразования деталей ГТД из жаропрочных сплавов методом раскатки в изотермических условиях (патенты №№ 2679033, 2019 г.; 2704365 от 2019 г.; 2725455 от 2020 г.)
- Внутритрубное транспортное средство (патент № 2741148, 2020 г.)
- Способ и система контроля точности лазерного дальномера (патент № 2745579, 2020 г.)
- Установка для измельчения и активации сыпучих материалов (патент № 2750191, 2020 г.)
- Управляемый протез кисти руки (патент № 2754125, 2020 г.)
- Способ добычи трудноизвлекаемых нефтей (патент № 2765786, 2021 г.)
- Беспилотный летательный аппарат на водороде (патент № 2764049, 2021 г.)
- Валковая мельница (патент № 214209, 2022 г.)
- Способ мониторинга несущей способности изделий (патент № 2787260, 2022 г.)
- Самоохлаждающийся инструмент для сварки трением с перемешиванием расплава свариваемых деталей (патент № 216182, 2022 г.)
- Волновой способ получения карбоксиметилированного крахмала и установка для его осуществления (патент № 2778513 C1, 2022 г.)
- Штамп для горячего деформирования дисков газотурбинных двигателей (патент № 216591, 2022 г.)
- Хирургический робот-манипулятор (патент № 043724, 2022 г.)
- Широкодиапазонное устройство для бестрассовой проверки параметров лазерных дальномеров (патент № 2779243, 2022 год)
- Пятиподвижный манипулятор для шлифовки керамических изделий (патент № 2799610, 2023 г.)
- Устройство для пространственного манипулирования с пятью степенями свободы (патент № 2801187, 2023 г.)
- Технология изготовления дисков для ГТД комбинированным методом давления с кручением (патент № 216591 U1, 2023 год)

Количество запатентованных разработок ИМАШ РАН

2019 год - 23	2021 год - 17
2020 год - 17	2022 год - 28

Количество действующих на 2023 год патентов – 146

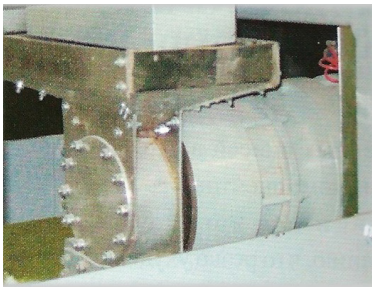
Волновой смеситель-активатор разнородных компонентов сухих смесей



Область применения: производство стройматериалов, пищевая промышленность.
Назначение: высококачественное перемешивание, диспергирование и механохимическая активация разнородных компонентов сухих смесей.

Преимущества:
- снижение энергопотребления до 30 %, по сравнению с традиционным перемешиванием;
- увеличение срока службы оборудования до 3-х раз;
- повышение прочности получаемых материалов (на сжатие – до 1.5 раз, водонепроницаемости – до 5 раз и морозостойкости – до 2 раз);
- снижение расхода модифицирующих добавок до 50 %;
- повышение качества и ускорение процесса перемешивания.

Волновой дозатор сыпучих компонентов



Область применения: химическая, пищевая промышленность, производство строительных материалов.
Назначение: точное дозирование сыпучих, склонных к слеживанию компонентов.

Преимущества:
- отсутствие слеживания материала;
- высокая точность дозирования компонентов в потоке;
- возможность регулирования скорости дозированного потока в пределах от 2 до 100 % номинальной производительности;
- низкий уровень шума;
- сохранение работоспособности при заклинивании ротора;
- отсутствие вибрации несущих конструкций.

Установка для очистки и полировки поверхностей деталей газожидкостной моющей средой



Область применения: машиностроение, двигателестроение, производство медицинской техники.
Назначение: эффективное удаление производственных загрязнений с деталей сложной конфигурации.

Преимущества:
- возможность удаления притирочных паст, нагара, остатков формовочной смеси, жировых пленок и т.п. без углеводородных растворителей;
- уменьшение расхода моющих средств в 2 раза;

- уменьшение температуры подогрева;
- сокращение времени обработки в 2 раза;
- уменьшение энергопотребления;
- исключение ручных операций.

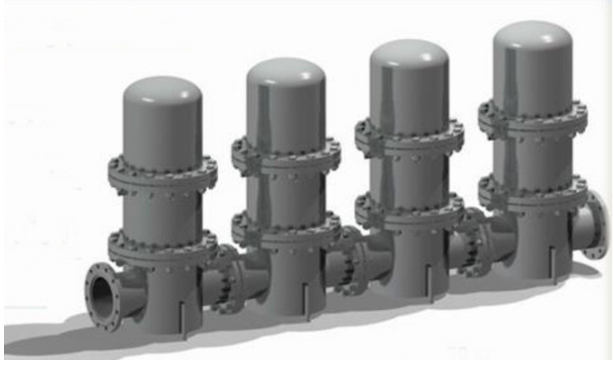


Установка для очистки и полировки поверхностей деталей газожидкостной моющей средой

Область применения: пищевая и химическая промышленности.
Назначение: для интенсивного смешения и гомогенизации многофазных и многокомпонентных жидких составов, а также интенсификации протекания химических реакций между компонентами непосредственно в потоке жидкой среды.

