Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт машиноведения
им. А. А. Благонравова
Российской академии наук

В. А. ГЛАЗУНОВ

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Глазунов В. А.
Современные проблемы машиноведения. — М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2015. — 40 с.

© В. А. Глазунов, 2015
© ФГБУН ИМАШ РАН, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 2

1. Историческая справка 3

2. Технологические системы и роботы 6

3. Обучающие системы и тренажеры 13

4. Информационно-измерительные и исследовательские системы 15

5. Медицинские робототехнические системы и пищевая промышленность 18

6. Транспортные и космические системы 22

7. Проблемы материаловедения 27

8. Международное сотрудничество 29

Заключение 33

Список литературы 34

ВВЕДЕНИЕ

Современный человек живет в мире машин. Он либо непосредственно контактирует с машинами, либо использует изделия, созданные при их участии. Ничто так сильно не влияет на изменение жизни людей, как развитие машин. Искусственное сердце, протез руки, хирургический микроробот, а кроме того, межконтинентальная ракета или авиалайнер — это машины. В этом смысле комплексное изучение машин, принципов их построения, развития, функционирования — это одна из наиболее фундаментальных наук.

Машиноведение широко использует достижения всех передовых наук. Но при этом наука о машинах сама внедряет свои методы в другие, казалось бы далекие от нее, дисциплины. В частности, известно представление белка как машины, а методология теории механизмов может быть применена для исследования внутренней подвижности во фрагментах кристаллов.

Роль науки о машинах существенно возрастает в связи с необходимостью импортозамещения. Эта проблема требует создания новых машин, отличающихся прорывными техническими решениями, обусловливающими резкое повышение функциональных свойств при одновременном снижении стоимости соответствующих изделий. Очевидно, что найти такие решения весьма сложно и это можно сделать лишь на основе глубокого изучения технологических особенностей, связанных с функционированием соответствующей машины, ее структуры, материалов, из которых она создается, процессов управления машиной [1–5]. Указанные обстоятельства являются основой постановки проблем исследований в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова (ИМАШ РАН).

К общим, фундаментальным проблемам машиноведения относятся структурно-параметрический синтез машин, систематизация их по функциональным признакам, кинематический и динамический анализ, колебания и вибрации, волновые технологии, материаловедение; изучение взаимосвязей машиноведения и прогрессивных технологий, проблемы надежности и безопасности, диагностика и методы экспериментального исследования; прочность конструкций, трибология, разработка приводов и алгоритмов управления, биомеханика (комплексное изучение воздействия машин на человека, очувствление и искусственный интеллект), а также робототехника, построение машин по аналогии с живыми организмами и создание протезов, а также медицинских инструментов; проблемы философии и психологии, связанные с развитием машин и роботов, с созданием и оценкой изобретений; проблемы преподавания и популяризации результатов исследований в области машиноведения. Изложенное позволяет утверждать, что машиноведение — одна из наиболее фундаментальных наук современности с самым широким приложением в различных областях.

1. ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Важным событием в процессе развития отечественного машиностроения стало создание в 1938 г. в системе Академии наук Института машиноведения (ИМАШ РАН). Этот институт стал координирующим центром всех исследований в области теории механизмов и машин в России. Создал и возглавил институт академик Е. А. Чудаков.

Большой вклад в развитие советского машиноведения внес второй директор Института машиноведения академик А. А. Благонравов. Ему принадлежат работы в области динамики автоматических систем, баллистики космических аппаратов. Он был председателем комиссии по исследованию космического пространства Академии наук СССР.

Теория точности механизмов была разработана сотрудником ИМАШ РАН академиком Н. Г. Бруевичем. В основе линейной теории точности лежит идея преобразованного механизма, в котором введены фиктивные входные звенья, соответствующие ошибкам механизма.

В области исследований зубчатых зацеплений и конструкций передач следует отметить работы А. И. Петрусевича, Н. И. Колчина, В. А. Зиновьева, В. А. Гавриленко, С. Н. Кожевникова. В этих работах исследовались параметры корригированных зацеплений, свойства редукторов и коробок передач. В 1954 г. М. Л. Новиков предложил новое зацепление, названное его именем.

Существенна роль, которую сыграл в развитии советского и российского машиноведения академик И. И. Артоболевский. Он интенсивно работал в области структуры и кинематики механизмов, занимался силовым анализом, теорией уравновешивания машин, синтезом механизмов. Он, совместно с профессором А. Е. Кобринским, одним из первых начал заниматься робототехникой. В частности, в ИМАШ РАН был создан первый действующий биомеханический протез руки.

Существенны заслуги советских и российских ученых в области исследования колебаний и вибраций. Во время работы в ИМАШ РАН академиком В. О. Кононенко была разработана теория взаимодействия нелинейных колебательных систем с источниками энергии ограниченной мощности, решены другие проблемы нелинейных процессов.

Область научных интересов академика К. В. Фролова — колебания биомеханических систем «человек – машина». Под его руководством были опубликованы фундаментальные труды по машиностроению, теории колебаний, ряд учебников для высших технических учебных заведений.

Академик Р. Ф. Ганиев создал теорию нелинейных колебаний в сплошных средах и разработал целый ряд технологических волновых машин

и аппаратов. Волновые технологии основаны на физико-математических исследованиях сложных гидромеханических и многофазных систем, которые проводились в Научном центре нелинейной волновой механики и технологии РАН.

Одной из важнейших проблем в машиностроении является прочность деталей машин в условиях динамических переменных нагрузок. В данной области плодотворно трудился академик Ю. Н. Работнов. Этот ученый разработал теорию, описывающую процессы деформирования различных материалов, в том числе пластмасс и композитов.

Общую теорию надежности конструкций, основанную на применении методов теории случайных процессов, а также вероятностно-статистических методов механики, разработал академик В. В. Болотин. Кроме того, им исследованы свойства слоистых и волокнистых сред, предложены методы прогнозирования ресурса технических объектов на стадии проектирования.

Следует отметить большой вклад, который внесли советские ученые в разработку теории трения и износа, или триботехники. Здесь можно указать на научные школы, созданные профессорами И. В. Крагельским и М. М. Хрущовым.

Значимость некоторых результатов становится видимой лишь с годами. В частности, все более возрастает эффективность применения винтового исчисления в теории механизмов и роботов. Одним из первых этот подход предложил профессор Ф. М. Диментберг. Он сумел изложить, а также развить этот математический аппарат в наиболее наглядной и сжатой геометрической форме.

Отметим большую роль, которую сыграл в развитии российской науки о машинах профессор А. Ф. Крайнев. Основная тема его работ была связана с созданием методологической системы синтеза и формированием новых классов машин, с созданием компьютерного банка схем и конструктивных решений. Им подготовлены уникальные в мировой литературе книги (в том числе для детей) по устройству и механике машин [6–7].

Развитие методологии науки о машинах в ряде случаев позволяет добиться получения прорывных технических решений. При этом ставится задача синтезировать такие схемы, чтобы обеспечить требуемые функциональные возможности, решить проблемы динамики, управления, точности. В частности, речь идет о системах параллельной структуры, которые отличаются тем признаком, что выходное звено — рабочий орган — соединено с основанием несколькими кинематическими цепями. Это направление интенсивно развивается за рубежом. В этой области ИМАШ РАН имеет основополагающие результаты мирового уровня.

В рассматриваемых объектах имеет место подвижная ферменная конструкция [8–10], характеризующаяся повышенными показателями по нагрузочной способности и по точности. Кроме того, можно отметить простоту изготовления, поскольку все кинематические цепи, как правило, имеют одинаковую архитектуру. К достоинствам таких устройств можно отнести также возможность установить двигатели на основании или наиболее близко к нему. Это снижает динамические нагрузки, повышает скорость движения. Указанные качества позволяют говорить об уникальных возможностях данных объектов. Поэтому, несмотря на некоторые недостатки, связанные с уменьшением рабочего объема, наличием сингулярностей, данные устройства могут найти широкое применение в качестве тренажеров, технологических (в частности, в станкостроении) и медицинских роботов, измерительных и испытательных систем, манипуляторов для агрессивных сред.

В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова получен ряд серьезных результатов в указанной области. В частности, была проведена наиболее полная классификация этих объектов, разработаны методы их анализа и синтеза [10–11], исследованы динамические свойства устройств подобного рода [12–13]. Таким образом, сотрудники ИМАШ РАН внесли большой вклад в развитие науки о машинах. Далее, не претендуя на исчерпывающую полноту, приведем примеры эффективных решений современных технических проблем, в основном ориентируясь на работы автора и его коллег, в том числе зарубежных.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И РОБОТЫ

В связи с поставленной задачей импортозамещения актуальной является проблема создания станков нового поколения. В частности, речь идет о станках, предназначенных для обработки деталей сложной формы. В различных странах ведутся работы по созданию технологических устройств нетрадиционной компоновки. Следует отметить перспективный станок фирмы METROM (ФРГ) с пятью степенями свободы, в котором имеется пять кинематических цепей, перемещающих шпиндель инструмента (рис. 1). Судя по имеющейся информации, разработчикам удалось получить весьма приемлемые характеристики по размерам рабочей зоны и по жесткости.

Рис. 1. Станок с пятью степенями свободы фирмы METROM

Продолжаются работы по совершенствованию станков (рис. 2), построенных по схеме HEXAPOD (платформа Гауфа). В частности, такие исследования проводятся в институте НИАТ, в этой работе принимает участие ИМАШ РАН в лице сотрудника отдела механики машин и управления машинами Н. А. Серкова. В данном случае проблема заключается в непостоянстве жесткости и передаточных отношений в разных точках рабочей зоны. Для решения этой проблемы исследователями разных стран были предложены различные подходы.

