

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ РАБОТЫ КАФЕДРЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА Н.Е. ЖУКОВСКОГО

© П.М. Шкапов, А.Ю. Карпачев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*Приведен краткий обзор основных направлений научных работ кафедры теоретической механики МГТУ им. Н.Э. Баумана за последние 10–15 лет. Показана преемственность в тематике и методологии научных исследований с научным наследием основателя кафедры — Николая Егоровича Жуковского и других выдающихся ученых, в разное время работавших на кафедре. Сотрудниками кафедры решаются классические задачи динамики твердого тела, теории колебаний, теории удара, небесной механики, рассматриваются вопросы математического моделирования, оптимизации, диагностирования механических и гидромеханических систем, прикладные задачи гидроупругости, гидродинамики однородных и двухфазных потоков, искусственной кавитации, исследуются различные аспекты учета сил сухого трения, вопросы динамики и управления роботами, механики деформируемого твердого тела. Тематика исследований включает в себя также ряд других направлений исследований, большая часть которых проводится в рамках работ ведущей научной школы по динамике механических и гидромеханических систем, много лет возглавляемой академиком РАН К.С. Колесниковым. Помимо штатных сотрудников кафедры, совместителей и аспирантов в научных исследованиях участвуют студенты младших и старших курсов. Результаты значительной части научно-исследовательских работ внедряются в учебный процесс, включаются в спецкурсы, реализуются в лабораторных приборах и установках для научных и учебных исследований.*

**Ключевые слова:** механика, системы механические, математическое моделирование, динамика, колебания, удар, сухое трение, системы гидромеханические, гидродинамика, гидроупругость, гидроудар, кавитация, оптимизация глобальная, диагностирование.

Кафедра теоретической механики МГТУ им. Н.Э. Баумана была основана в 1878 г. Н.Е. Жуковским, который заведовал кафедрой на протяжении 43 лет. Наследие его велико, многообразно и до сих пор не теряет актуальности для широкого круга задач науки и техники [1], оставаясь отправной точкой и источником новых научных идей и конструкторских разработок.

В разное время на кафедре работали такие известные ученые, как С.А. Чаплыгин, А.П. Котельников, А.И. Некрасов, В.Н. Ветчинкин, А.Н. Обморшев, В.В. Добронравов, Г.Д. Блюмин, Н.Н. Никитин и другие, которые внесли заметный вклад в разработку различных направлений аналитической механики, аэро- и гидродинамики, небесной механики, динамики твердого тела, теории колебаний, тео-

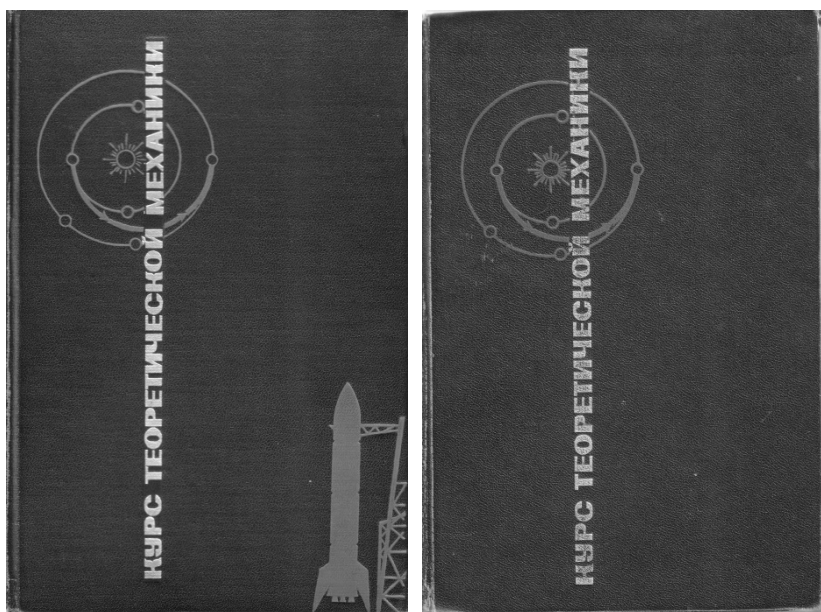
рии гироскопов, многих прикладных разделов механики и смежных дисциплин, а также в методике преподавания теоретической механики. В работах [2–6], написанных сотрудниками кафедры, приведены исторические обзоры о жизни и научном наследии Н.Е. Жуковского и его ближайших сподвижников и учеников, содержатся сведения об истории развития кафедры, становлении курса теоретической механики, проводимых на кафедре научных исследованиях, решении научно-методических и учебно-методических проблем.