Преимущества:
- низкое энергопотребление;
- высокая интенсивность воздействия;
- полная виброизоляция станины;
- возможность получения стабильных высококачественных эмульсий и суспензий с дисперсностью от нескольких мкм до нм.

Устройства противоаварийной защиты трубопроводов и оборудования



Область применения: добыча и транспортировка нефти и газа, энергетика, промышленность, ЖКХ.
Назначение: предотвращение аварий вследствие вибрационных и гидравлических ударных нагрузок, а также вынужденных колебаний и резонансных явлений в трубопроводах.

Преимущества:
- снижение аварийности трубопроводов и оборудования на 85%;
- увеличение срока эксплуатации трубопроводов в 1,5 – 2 раза;
- гашение волновых и вибрационных процессов в 5-10 раз;
- быстродействие - менее 0,005 секунды;
- отсутствие потерь рабочей среды, экологичность;
- отсутствие дополнительного гидродинамического сопротивления;
- энергонезависимость;
- малые габариты;
- не требует обслуживания в процессе эксплуатации;
- легкость монтажа.

Струйная мельница с плоской рабочей камерой



Область применения: строительная, энергетическая, пищевая, лакокрасочная, резинотехническая, фармацевтическая и другие отрасли промышленности.
Назначение: тонкое и сверхтонкое измельчение твердых (хрупких) материалов.

Преимущества:
- средний размер частиц лежит в диапазоне 1-10 мкм;
- низкий уровень загрязнения измельченного материала продуктами износа;
- надежность и долговечность;
- большая производительность.



Аэродинамический центробежный классификатор порошков

Область применения: строительная, энергетическая, пищевая, лакокрасочная, резинотехническая, фармацевтическая и другие отрасли промышленности.
Назначение: разделение исходного порошка на две фракции: мелкую и крупную.

Преимущества:
- снижение аварийности трубопроводов и оборудования на 85 %;
- увеличение срока эксплуатации трубопроводов в 1.5 – 2 раза;
- гашение волновых и вибрационных процессов в 5 – 10 раз;
- быстродействие - менее 0.005 секунды;
- отсутствие потерь рабочей среды, экологичность;
- отсутствие дополнительного гидродинамического сопротивления;
- энергонезависимость;
- малые габариты;
- не требует обслуживания в процессе эксплуатации;
- легкость монтажа.

Технология диагностирования и программно-аппаратный комплекс для автоматизированного технологического оборудования и станков с ЧПУ

Область применения: машиностроение, станкостроение.
Назначение: определение соответствия эксплуатационных параметров основных узлов автоматизированного оборудования, станков с ЧПУ, в т.ч. Шпиндельных узлов (ШУ), допустимым значениям, заданным нормами ТУ; контроль параметров, оценка технического состояния, определение причин отказов и прогнозирование остаточного ресурса по основным рабочим параметрам.



Преимущества:

- комплексная оценка технического состояния ШУ, на основе контроля точностных, вибрационных, силовых, жесткостных, температурных и энергетических параметров;
- экспресс-анализ технического состояния ШУ станков и выявление функциональных и параметрических отказов разной физической природы;
- установление причин конструкторских, техноло-гических и эксплуатационных отказов;
- автоматизированная система сбора данных с интеллектуальными датчиками контроля рабочих параметров ШУ;
- наличие специализированных расчетных программ для определения и обоснования предельных норм изменения рабочих параметров.

Линии фасовки и упаковки жидких и пастообразных продуктов

Область применения: пищевая промышленность.
Назначение: автоматическая упаковка мягкого творога, сливочного масла, плавленого сыра, меда, джемов, соусов и др. продуктов.



Преимущества:

- высокоточное дозирование продукта,
- максимально высокая гигиеничность фасовки;
- отсутствие буферного продуктового бака;
- автоматическая мойка дозатора;
- широкий выбор размеров и дизайна формуемых емкостей;
- минимальные массогабаритные характеристики;
- высокая надежность и энергоэффективность.

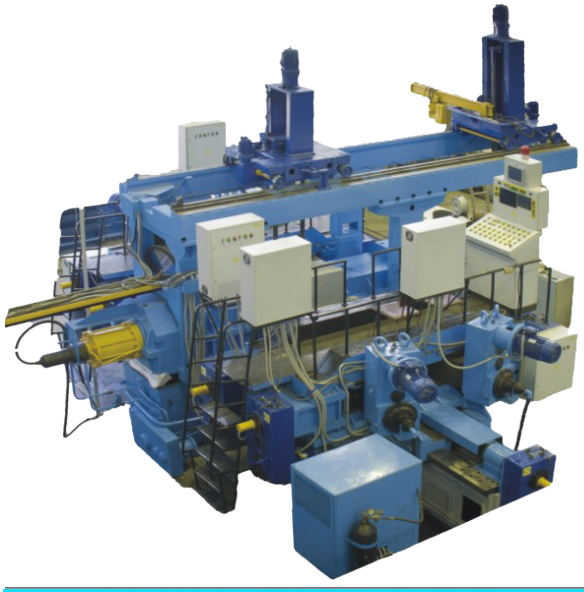
Экспериментальный образец стана для раскатки дисков (СРЖД-800) из титановых и никелевых сплавов. Стан для раскатки полых валов (СРВ) из жаропрочных сплавов в изотермических условиях из штампованных и листовых заготовок