Во Франции был создан экспериментальный технологический робот с пятью степенями свободы, построенный по схеме ORTHOGLIDE. Его отличительной особенностью является наличие трех линейных двигателей, расположенных ортогонально друг другу (рис. 3). Дополнительные враще-

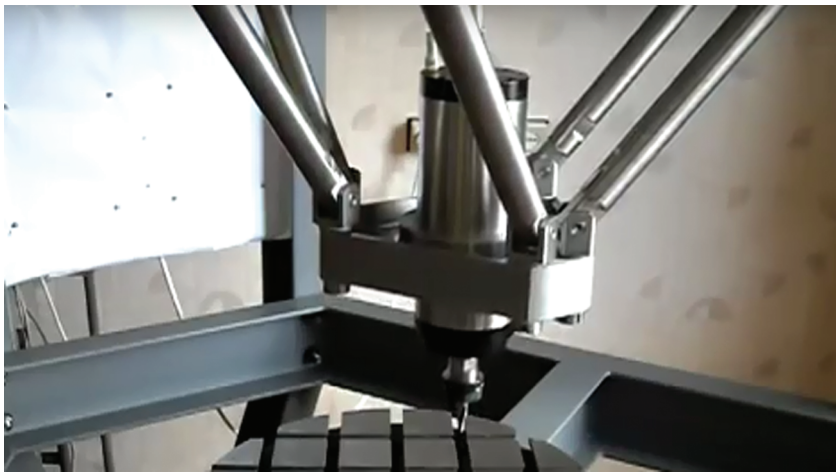

Рис. 2. Станок с шестью степенями свободы, построенный по схеме HEXAPOD

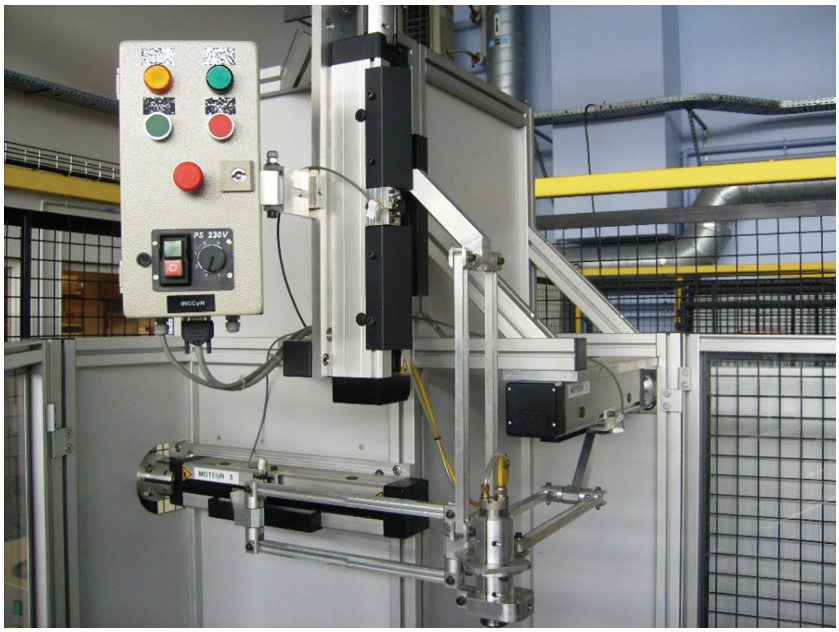

Рис. 3. Технологический робот, построенный по схеме ORTHOGLIDE

ния инструмента создаются за счет наличия карданных валов в двух кинематических цепях.

В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова совместно с НПО «Салют» проводятся работы по созданию и исследованию технологического робота РОСТ-300 (рис. 4). Ответственным исполнителем является сотрудник отдела механики машин и управления машинами профессор В. Л. Афонин. Разработанное устройство, предназначенное для финишной обработки пера лопаток реактивных двигателей, построено по принципу

Рис. 4. Технологический робот РОСТ-300

относительного манипулирования обрабатывающего инструмента и обрабатываемого объекта [14]. Во взаимном движении инструмент и деталь имеют пять степеней свободы. В процессе исследований предстоит решить проблемы увеличения рабочей зоны робота с учетом необходимости уравновешивания веса звеньев.

При создании технологических систем желательно обеспечить во всей рабочей зоне постоянство жесткости и передаточных отношений между перемещениями в приводах и перемещениями рабочего органа (изоморфность). Данную проблему удается решить на основе развития схемы робота Izoglide [9]. В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова предложен ряд схем [15–16], обеспечивающих достаточно высокую жесткость при отсутствии вырожденных конфигураций и наличии изоморфности (рис. 5).

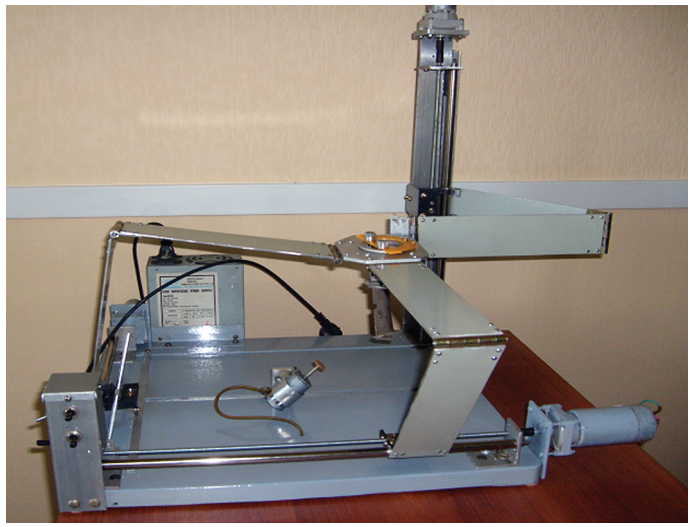

Рис. 5. Модель технологического робота с постоянными передаточными отношениями

Данные устройства характеризуются тем, что в каждой из трех кинематических цепей содержится линейный двигатель, передающий движение рабочему органу по одной декартовой координате. Это происходит за счет наличия трех шарниров с параллельными осями. Согласно предложению сотрудников ИМАШ РАН, путем введения дополнительных звеньев в каждую кинематическую цепь жесткость может быть существенно повышена [17].

В настоящее время в ИМАШ РАН проводятся работы по совершенствованию схемы установки, по исследованию и повышению жесткости устройства. При этом используются методы численного и натурного эксперимента (рис. 6).

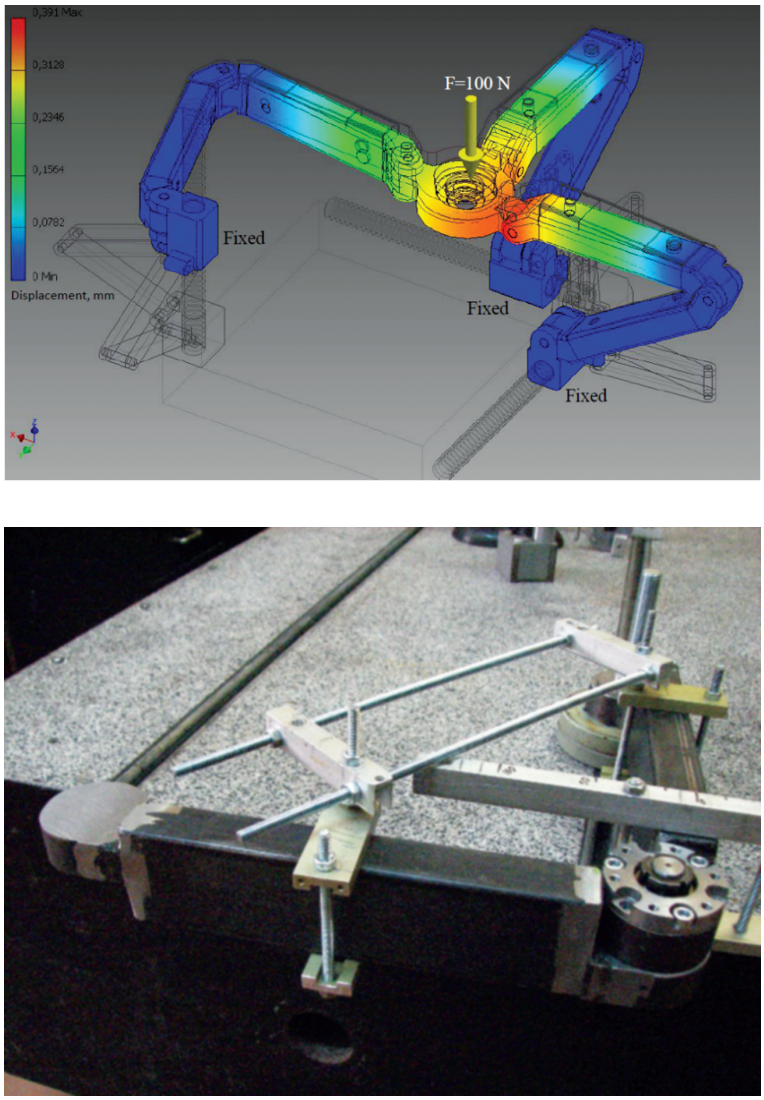

Рис. 6. Исследования моделей технологического робота

Отметим, что для технологических и измерительных операций может быть перспективной концепция создания установок относительного манипулирования [18], в которых имеют место два модуля параллельной структуры. Один из модулей может перемещать обрабатываемое изделие, а другой — обрабатывающий инструмент (рис. 7). При этом должно быть снижено взаимное динамическое влияние между степенями свободы, должно упроститься управление такими объектами.

Рис. 7. Устройство относительного манипулирования

Одним из важнейших вопросов развития промышленности и импортозамещения продолжает оставаться создание технологических роботов, металлообрабатывающих станков нового поколения. В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова совместно с Институтом проблем сверхпластичности материалов (г. Уфа) проводятся работы по созданию станов для прокатки дисков реактивных двигателей (рис. 8). В ИМАШ РАН ответственным исполнителем этих работ является Р. Ю. Сухоруков. Проблема сложна тем, что материал дисков — титановые сплавы. Поэтому требуется обеспечить особые, экстремальные условия работы всех механизмов стана. При этом необходимы знания не только из теории машин, но и из конструкционного материаловедения.

Для повышения эффективности работы технологических установок в ряде случаев эффективным является применение ультразвуковых

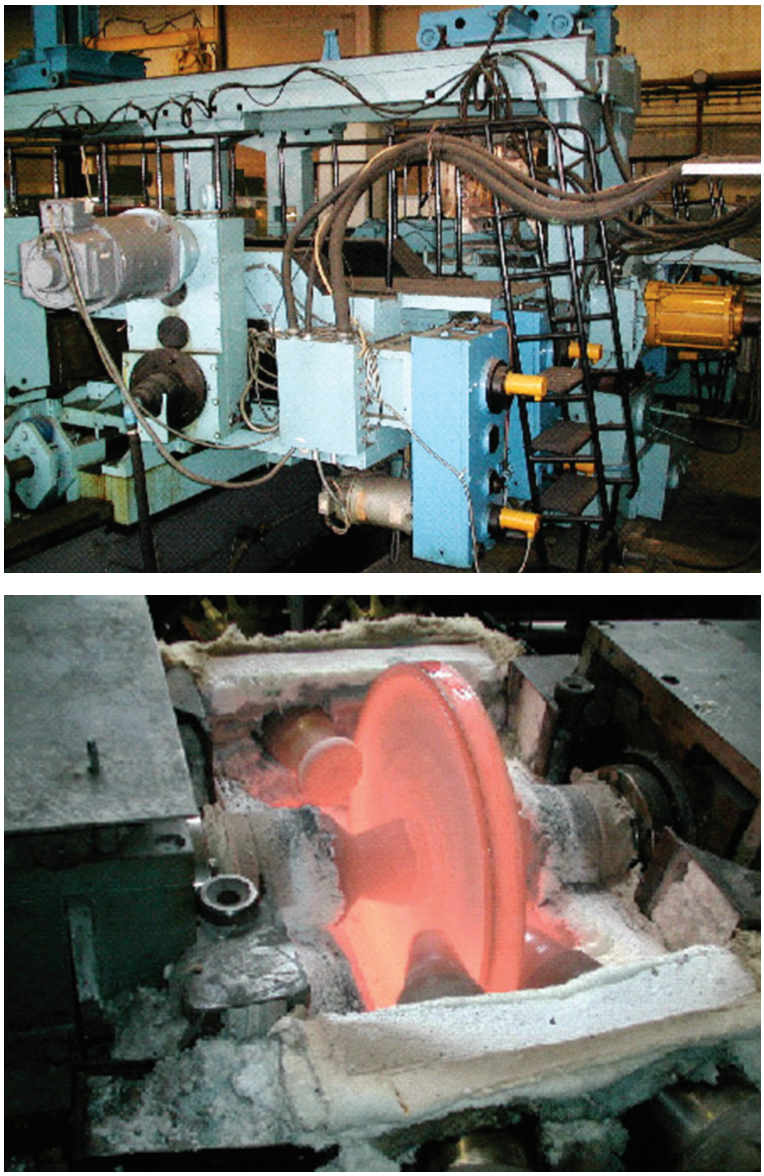

Рис. 8. Стан для прокатки дисков реактивных двигателей

устройств (рис. 9), которые способны повысить производительность и точность. В ИМАШ РАН созданием подобного рода приборов, внедренных, в частности, на Савеловском машиностроительном заводе, занимается профессор В. К. Асташев.

Таким образом, в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова получен ряд серьезных результатов в области разработки прорывных технологических систем.

Рис. 9. Авторезонансное устройство для ультразвукового точения

3. ОБУЧАЮЩИЕ СИСТЕМЫ И ТРЕНАЖЕРЫ

Одной из важных задач в современной технике (транспорт, авиация, космос) является разработка тренажеров для подготовки экипажей наземных транспортных средств и летательных аппаратов. Большинство решений [8] основаны на схеме классической платформы Гауфа (рис. 10), которая имеет ряд серьезных достоинств в плане достоверности имитации движения. Однако имеются и недостатки, связанные с отсутствием возможности полного вращения вокруг вертикальной оси. Такое вращение позволило бы имитировать плоский штопор самолета, поворот танка или занос автомобиля на скользкой дороге.

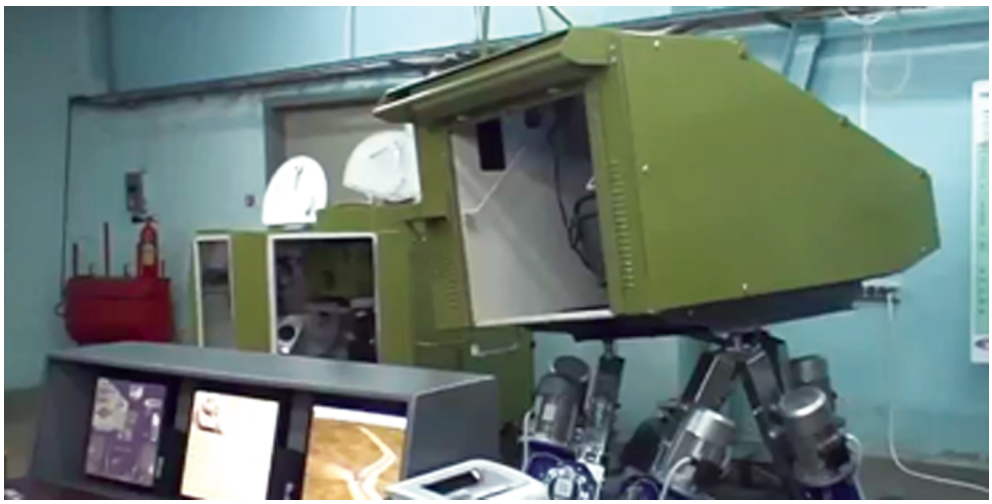

Рис. 10. Тренажеры для подготовки летчиков и водителей танков

Для решения этой задачи был синтезирован ряд схем механизмов параллельной структуры (модели выполнены сотрудниками отдела механики машин и управления машинами К. А. Шалюхиным и С. В. Левиным), в которых имеется круговая направляющая (рис. 11). Другой отличительной особенностью предлагаемого решения является то, что выходным звеном может служить сам автомобиль. При этом кинематические цепи должны крепиться непосредственно к осям колес. Это позволяет повысить достоверность имитации движения, так как в процессе тренинга задействована также подвеска автомобиля. Данный подход используется в совместной работе с НАМИ при создании тренажеров, предназначенных для проекта президентского автомобиля «Кортеж».

Рис. 11. Макет тренажера для подготовки водителей

Кроме того, синтезированные схемы могут быть использованы в ЦАГИ при создании новых тренажеров для подготовки пилотов.

4. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СИСТЕМЫ

Еще одной актуальной задачей синтеза машин является создание устройств, предназначенных для исследовательских целей. В частности, речь идет о механизмах для манипулирования моделями аэрокосмических систем в аэродинамической трубе. Этой проблемой в ИМАШ РАН начали заниматься профессора А. Ш. Колискор и Г. В. Крейнин. Задача осложняется тем, что на модель может воздействовать поток воздуха с усилием около 1,5 тонн, при этом нужно иметь шесть степеней свободы механизма и минимально затенять воздушный поток.

Для решения поставленной задачи был синтезирован ряд схем [19–20], отличительной особенностью которых является расположение всех приводов вне рабочей зоны (рис. 12). Данное устройство планируется использовать в ЦНИИМАШ при разработке гиперзвуковых систем, также оно может быть применено в ЦАГИ для работы в аэродинамических трубах. Подобные схемы могут быть использованы в других технических приложениях, в частности при манипулировании в агрессивных средах (космос, океан).