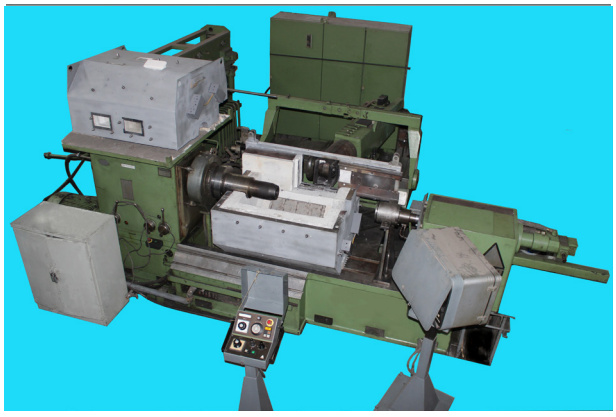
Область применения: авиадвигателестроение, производство наземных газотурбинных установок.

Назначение: изготовление образцов деталей ГТД из сплавов на основе титана и никеля, проведения исследований, испытаний и отработки режимов технологических процессов изготовления осесимметричных деталей (типа дисков, колец, обечаек) в условиях сверхпластической деформации в ручном и автоматизированном режимах. Изготовление образцов полых валов, обечаек, диаметром до 400 мм и длиной до 500 мм, проведение исследований при выборе технологических режимов раскатки полых валов из жаропрочных сталей и сплавов, как из листовых, так и из штампованных заготовок (в ручном и автоматизированном режимах).

Преимущества:

- обеспечивает однородность микроструктуры и «управление» процессом получения заданной микроструктуры;
- позволяет повысить на 10-15 % механических свойств жаропрочных сплавов;
- увеличивает ресурс деталей из жаропрочных сплавов в 2-3 раза;
- повышает коэффициент использования металла в 3-5 раз;
- обеспечивает возможность разработки гибких переналаживаемых автоматизированных комплексов, а также производственных интеллектуальных технологий в авиадвигателестроении.



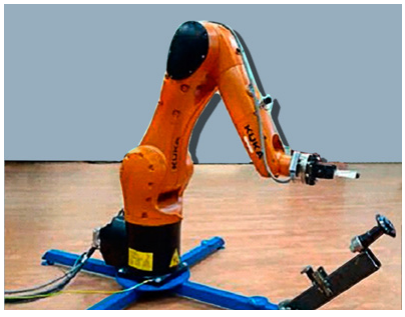
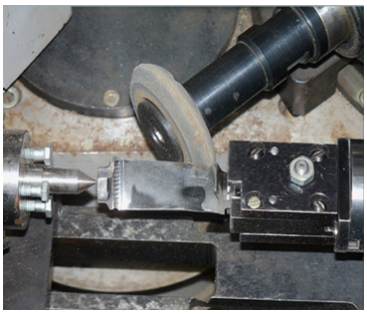


В рамках НИОКР лабораторией управления технологическими процессами и системами созданы технологии финишной обработки сложнопрофильных поверхностей деталей ГТД, а также их формообразования из жаропрочных сплавов методом раскатки в изотермических условиях.

НИОКР проводились в 2011-2017 гг. совместно с ИПСМ РАН (г. Уфа) в рамках ФЦП Минобрнауки, ФЦП Минпромторга, договоров с АО «ОДК» корпорации «Ростех», промышленными предприятиями АО «НПЦ Газотурбиностроения «Салют» (г. Москва), ПАО «Кузнецов» (г.Самара), ООО «Савеловский станкостроительный завод», компания ООО «Группа «Стан» (г. Кимры).

Робототехнический комплекс финишной обработки сложнопрофильных поверхностей деталей ГТД

Область применения: машиностроение, авиационная промышленность, судостроение.
Назначение: финишная обработка сложнопрофильных деталей авиационных двигателей, наземных газотурбинных установок и др.

Преимущества:

- исключение ручного труда при шлифовании и полировании пера лопаток;
- обеспечение точности обработки до 0,02 мм;
- наличие встроенной оптической системы контроля
- геометрических размеров и качества поверхности.

Технологическая установка для настройки и проверки лазерных дальномеров специального назначения

Область применения: машиностроение, станкостроение.
Назначение: настройка и проверка лазерных дальномеров в цеховых условиях.




Преимущества:

- комплексная оценка технического состояния ШУ, на основе контроля точностных, вибрационных, силовых, жесткостных, температурных и энергетических параметров;
- экспресс-анализ технического состояния ШУ станков и выявление функциональных и параметрических отказов разной физической природы;
- установление причин конструкторских, техноло-гических и эксплуатационных отказов;
- автоматизированная система сбора данных с интеллектуальными датчиками контроля рабочих параметров ШУ;
- наличие специализированных расчетных программ для определения и обоснования предельных норм изменения рабочих параметров.

Волоконно-оптические датчики и интеллектуальные сенсорные системы



Область применения: энергетика, машиностроение, двигателестроение, приборостроение.
Назначение: измерение линейных перемещений (биений поверхностей после мех. обработки), частоты вращения, коэффициентов отражения поверхностей; измерение распределения давления ударных волн, низких давлений в тепловых воздушных потоках, давлений в сверхзвуковых двухфазных потоках, давления в гидро-пневмосистемах и смазочных пленках.