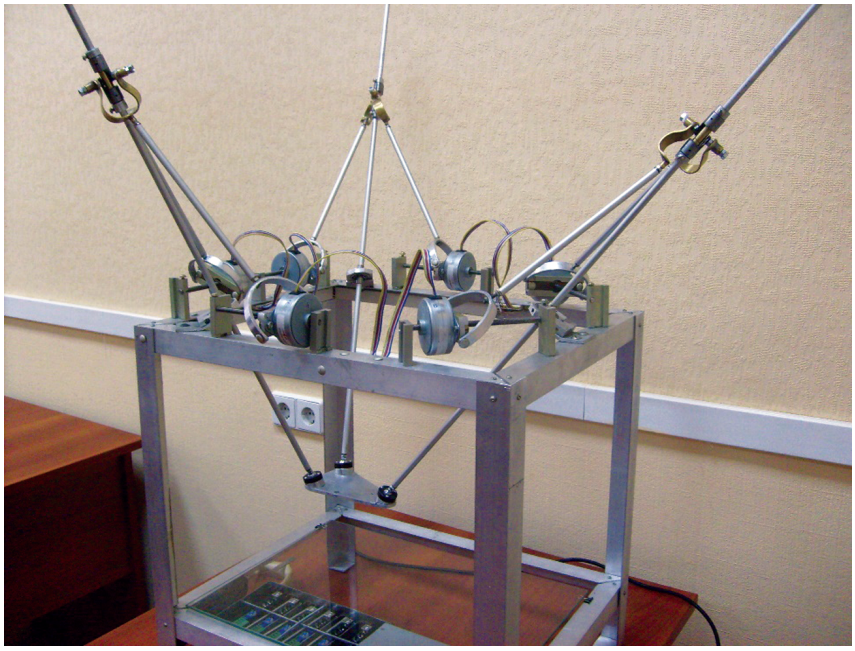

Рис. 12. Манипулятор для испытаний моделей летательных аппаратов в аэродинамической трубе

К информационно-измерительным системам можно отнести устройства технической диагностики, которые в течение многих лет разрабатываются в ИМАШ РАН. В частности, на Савеловском машиностроительном заводе сотрудниками ИМАШ РАН А. М. Шитовым и А. К. Алешиным внедрена система вибродиагностики шпиндельного узла металлорежущего станка (рис. 13).

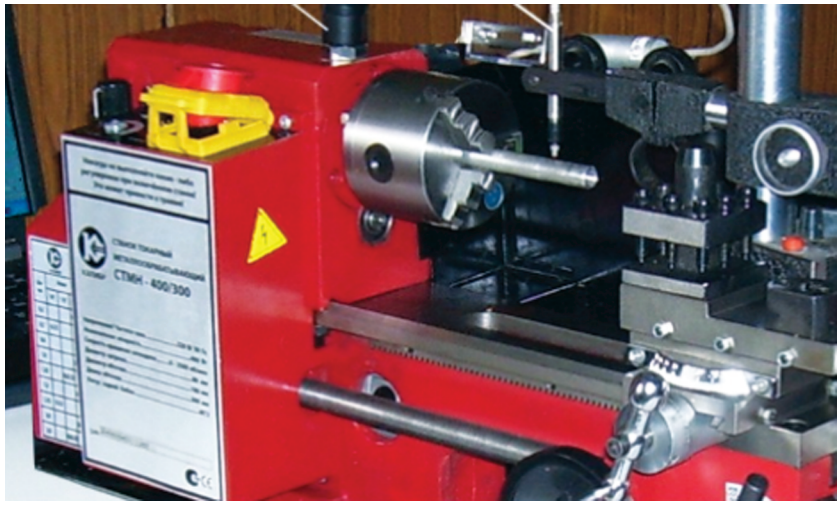

Рис. 13. Станок с оборудованием для осуществления вибродиагностики

К информационно-измерительным системам можно отнести устройства, разрабатываемые в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова для обнаружения подводных объектов. В ИМАШ РАН на протяжении многих лет ведутся работы по снижению шумности подводных лодок, в этой области были достигнуты очень значимые результаты. Руководил этими работами профессор М. Д. Генкин. Однако в последние годы интенсивно развиваются активные методы обнаружения объектов по вторичному гидроакустическому полю, а для акустической защиты объектов разрабатываются «интеллектуальные покрытия». Этим направлением в ИМАШ РАН руководят профессора О. И. Косарев и Ю. И. Бобровницкий.

При создании вторичного поля (рис. 14) на объект подается звуковой сигнал от излучающей антенны. Под действием этого сигнала возбуждаются вынужденные колебания корпуса объекта, создающие рассеянное поле. Указанное поле регистрируется приемными антеннами, расположенными под различными углами наблюдения. Объект в полной динамической модели представляется в виде оболочечной конструкции, состоящей из отсеков, соединенных между собой переборками. Переборки моделируются упругими кольцами, на которых закреплено амортизированное оборудование, представляемое сосредоточенными массами.

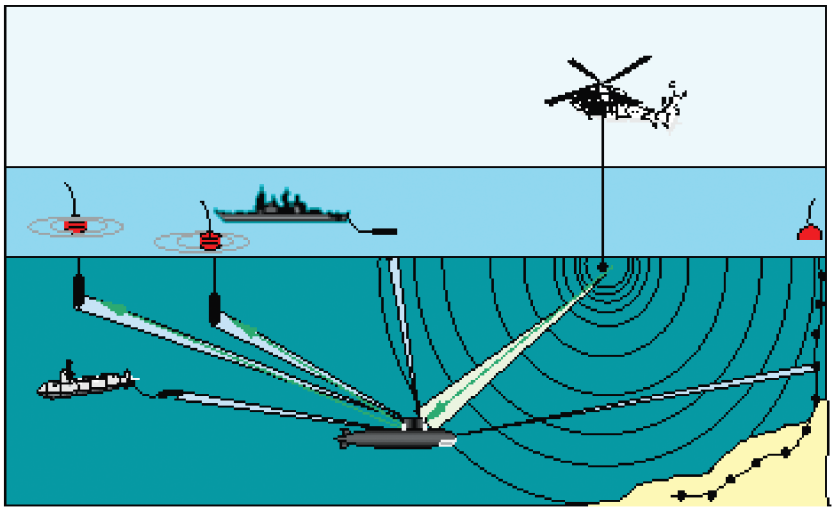

Рис. 14. Принцип обнаружения объекта по вторичному акустическому полю

Таким образом, в области разработки информационно-измерительных систем сотрудниками Института машиноведения достигнуты серьезные успехи.

5. МЕДИЦИНСКИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Важной задачей, вставшей перед исследователями в последние годы, является разработка хирургических манипуляторов для робот-ассистированных операций (урология, ортопедия, кардиология). Широко известен робот Da Vinci, в котором каждая из четырех консолей (рис. 15) представляет собой манипулятор с последовательным расположением звеньев [21]. Такая архитектура приводит к тому, что механизм, перемещающий инструмент весом несколько сот граммов на расстояние 10–20 см, сам весит несколько десятков килограммов и занимает пространство в пределах более метра. Перспективной альтернативой могли бы стать разрабатываемые в ИМАШ РАН манипуляторы [22], в которых приводы установлены на основании (рис. 16).

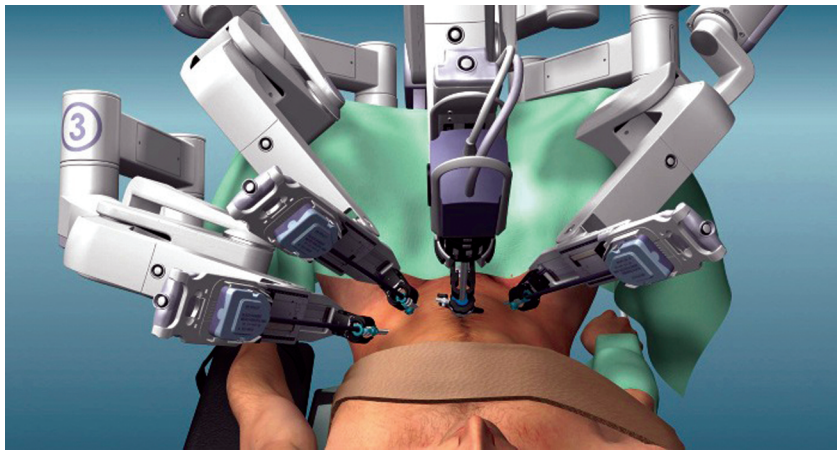

Рис. 15. Хирургический робот Da Vinci

Особенностью данных устройств является кинематическая развязка между степенями свободы, когда каждый привод перемещает выходное звено по одной координате. Габариты и вес подобных манипуляторов могли бы быть в десятки раз меньше, чем у робота Da Vinci. В рамках данной работы ИМАШ РАН сотрудничает с Центральной клинической больницей РАН, с Центральным институтом травматологии и ортопедии, с МГТУ им. Н. Э. Баумана, с ЦКБ РАН, с ИКТИ РАН, с Московским университетом дизайна и технологии (МГУДТ). Разрабатываемые системы представляют собой импортозамещающую технику, в ряде случаев опережающую зарубежный уровень.

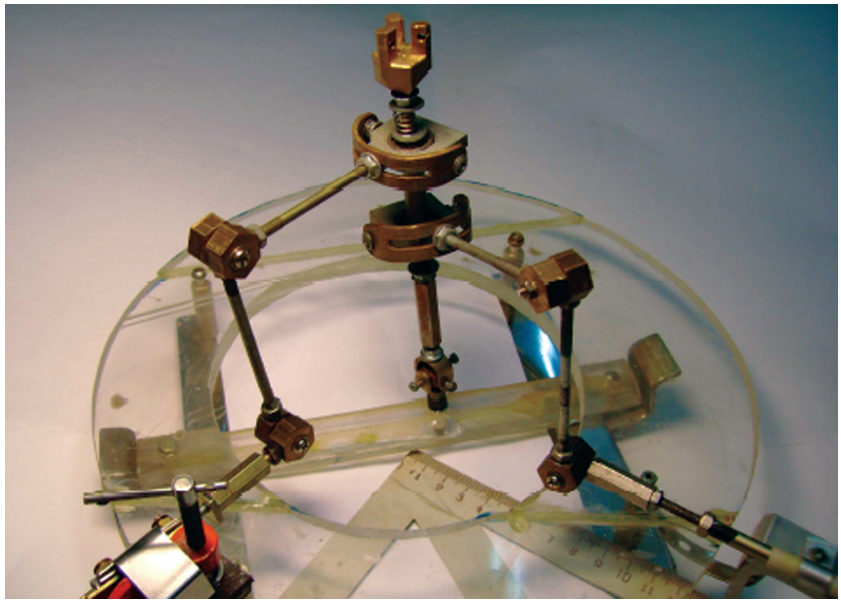

Рис. 16. Механизмы с развязкой движений для хирургических операций

Приведем еще один пример технологической задачи, которая в дальнейшем может стать основой для микрохирургического робота. Эта работа была начата в сотрудничестве с НИИ «Вакууммашприбор» им. Векшинского. Отличительной особенностью данной задачи является требование высокой точности при перемещении объекта, которая может составлять 0,01 мкм. Кроме того, нужно обеспечить отсутствие люфтов.

Для решения данной задачи были предложены схемы манипуляционных механизмов (рис. 17), в которых имеет место передаточное отношение между перемещениями в приводах и перемещениями выходного звена [23]. Это передаточное отношение обеспечено за счет наличия рычага в каждой кинематической цепи, а также смещения центра сферической пары относительно центра вращательных пар. Иным способом организации передаточного отношения является использование λ-образной схемы в каждой кинематической цепи. Кроме того, каждая кинематическая пара выполнена в виде изгибного упругого элемента. Все это обеспечивает точность 0,1 мкм даже при наличии ручного привода. Такие устройства могут быть весьма эффективны в микрохирургии.

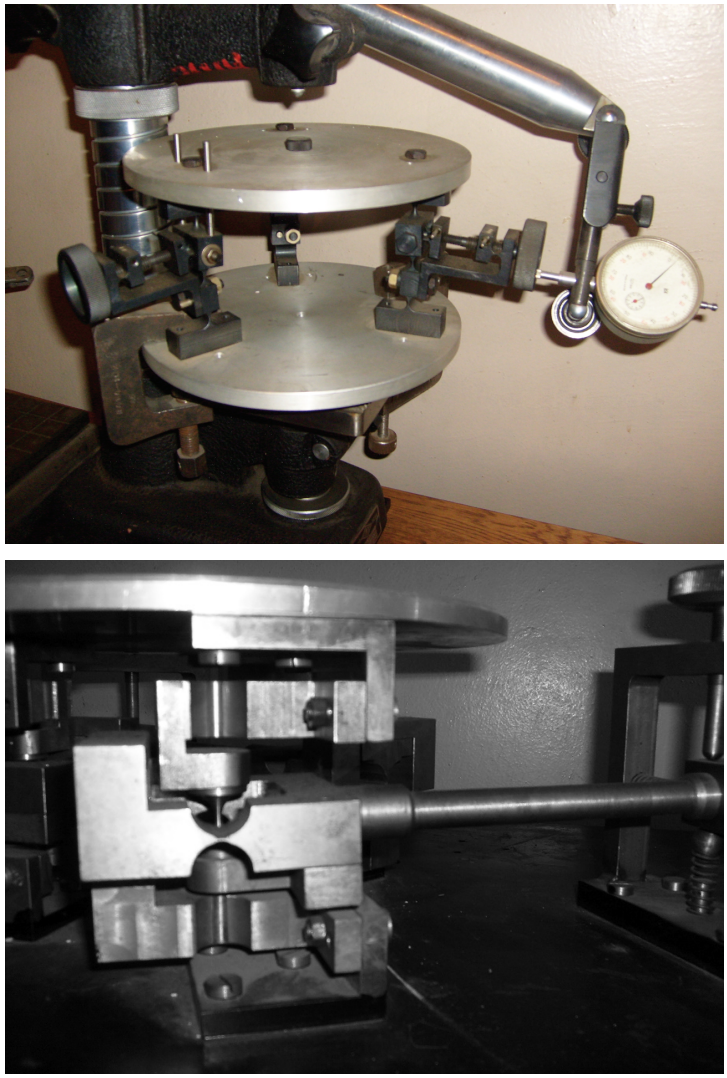

Рис. 17. Механизмы с изгибными упругими кинематическими парами

Сотрудником отдела вибрационной биомеханики профессором Е. И. Воробьевым разрабатываются весьма интересные с точки зрения импортозамещения биопротезы руки человека. Они должны управляться не посредством биотоков, снимаемых с нервных окончаний, а посредством воздействия пальцев ноги на элементы задающей системы. В этом же отделе профессором С. В. Петуховым плодотворно развивается направление, анализирующее взаимные аналогии между генетикой и теорией машин. Последователи школы Ф. М. Диментберга профессора Л. Я. Банах, М. Д. Перминов, Г. Я. Пановко, А. А. Алифов исследуют различные свойства колебательных систем. Заведующий отделом В. О. Соловьев активно работает над вопросами повышения эффективности взрывных технологий в различных отраслях народного хозяйства.

В данном разделе приведем еще один пример создания машин для решения проблемы импортозамещения в части устройств пищевой промышленности. Речь идет о создании машин-автоматов для дозировки и расфасовки жидких пищевых продуктов. Эта проблема успешно решается в ИМАШ РАН сотрудниками отдела механики машин и управления машинами — Б. Л. Саламандрой, Л. И. Тывесом и др. В основу конструкции (рис. 18) заложены передовые технические решения в указанной области, получен ряд патентов.

Рис. 18. Фасовочно-упаковочная линия для дозировки жидких продуктов питания

Таким образом, в области создания устройств для медицинской и пищевой промышленности Институт машиноведения также имеет определенные результаты, не уступающие мировому уровню.

6. ТРАНСПОРТНЫЕ И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Транспортные системы всегда были и остаются важным объектом изучения науки о машинах. В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова проводятся работы по созданию перспективных транспортных систем.

В частности, совместно с УдГУ (г. Ижевск), механико-математическим факультетом МГУ, ИПМ им. М. В. Келдыша, ЗАО «Ровер» (г. Санкт-Петербург) под общим руководством директора Математического института им. В. А. Стеклова академика В. В. Козлова профессорами А. В. Борисовым и В. Е. Павловским, а также их сотрудниками разработан первый в России сферобот — робот-шар SpheROB (рис. 19). Подобные аппараты в силу своей герметичной конструкции могут использоваться для исследования зон с агрессивной средой, например мест аварий или поверхности других планет.

Рис. 19. Сферобот — мобильный робот-шар

Остановимся еще на одной задаче, которая связана с созданием космических робототехнических систем. Эта задача возникла в связи с сотрудничеством межу ИМАШ РАН и Астрокосмическим центром ФИАН им. П. Н. Лебедева. Речь идет о телескопах нового поколения, в которых планируется устанавливать робототехнические системы для перемещения антенны. Это

очень сложная задача ввиду наличия температур, близких к абсолютному нулю, требуемой высокой точности позиционирования; кроме того, следует учесть необходимость гашения взаимных колебаний. В настоящее время идут работы по созданию космического радиотелескопа «Миллиметрон», который должен функционировать на удалении 1,5 млн км от Земли в одной из точек Лагранжа [20]. В данной установке предполагается применить специальное многофункциональное устройство — манипулятор наведения (рис. 20).

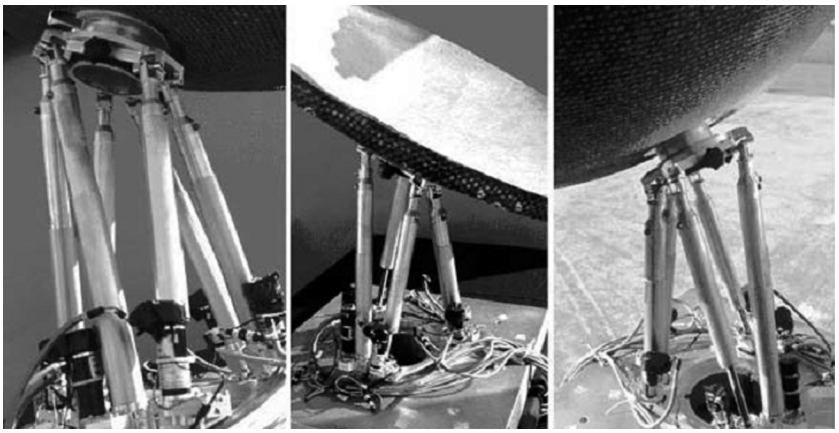

Рис. 20. Устройства наведения, построенные по схеме платформы Гауфа

Для улучшения характеристик данного манипулятора были разработаны различные схемы. Одна из них получена в результате сотрудничества с МГУДТ (рис. 21). Устройство имеет четыре степени свободы и характеризуется частичной кинематической развязкой.

В ИМАШ РАН были разработаны другие схемы; в частности, профессор С. Н. Саяпин предложил концепцию трансформируемого космического робота ДОДЕКАПОД. Автором другой схемы является Л. И. Тывес. Предложенный им манипулятор имеет шесть степеней свободы, три кинематические цепи и характеризуется развязкой между поступательными и вращательными движениями (рис. 22). Решение основано на наличии в каждой цепи карданного вала с дополнительными тягами.