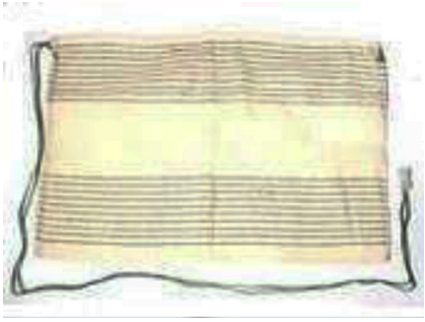
Преимущества:
- миниатюрность датчиков;
- гальваническая развязка с объектом;
- защита информационного канала от электромагнитных и радиационных помех;
- высокое временное и пространственное разрешение датчиков;
- рабочий диапазон давления 0-20 Мпа;
- возможность работы при температуре до 1000о С в импульсе;
- параметрическая надежность.

Кардиоанализатор «Пульс-М»



Область применения: медицина.
Назначение: экспресс-обследование сердечно-сосудистой системы человека методами фонендоскопии, пульсометрии и электрокардиографии.

Преимущества:
- компактность;
- возможность получения всесторонней информации о сосудах, насосной функции сердца и его электрической активности, показателях расхода и давления магистрального кровотока, а также периферического сопротивления сосудов;
- возможность определения синдрома скрытой гипертензии;
- наличие громкой связи для прослушивания тонов и шумов сердца;
- быстрое и качественное обследование пациента;
- возможность проведения врачебного консилиума в реальном времени.



Электронагревательная ткань с углеродными нитями

Область применения: здравоохранение, МЧС, промышленность, туризм, отдых.

Назначение: электронагревательные элементы для производства специальной и бытовой одежды, медицинских изделий специального назначения, обогревателей для промышленных установок и сидений автомобилей.



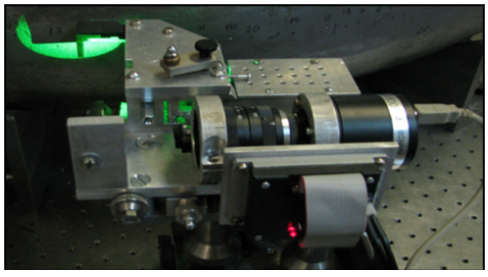
Преимущества:

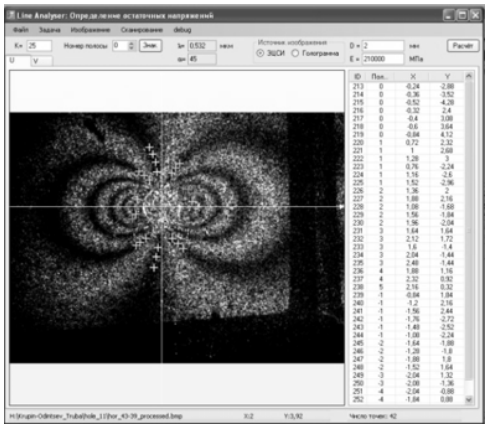
- обеспечивается мягкость и гигиеничность изделий, свойственная хлопчатобумажным и льняным тканям;
- высокая степень электробезопасности и надежности;
- рассчитаны на работу в широком диапазоне температур и мощностей с использованием низковольтных источников постоянного тока;
- температура нагрева до +120 °С.

Установка для регистрации накопления повреждений и разрушения при испытаниях материалов

Область применения: контроль состояния ответственных элементов оборудования АЭС, теплоэнергетики, транспорта, авиационной и космической техники.

Назначение: исследование полей остаточных напряжений в натурных элементах конструкций.

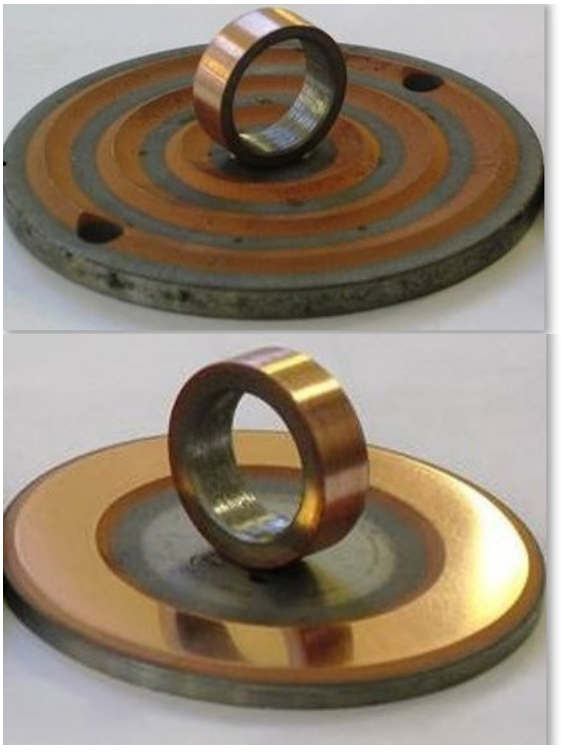




Преимущества:

- высокая чувствительность метода измерений - 0.25 мкм на интерференционную полосу;
- возможность получения неограниченных объемов экспериментальной информации;
- высокая точность результатов исследований;
- возможность исследования высокоградиентных полей напряжений;
- минимальные массогабаритные характеристики;
- высокая надежность и эффективность;
- возможность применения в стационарных и полевых условиях.

Газодинамическое напыление меди

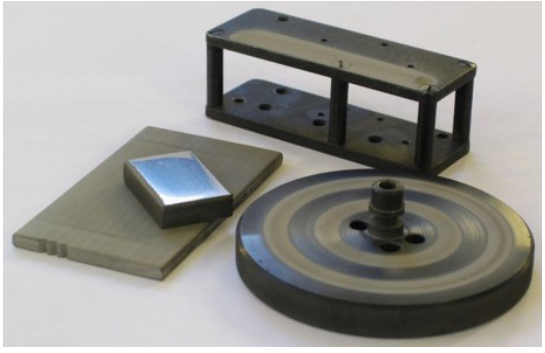


Область применения: машиностроение.
Назначение: изготовление и восстановление изношенных поверхностей деталей, контактных поверхностей электротехнического оборудования, опорных поверхностей узлов трения, исправление технологического брака (раковины, трещины и т.д.).

Преимущества:

- толщина слоя меди до 3 мм;
- возможность нанесения меди на локальные и большие участки поверхности;
- нагрев подложки не выше 120 °С;
- возможность применения в стационарных и полевых условиях;
- твердость покрытия до 1200 МПа;
- адгезия со сталью до 50 МПА;
- удельное электрическое сопротивление 0.034 Ом/мм^2·м;
- пористость покрытия 4-8 %.

Газодинамическое напыление цинка и никеля

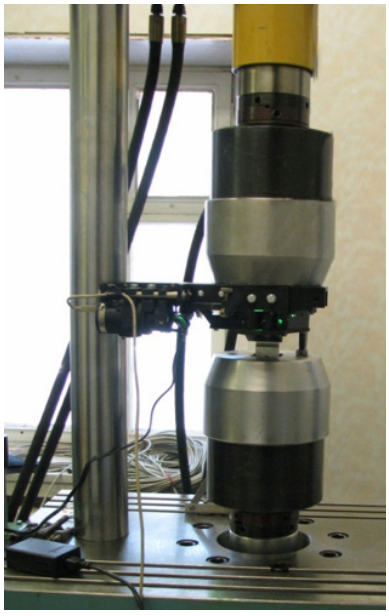


Область применения: строительство, энергетика и машиностроение.
Назначение: повышение сопротивления сварных соединений трубопроводов, металлических конструкций и сооружений от воздействия коррозионной и коррозионно-абразивной среды.

Преимущества:

- толщина покрытия до 0.5 мм;
- возможность нанесение цинка и никеля на локальные и большие участки поверхности;
- нагрев подложки не более 120 °С;
- возможность применения в стационарных и полевых условиях;
- рабочий диапазон температур от 0° до 540 °С;
- твердость никелевого покрытия до 800 МПа;
- твердость цинкового покрытия до 600 МПА;
- пористость покрытия 4-8 %;
- повышение сопротивления коррозии низкоуглеродистой стали до 40 раз.

Аппаратура и программное обеспечение для регистрации процесса накопления повреждений и разрушения при механических испытаниях



Область применения: общее машиностроение, энергомашиностроение, авиационная промышленность, транспортное машиностроение и судостроение.
Назначение: исследование процессов развития пластических деформаций и накопления повреждений при испытаниях материалов.

Преимущества:

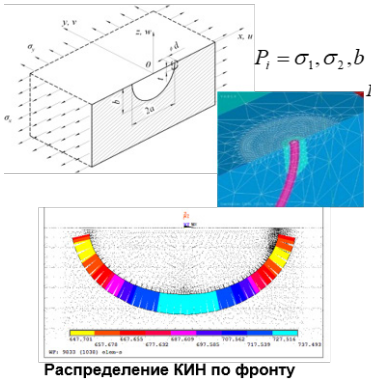
- возможность регистрирации спекл-интерферограммы полей перемещений в плоскости образца в его продольном и поперечном направлениях;
- высокая чувствительность измерений - 0.25 мкм на интерференционную полосу;
- скорость регистрации интерферограмм – не менее 30 кадров/сек.

Методика и программный комплекс для оценки параметров напряженного состояния и размеров дефектов материалов

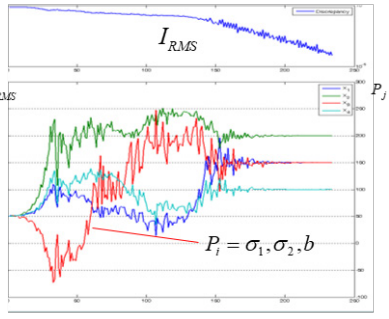
Область применения: энергомашиностроение, авиационная техника, транспортное машиностроение и судостроение.
Назначение: определение напряжений, усилий, остаточных напряжений (в том числе высокоградиентных), размеров дефектов, деградации свойств материалов в натурных условиях.

Преимущества:

- программный комплекс обеспечивает все этапы исследования от формирования массива экспериментальных данных до проверки адекватности полученного решения;
- экспериментальная информация регистрируется на основе электронно-цифровой интерферометрии и корреляции цифровых изображений.