В части разработки космических систем в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова на протяжении нескольких десятилетий проводятся исследования динамических процессов, происходящих при разделении ступеней ракет и других космических аппаратов [25]. Работы ведутся под общим руководством академика К. С. Колесникова, ответственным исполнителем является Н. В. Панкова. Результаты этих исследований были использованы при проектировании Международной космической станции (рис. 23) и при моделировании процессов отделения от нее космических кораблей.

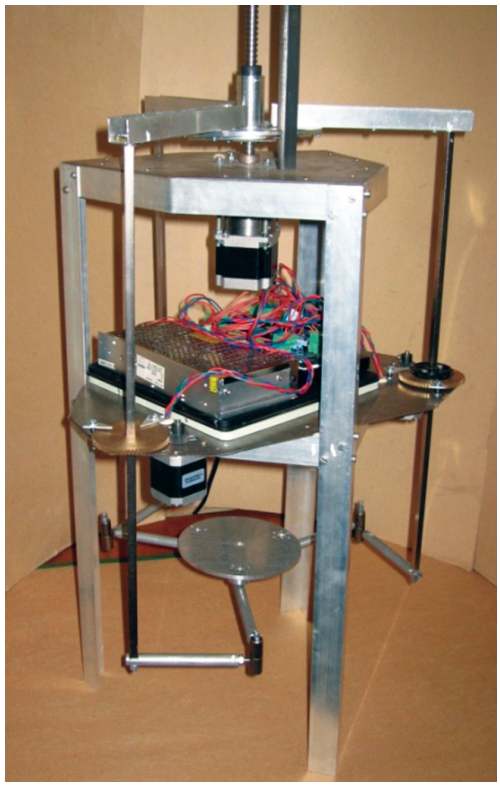

Рис. 21. Манипулятор с четырьмя степенями свободы и частичной развязкой

Рис. 22. Манипулятор с карданными валами и дополнительными тягами

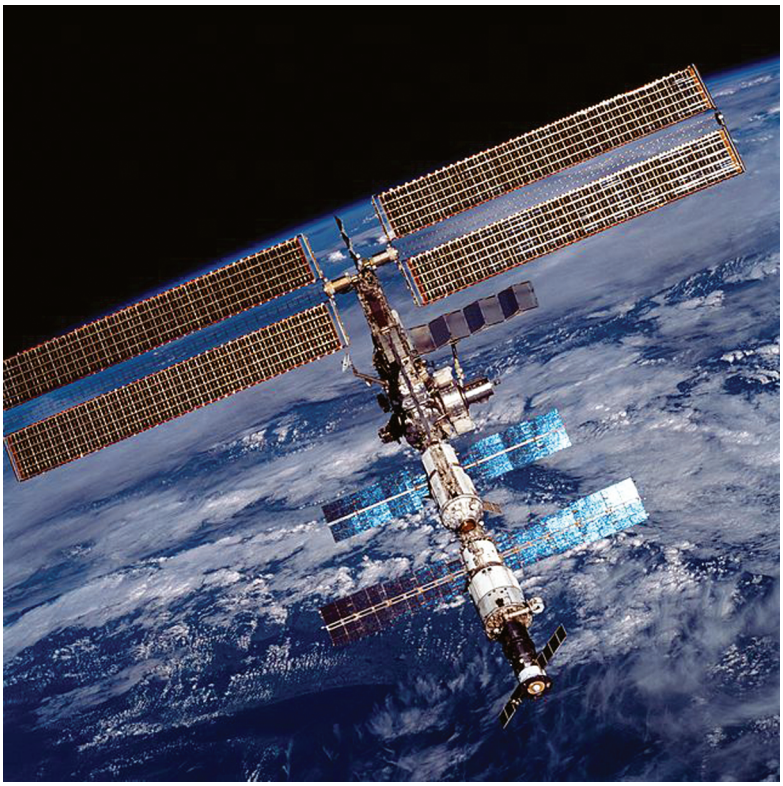

Рис. 23. Международная космическая станция

К транспортным системам можно отнести также газотранспортные установки, основными элементами которых являются центробежные нагнетатели (компрессоры). В последние годы наблюдается значительный рост расходов транспортируемого газа, расстояние между компрессорными станциями многократно увеличилось, особенно в подводных вариантах. Поэтому весьма перспективным оказалось применение для транспортировки газа нагнетателей осевого типа. Однако использование осевых нагнетателей до последнего времени не представлялось возможным из-за несоответствия осевой проточной части условиям транспортировки природного газа.

В Институте машиноведения им. А. А. Благонравова разработан метод профилирования лопаток газотурбинных двигателей нового поколения (автор — С. Е. Василенко, руководитель — А. В. Березин), который обеспечил полное соответствие осевой проточной части условиям транспортировки природного газа. В настоящее время ОАО «Кировский Завод» изготавливает компрессор осевого типа мощностью 16 МВт, проточная часть которого выполнена по методике, разработанной в ИМАШ РАН (рис. 24).

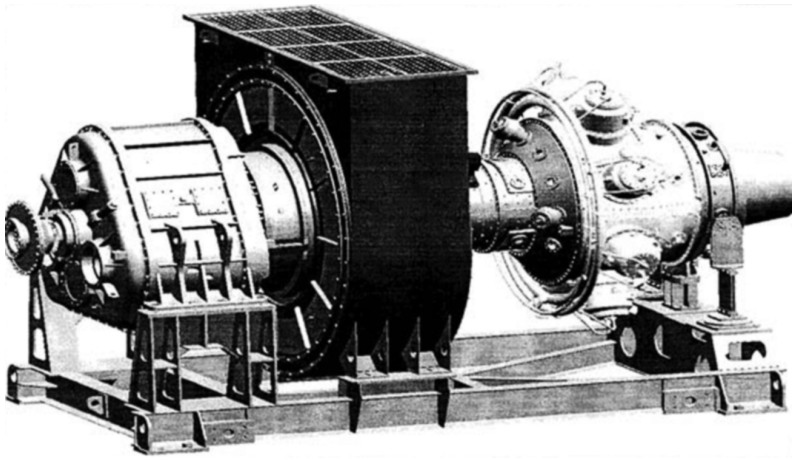

Рис. 24. Энергетическая газотурбинная установка с лопатками специального профиля

7. ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Новые материалы, применяемые в машиностроении, должны обладать совокупностью таких свойств, как высокая механическая прочность и трещиностойкость, химическая инертность и работоспособность в условиях высоких температур и отсутствия смазки. Указанными свойствами обладает нанокристаллический материал нового поколения на основе диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия (кристаллы ЧСЦ). Исследуемый материал [26] при оптимальных технологических режимах изготовления обладает очень высокими механическими характеристиками и может найти применение в составе различных технических объектов: авиакосмическая техника (детали обшивки космических кораблей и возвращаемых модулей, элементы конструкций космических кораблей в условиях открытого космоса, высоконагруженные и термически напряженные узлы и детали оборудования приборов космической техники), камеры сгорания в ответственных двигателях внутреннего сгорания, лопатки турбин авиационных двигателей, элементы роторов высокооборотных машин, режущие элементы биологического и медицинского оборудования (скальпели, оборудование для подготовки микросрезов биообъектов, микрохирургические инструменты, в том числе глазной и нейрохирургии).

При участии сотрудника ИМАШ РАН профессора Г. В. Москвитина разработана опытно-промышленная технология механической обработки кристаллов ЧСЦ для деталей триботехнического назначения и изготовлены опытные партии деталей из кристаллов и керамик ЧСЦ: втулки подшипников для работы в экстремальных условиях эксплуатации; фильеры для калибровки проволоки различных типоразмеров; изделия медицинского назначения: хирургические скальпели, зубные имплантаты (рис. 25).

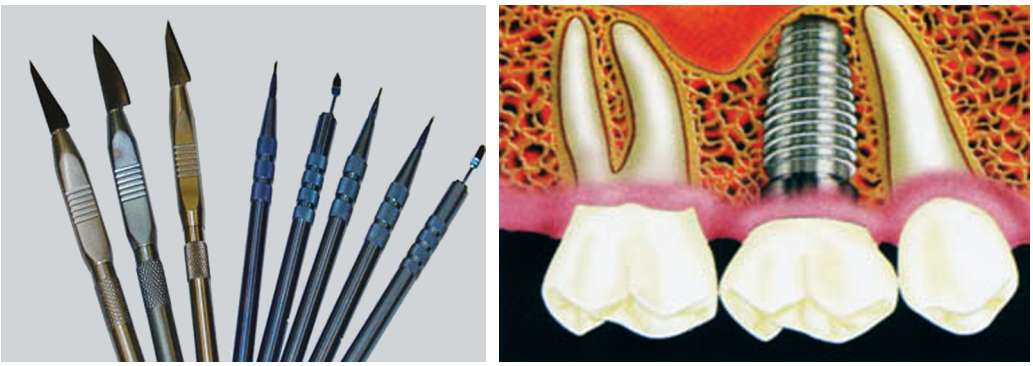

Рис. 25. Инструменты и протезы, полученные с использованием диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия

Наука о машинах может быть эффективно использована при определении условий внутренней подвижности в структурах некоторых кристаллов. С подобной проблемой в ИМАШ РАН обратились сотрудники Института физической химии РАН. Структурно-геометрический подход, учитывающий значительную разницу между энергетическими показателями связей в кристаллах, а также сведения о возможных избыточных связях в механизмах, в ряде случаев позволяет смоделировать фрагменты кристалла (рис. 26) и указать условия внутренней подвижности [27].