Распределение КИН по фронту трещины



Изменение значений целевой функции и искомых параметров в процессе решения задачи минимизации

Аппаратура и программное обеспечение для регистрации процесса накопления повреждений и разрушения при механических испытаниях

Область применения: авиационная и космическая техника, транспортное машиностроение, строительные конструкции.
Назначение: определение констант упругости изотропных и анизотропных композитных материалов; изучение вязкоупругого поведения полимерных материалов.



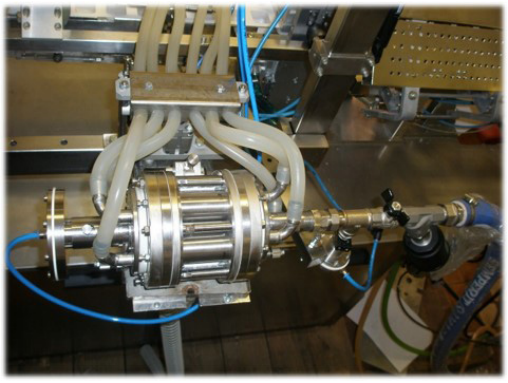
Преимущества:

- компактность аппаратуры;
- возможность применения в полевых условиях;
- высокая точность результатов;
- наглядность представления результатов исследований: построение диаграмм упругопластического деформирования (микропластичности и ползучести) при одноосном и двухосном напряженном состояниях.

Многоканальные дозаторы для фасовки жидких и полужидких продуктов

Область применения: пищевая, фармацевтическая и другие отрасли промышленности.
Назначение: высокоточное дозирование различных жидких, полужидких и труднотекучих продуктов.



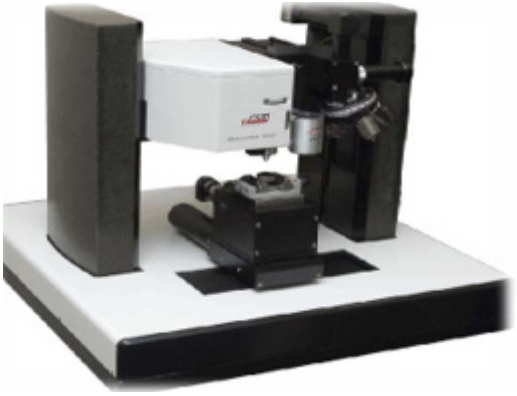


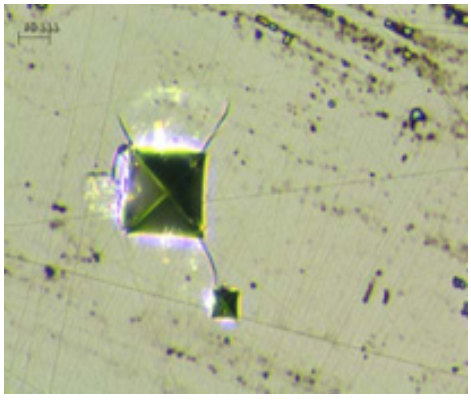
Преимущества:

- упрощение и удешевление конструкции продуктового тракта;
- повышенный уровень гигиены розлива;
- повышенная точность дозирования (до 0.8-0.9 % при объемах дозирования – 15-20 см^3);
- уменьшенная степень окислительных процессов в продукте;
- высокое быстродействие;
- качественный розлив аэрированных продуктов.

Методика и оборудование для определения механических свойств тонких поверхностных слоев материалов и покрытий

Область применения: машиностроение.
Назначение: исследование микротвердости и механических свойств материалов по ISO/DIS 14577 -1:2002.





Преимущества:

- автоматическое определение микротвердости и модуля упругости;
- диапазон изменения нагрузки: от 10 мН до 10 Н;
- максимальная глубина проникновения индентора – 200 мкм;
- минимальный линейный размер образцов – 10 мм;
- чувствительность: по нагрузке – 100 мкН, по глубине внедрения – 1.5 нм;
- определение коэффициента трещиноустойчивости;
- наглядность представления результатов:
  - обработка результатов по методам Оливера-Фарра и Мартенса;
  - построение графика зависимости глубины проникновения от силы в реальном времени;
  - визуализация результатов микроиндентирования;
  - углубленный анализ результатов исследований.

Автоматизированная установка низкотемпературной плазменной обработки поверхностного слоя геометрически сложных изделий

Область применения: машиностроение.
Назначение: повышение твердости, абразивной, коррозионной, эрозионной стойкости и улучшение шероховатости поверхности обрабатывающего инструмента.



Преимущества:

Под воздействием сверхвысокочастотного электромагнитного и электростатического полей поверхностный слой изделия на глубину до 5 мкм расплавляется и происходит его преобразование в высокопрочную структуру, состоящую из нанокластеров, размером 30-200 нм, что обеспечивает:

- сокращение времени обработки до 1.5-20 мин., вместо 4-22 часов при обработке другими методами;
- сохранение неизменности исходной геометрии изделия;
- снижение шероховатости поверхности деталей в 1.4-2,9 раза;
- повышение износостойкости поверхности деталей в 2.35-5.0 раз;
- снижение энергопотребления до 0.9 кВт по сравнению с 30 кВт (в среднем) у аналогов;
- уменьшение в 1.5-10 раз стоимости установки, по сравнению со стоимостью установок для лазерной, плазменной, химико-термической обработки и установок для нанесения покрытий.

Переносные взрывореактивные комплексы для буро-взрывных работ (ПВРК)

Область применения: строительство и геолого-разведочные работы.
Назначение: проведение инженерно-строительных работ в сложных горно-геологических и климатических условиях.

Преимущества:

- возможность производства скважин глубиной до 30 м, диаметром от 0.2 до 1 м и траншей шириной до 5 м в мерзлых грунтах и скальных породах;
- автономное удаление разрушаемых на забое пород на расстояние до 30 м, с возможностью формирования дорожной насыпи;
- время подготовки и производства работ с одним ПВРК – не более 5 минут;
- масса комплекса не более 45 кг, разъемных модулей и приборов – не более 10 кг;
- габаритные размеры: высота – от 337 до 870 мм, диаметр – от 180 до 320 мм;
- рабочий диапазон температур – + 50 °С;
- численность обслуживающего персонала – 2 человека;
- автономность и возможность доставки в труднодоступные районы любым видом транспорта, в т.ч. вручную;
- высокая эксплуатационная надежность.



ВУ-7Б



ВУ-14 и ВУ-21



ВУ-7А



ВУ-7Б перед работой



Скважина, образованная в горных породах

Автоматизированная линия для лазерной наплавки и упрочнения

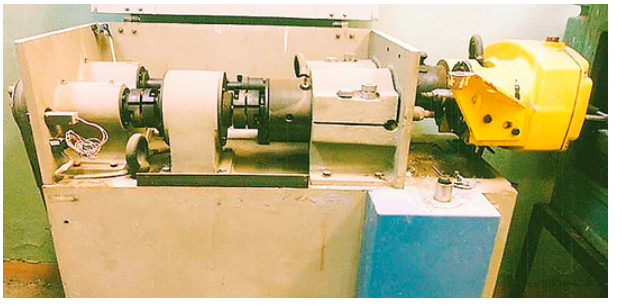
Область применения: машиностроение.
Назначение: повышение эксплуатационных характеристик изделий машиностроения.



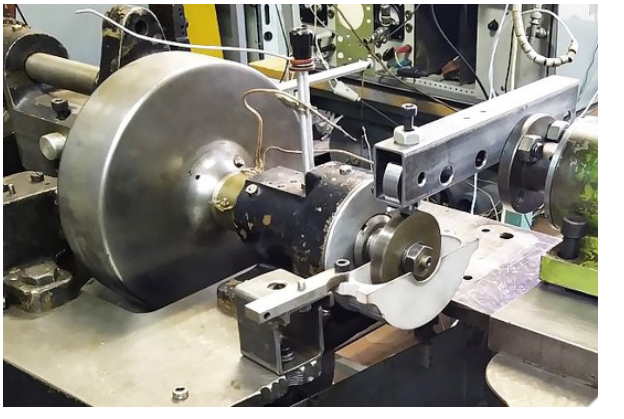
Преимущества:

- Применение высокочастотных колебаний сфокусированного лазерного луча позволяет повысить производительность обработки в 1.8-2.5 раза в сравнении с традиционной обработкой расфокусированным лучом;
- Применение высокочастотных колебаний сфокусированного лазерного луча позволяет повысить производительность обработки в 1.8-2.5 раза в сравнении с традиционной обработкой расфокусированным лучом;
- Восстановление и послойная наплавка новых деталей станков, штампов с применением газовых, волоконных, дисковых и твердотельных лазерных установок повышает ресурс работы изделий в 2-4 раза.

Машина трения для прецизионного измерения сил трения в радиальных подшипниках качения (РПК)



Область применения: машиностроение.
Назначение: повышение ресурса изделий машиностроения.



Преимущества:

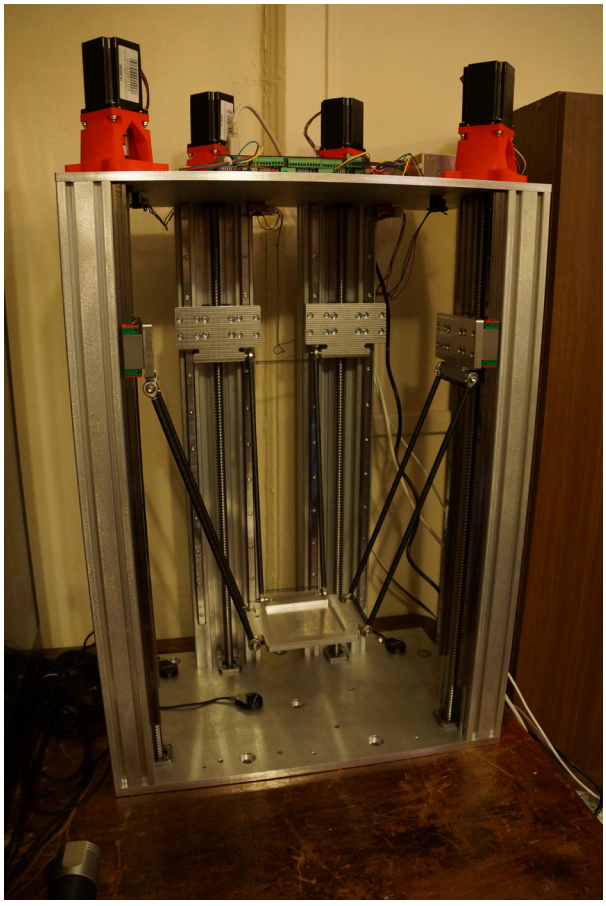
- обеспечивает непрерывное измерение износа без разъединения зоны трения;
- позволяет измерять силы трения без паразитных потерь в условиях сохранения постоянства эпюры давлений;
- оценивать качество прецизионных подшипников, эксплуатируемых в экстремальных условиях ограниченной энерговооруженности объекта;
- может являться основой создания нового класса испытательного износометрического оборудования.