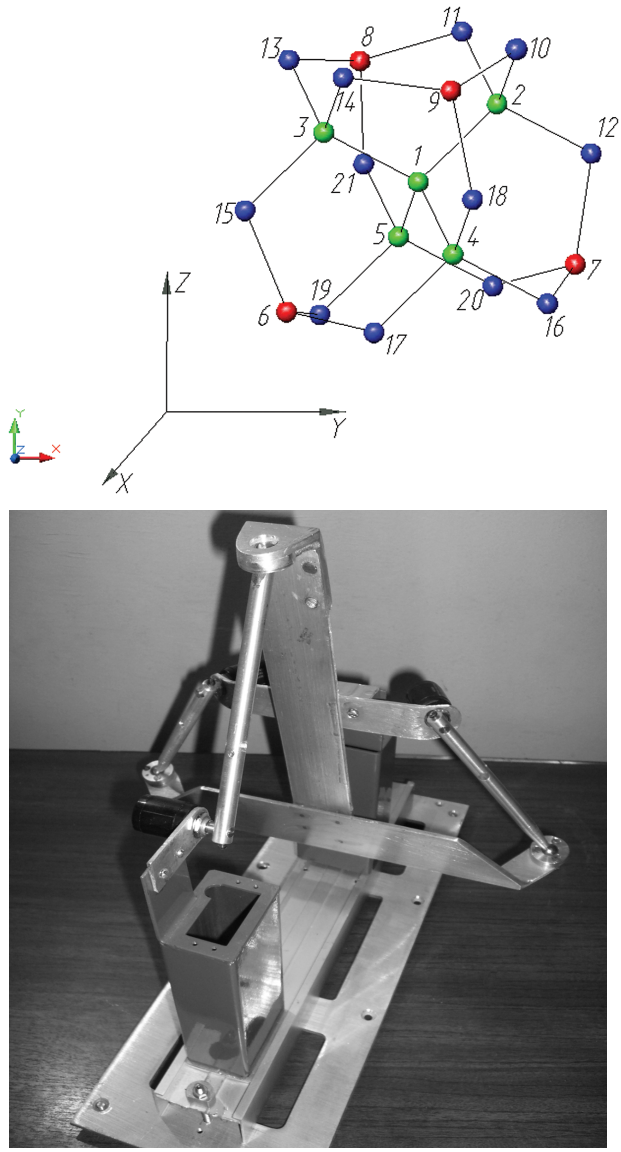

Рис. 26. Фрагмент кристалла и механизм с избыточной связью, моделирующий его подвижность

8. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Деятельность российских ученых-машиноведов всегда была тесно связана с деятельностью Международной федерации по теории механизмов и машин (IFToMM). Одним из инициаторов создания этой организации в 1969 г. и ее первым президентом был академик И. И. Артоболевский, затем нашу страну представлял профессор А. П. Бессонов. В настоящее время президентом IFToMM является профессор Й. Накамура (Япония).

Вначале членами этой организации были около десяти стран, сейчас их число выросло до 47. В состав IFToMM входят технические комитеты и комиссии: по истории машиноведения, по компьютерной кинематике, по человеко-машинным системам, по редукторам и трансмиссиям, по микромашинам, по динамике многомассных систем, по надежности, по робототехнике и мехатронике, по динамике роторов, по трибологии, по вибрациям и др. IFToMM имеет свои весьма авторитетные научные журналы, в частности *Mechanism and Machine Theory*.

С 23 по 26 июня 2014 г. впервые в России под эгидой IFToMM проходил Международный научный симпозиум по теории и практике робототехнических систем RoManSy–2014 (Robot Manipulation Systems). Почетный председатель симпозиума — директор Института машиноведения им. А. А. Благонравова, академик Р. Ф. Ганиев. Сопредседатели — профессор М. Чеккарелли (Италия) и профессор В. А. Глазунов. Направления: антропоморфные роботы; биороботы; микро- и нано-роботы; кинематика и динамика робототехнических систем; очувствление роботов; экспериментальная робототехника.

В работе симпозиума приняли участие крупнейшие специалисты из России, США, Японии, Южной Кореи, Сингапура, Китая, Турции, Казахстана, Сербии, Польши, Германии, Франции, Англии, Италии, Бельгии, Греции, Канады, Болгарии, Вьетнама, Бразилии (рис. 27). Российская робототехника была представлена исследованиями ИМАШ РАН им. А. А. Благонравова, ИПМ им. А. Ю. Ишлинского, ИПМ им. М. В. Келдыша, МГТУ им. Н. Э. Баумана, Инновационного центра «Сколково», МАДИ, МГИУ, МГУДТ, СТАНКИН, различных научных и образовательных учреждений Курска, Волгограда, Ижевска, Белгорода, Челябинска и других городов. Это дало возможность получить сведения о самых современных разработках.

Профессор Б. Росс (Стэнфордский университет, США) прочел пленарный доклад об истории и современных тенденциях развития робототехники [28]. Была отмечена большая роль сотрудника ИМАШ РАН профессора А. Е. Кобринского в разработке фундаментальных проблем робототехники и в организации первых конференций.

Рис. 27. Члены международного программного комитета. Сидят: Т. Зелинска (Польша), И-Минг Чен (Сингапур), В. Аракелян (Франция); стоят: О. Катиб (США), В. Паренти-Кастелли (Италия), Т. Куанг (Китай), А. Таканиши (Япония), В. Шилен (Германия), В. Глазунов (Россия), М. Чеккарелли (Италия)

Можно отметить работы по антропоморфным роботам Университета WASEDA (Япония), этими работами руководит профессор А. Таканиши. В частности, в данном университете ведется исследование робота, выражающего человеческие эмоции [29]. Робот снабжен двигателями, позволяющими выразить на «лице» удивление, радость, обиду и т. д. (рис. 28).

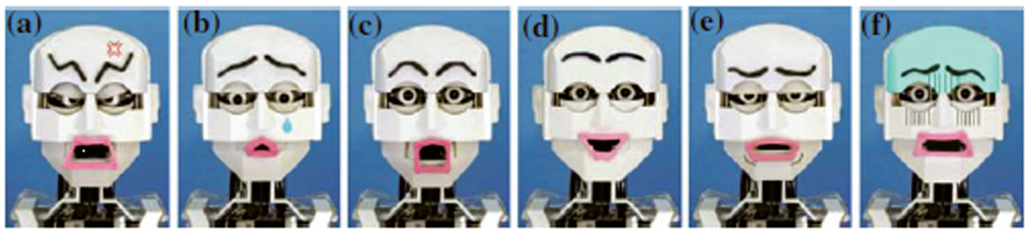

Рис. 28. Робот, выражающий человеческие эмоции

Профессор Й. Накамура сделал доклад о разработках Токийского государственного университета. Профессор И-Минг Чен (Сингапур) представил новые результаты в области мобильных роботов.

Следует отметить, что имеет место давнее сотрудничество между ИМАШ РАН и французскими исследователями, работающими в Национальном институте прикладных наук (г. Ренн), а также в Исследовательском

институте кибернетики и коммуникаций (г. Нант). Были получены важные результаты, позволяющие избегать особых положений (сингулярностей) в роботах параллельной структуры (рис. 29). Доклад, посвященный этому вопросу, был подготовлен доктором С. Брио [30].

Рис. 29. Робот с тремя степенями свободы, не имеющий сингулярностей

Профессор А. Роветта представил доклад, посвященный мобильным роботам [31]. Интересен движитель таких роботов, который за счет наличия роликов, расположенных на колесах, может двигаться в любую из четырех сторон (рис. 30).

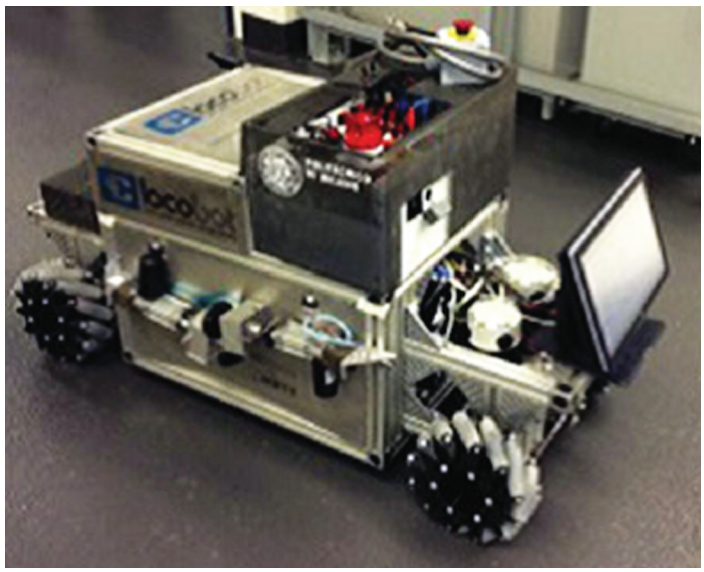

Рис. 30. Мобильный робот с роликовыми движителями

Труды симпозиума изданы в издательстве SPRINGER (рис. 31). Общее число участников симпозиума, включая авторов докладов и приглашенных персон, — около 250. В рамках симпозиума прошло заседание Технического комитета IFToMM по робототехнике и мехатронике под руководством председателя комитета профессора И-Минг Чена (Сингапур). Симпозиум внес серьезный вклад в развитие робототехники.

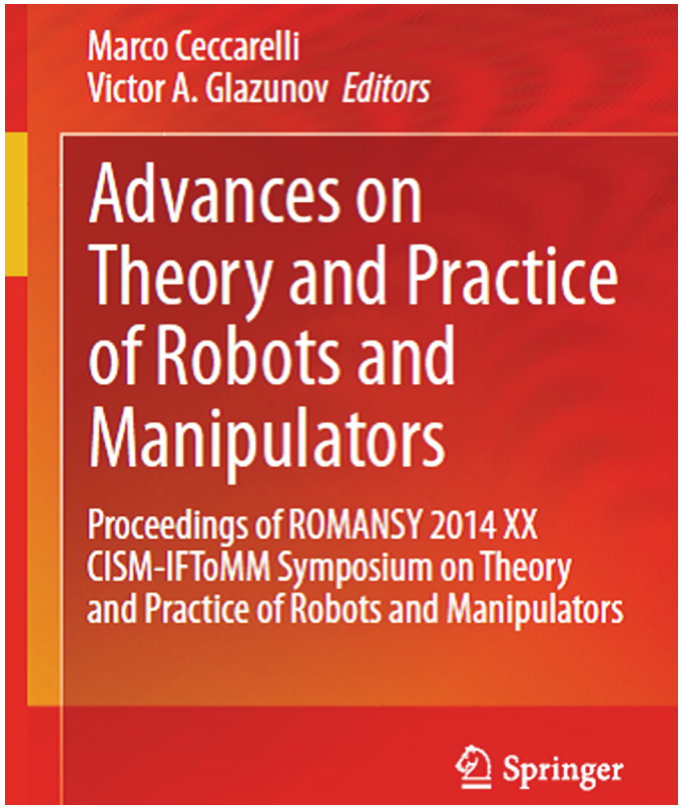

Рис. 31. Труды Симпозиума ROMANSY–2014

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хотелось бы отметить следующее. Достижения всех наук современности — от физики элементарных частиц, нанотехнологий, изучения космоса до генной инженерии и далее до психологии и философии — во все более значительной степени определяются достижениями современного машиноведения. Адронный коллайдер, туннельный микроскоп, телескоп Hubble, марсоход Curiosity — все это машины, в которых имеют место двигатель, передаточный механизм, рабочий орган, система управления с элементами искусственного интеллекта. Человек имеет дело не с воздействием изучаемых объектов на органы чувств, а с реакциями созданных им машин на воздействия изучаемых им объектов. В этом смысле совершенно необходимо изучать и совершенствовать сами машины, общие принципы их построения и функционирования. Все изложенное позволяет утверждать, что машиноведение — это одна из наиболее фундаментальных наук современности, которая в настоящее время широко развивается на мировом уровне в Институте машиноведения им. А. А. Благонравова.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганиев Р. Ф. Проблемы механики машин и технологий. Перспективы развития Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 1. С. 3–20.
2. Ганиев Р. Ф. Проблемы механики машин и технологий. Перспективы развития Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН. Часть II // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 3. С. 3–17.
3. Ганиев Р. Ф. О современном состоянии и перспективах развития ИМАШ РАН // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2014. № 3. С. 11–36.
4. Глазунов В. А. Междисциплинарность робототехники. Самоорганизация, бифуркации, многокритериальность. М.: Прогресс-Традиция, 2002. 110 с.
5. Глазунов В. А. Структура пространственных механизмов. Группы винтов и структурные группы // Справочник. Инженерный журнал. 2010. Приложение № 3. 24 с.
6. Крайнев А. Ф. Словарь-справочник по механизмам. М.: Машиностроение, 1987. 560 с.
7. Крайнев А. Ф. Удивительная механика. М.: Машиностроение, 2005. 120 с.
8. Merlet J.-P. Parallel Robots. Kluwer Academic Publishers, 2000. 372 p.
9. Kong X., Gosselin C. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer, 2007. 275 p.
10. Глазунов В. А., Колискор А. Ш., Крайнев А. Ф. Пространственные механизмы параллельной структуры. М.: Наука, 1991. 96 с.
11. Глазунов В. А., Колискор А. Ш., Крайнев А. Ф., Модель Б. И. Принципы классификации и методы анализа пространственных механизмов с параллельной структурой // Проблемы машиностроения и надежности машин. Машиноведение. 1990. № 1. С. 41–49.
12. Ганиев Р. Ф., Кононенко В. О. Колебания твердых тел. М.: Наука, 1976. 432 с.
13. Демидов С. М., Артеменко Ю. Н., Глазунов В. А., Чан Куанг Ньят. Анализ динамических свойств механизмов параллельной структуры // Машиностроение и инженерное образование. 2012. № 1. С. 36–41.
14. Крайнев А. Ф., Афонин В. Л., Глазунов В. А., Ковалев В. Е. Робототехническая технологическая установка. Патент РФ № 2063329. МКИ В 25J 9/00, 18/00. Оп. 10.07.96, БИ № 19.

15. Хейло С. В., Глазунов В. А., Сухоруков Р. Ю. Решение задачи кинематики поступательно-направляющего манипулятора // Машиностроение и инженерное образование. 2011. № 2. С. 11–16.
16. Глазунов В. А., Ласточкин А. Б., Терехова А. Н., Ву Нгок Бик. Об особенностях устройств относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2007. № 2. С. 77–85.
17. Патент РФ на полезную модель № 133045. Пространственный механизм со стабилизирующими кинематическими цепями / Ганиев Р. Ф., Касилов В. П., Глазунов В. А., Левин С. В., Шалюхин К. А. B25J 1/00, заявка 2013115036/02, 04.04.2013. Оп. 10.10.2013. Бюл. № 28.
18. Глазунов В. А., Ласточкин А. Б., Шалюхин К. А., Данилин П. О. К анализу и классификации устройств относительного манипулирования // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2009. № 4. С. 81–85.
19. Барсуков И. Б., Глазунов В. А., Чутаев А. А. Анализ и синтез манипуляторов с параллельной топологией для экстремальных сред // Проблемы машиностроения и автоматизации. 1992. № 3. С. 34–38.
20. Глазунов В. А., Новикова Н. Н., Рашоян Г. В., Нгуен Минь Тхань Оптимизация параметров механизма параллельной структуры для агрессивных сред при учете особых положений //Проблемы машиностроения и надежности машин. 2006. № 2. С. 102–109.
21. Liatsikos E., Kallidonis P., Tuerk I., Anderson C., Beerlage H., Stolzenburg J.-U. Setup of da Vinci System for Kidney Surgery // Laparoscopic and Robot-Assisted Surgery in Urology. Springer, 2011.
22. Глазунов В. А., Данилин П. О., Левин С. В., Тывес Л. И., Шалюхин К. А. Разработка механизмов параллельной структуры с кинематической и динамической развязкой // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2010. № 2. С. 23–32.
23. Крайнев А. Ф., Глазунов В. А., Нагорных В. И. Разработка механизмов параллельной структуры для малых перемещений с упругими изгибными кинематическими парами // Проблемы машиностроения и надежности машин. Машиноведение. 1992. № 4. С. 79–86.
24. Артеменко Ю. Н., Глазунов В. А., Демидов С. М., Чан Куанг Ньят. Разработка и анализ механизмов параллельной структуры, предназначенных для манипулирования антеннами космических телескопов // Справочник. Инженерный журнал. 2012. № 5. С. 30–34.
25. Колесников К. С., Кокушкин В. В., Борзых С. В., Панкова Н. В. Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет. Учеб. Пособие. М.: Изд. МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 376 с.

26. Москвитин Г. В., Мельшанов А. Ф., Пугачев М. С. Оценка прочности нового нанокристаллического материала на основе диоксида циркония, частично стабилизированного оксидом иттрия // Вестник научно-технического развития. 2010. № 11 (39). С. 21–25.
27. Быков Р. Э., Глазунов В. А., Тытик Д. Л., Новикова Н. Н. Моделирование модулей кристаллических структур с помощью механизмов с избыточными связями // Проблемы машиностроения и надежности машин. Машиноведение. 2002. № 2. С. 89–96.
28. Roth B. Ro.Man.Sy.: Its Beginning and Its Founders // Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proc. of ROMANSY 2014 XX CISM-IFToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. P. 1–8.
29. Kishi T., Futaki H., Trovato G., Endo N., Destephe M., Cosentino S., Hashimoto K., Takanishi A. A Robotic Head that Displays Japanese “Manga” Marks // Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proc. of ROMANSY 2014 XX CISM-IFToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. P. 245–253.
30. Briot S., Khalil W. Recursive and Symbolic Calculation of the Stiffness and Mass Matrices of Parallel Robots // Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proc. of ROMANSY 2014 XX CISM-IFToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. P. 123–132.
31. Rovetta A. Brain Flow in Application for New Robotic POLIMI Platform // Advances on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Proc. of ROMANSY 2014 XX CISM-IFToMM Symposium on Theory and Practice of Robots and Manipulators. Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London. P. 473–482.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Глазунов Виктор Аркадьевич

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАШИНОВЕДЕНИЯ

Технический редактор А. В. Бакиев
Компьютерная верстка А. И. Еремeтовой
Дизайнер А. А. Гурьянова

Подписано в печать 28.04.2015. Формат 70 × 100 $^{1}/_{16}$
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,25. Уч. изд. л. 1,8.
Гарнитура «Minion Pro». Бумага мелованная. Заказ № 15-33.
АНО «Ижевский институт компьютерных исследований»
426034, г. Ижевск, ул. Кооперативная, д. 5
E-mail: mail@rcd.ru Тел./факс: +7(3412) 50–02–95