3D принтер для аддитивного производства гибких многослойных печатных плат из полимерных материалов

Область применения: аддитивное производство.
Назначение: производства гибких многослойных печатных плат из полимерных материалов.

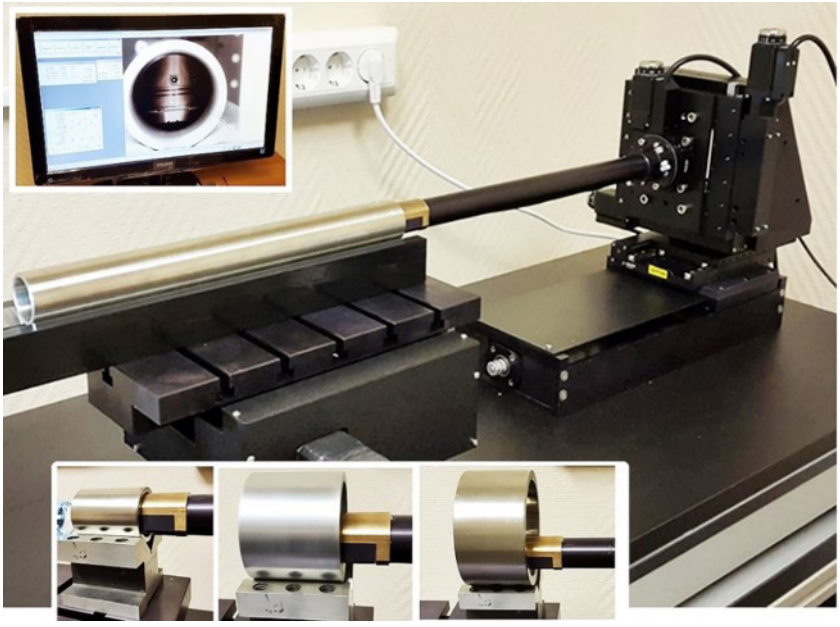
Преимущества:
Принтер, на основе механизма параллельной структуры, выходное звено которого имеет 4 степени свободы, реализует экструдирование пасты и струйную печать с последующей фотополимеризацией, имеет низкую стоимость и обеспечивает:

- перемещение 2-х печатающих головок в рабочем пространстве 150x150x50 мм с точностью менее 2 мкм;
- увеличение скорости производства печатных плат любой сложности;
- миниатюризацию, снижение массогабаритных характеристик и трудоемкости изготовления электронных устройств за счет объемной компоновки печатных плат.



Прибор для измерения физико-механических свойств внутренних поверхностей сквозных и глухих отверстий - НТЭМ-1

Область применения: машиностроение.
Назначение: измерение физико-механических свойств внутренних поверхностей сквозных и глухих отверстий в режиме одного технологического процесса диагностирования.



Преимущества:

- диагностирование твердости и модуля упругости методом измерительного индентирования, измерение профиля поверхности в режиме полуконтактной сканирующей зондовой микроскопии и расчет параметров наношероховатости;
- управление работой измерительного модуля и съем измерительной информации производится посредством специализированного программного обеспечения;
- возможность проведения измерений в режиме одного технологического процесса диагностирования;
- минимальный диаметр отверстия – 30 мм.
- возможность проводить измерения на расстоянии от среза отверстия до 10-кратного значения диаметра отверстия, в диапазоне глубин внедрения от единиц нанометров до десятка микрометров, т.е. в диапазоне, перекрывающем установленные стандартами глубины внедрения для проведения измерения нанотвердости и микротвердости.

Содержание

Руководители ИМАШ РАН 3
Дирекция ИМАШ РАН 7
Нелинейная волновая механика и технологии 9
Механика машин и управление машинами 26
Трение, износ, смазка. Трибология 32
Прочность, живучесть и безопасность машин 38
Конструкционное материаловедение 44
Виброакустика машин 52
Теоретическая и прикладная акустика 58
Вибрационная биомеханика 63
Центр коллективного пользования научным оборудованием 70
Подготовка научных кадров 71
Издательская деятельность 73
Международное сотрудничество 74
Инновационная деятельность 75

Подписано в печать 16.11.2023 г.
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. - 10,7. Тираж - 50 экз. Заказ № 297.
Отпечатано в типографии ИМАШ РАН.
ул. Бардина, д. 4, Москва, 119334, Россия

Россия, Москва, 101000,
Малый Харитоньевский пер., 4

(495) 628 87 30, (495) 624 98 00
info@imash.ru, www.imash.ru