На кафедре сохраняется преемственность и следование традициям научных и методических подходов к решению широкого круга научных задач, заложенных Н.Е. Жуковским и его последователями. Главным содержанием таких исследований является разработка физических и математических моделей процессов с выделением их существенных особенностей из всей совокупности рассматриваемых явлений, создание максимально простого, но точного и строго математического описания в соответствии с принятыми моделями, анализ и сопоставление результатов расчетов с данными натурных и модельных экспериментов. Все это в полной мере относится к научным работам кафедры последних десятилетий.

Одно из наиболее плодотворных и известных направлений научной, организационной, научно-методической и общественно-популяризаторской деятельности Н.Е. Жуковского — «отца русской авиации» — было связано с зарождающимся в конце XIX — начале XX в. воздухоплаванием. В созданном им «воздухоплавательном кружке» начинали свою работу всемирно известные впоследствии авиа- и моторостроители. Отвечая потребностям того времени, они разработали научные основы прикладной аэро- и гидродинамики, теории полета, прочности конструкций летательных аппаратов, теории управления самолетами.

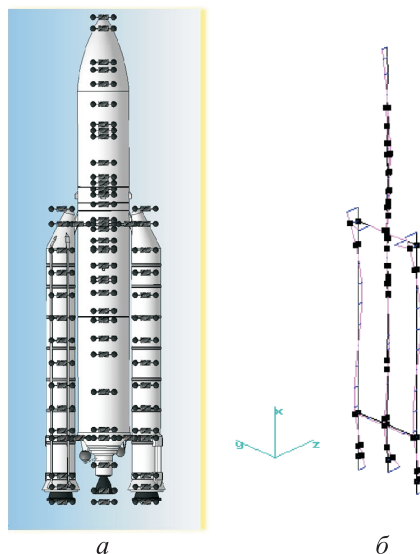
Возникшее позднее на кафедре направление научно-исследовательских работ (НИР) по *теории космических полетов и небесной механике* берет начало с запусков первых искусственных спутников Земли в конце 50-х годов прошлого века. По инициативе В.В. Добролюбова, в то время заведующего кафедрой теоретической механики, создается студенческий кружок космонавтики, проводится большая работа по популяризации космонавтики и связанных с этим научных проблем. Не случайно на обложках первых изданий написанного сотрудниками кафедры учебника по теоретической механике [7], по которому обучалось не одно поколение студентов-бауманцев, изображены ракета и траектории полета искусственных спутников Земли (рис. 1). Из работ последнего времени по данному направлению следует отметить публикации [8–12], в которых дается обоснование устойчивых положений полета спутника-гиростата на круговой орбите, ана-

лизируется методика измерений характеристик движения спутников, а также предлагается решение задачи об особенностях движения Земли в гравитационном поле Солнца и Луны. В работах [13, 14] приведены концепция построения и обоснование разнесенного орбитального радиотелескопа «Миллиметрон», имеющего большую разрешающую способность, проанализированы связанные с этим проблемы научного и технического плана.



**Рис. 1.** Обложки учебника В.В. Добронравова, Н.Н. Никитина, А.Л. Дворникова «Курс теоретической механики», изданного в 1966 и 1968 гг. соответственно

С начала 60-х годов XX в. развивается направление научных исследований *динамики ракет и космических аппаратов*, которое является основным и ведущим для кафедры в течение последних 50 лет. Научный задел по данной тематике создан основополагающими трудами академика К.С. Колесникова, обобщенными в монографиях [15–17] и получившими развитие в работах его учеников [18]. В результате были разработаны методики расчета продольных и поперечных колебаний конструкции жидкостных ракет с учетом колебаний топлива в баках. В последнем случае для адекватного моделирования колебаний жидкости вводят механические аналоги (осцилляторы или подвешенные маятники с приведенными характеристиками). Пример одной из расчетной схем и характерная форма колебаний жидкостной ракеты с твердотопливными ускорителями приведены на рис. 2.



**Рис. 2.** Расчетные схемы объекта (а) и результаты модельных расчетов одной из форм колебаний с учетом подвижности топлива в баках (б) (номер тона колебаний  $N = 54$ , частота  $f = 61,017$  Гц)

В настоящее время эти исследования проводят с учетом диссипативных процессов при вязком и сухом трении в системах с распределенными параметрами [19, 20], при этом процессы расчета динамических характеристик и анализа их результатов автоматизированы [21, 22]. Решение задач оптимизации конструкции ракет по динамическим характеристикам приведено в работах [23, 24].

Для решения задачи гидроупругости о колебаниях жидкости в упругом баке разработан приближенный аналитический метод определения динамических характеристик упругой оболочки с жидкостью [25]. Согласно этому методу, математическую модель строят с применением гармонических полиномов Лапласа. Вводят систему функций, в явной форме точно удовлетворяющую естественным краевым условиям этой вариационной задачи. Для односвязных и двухсвязных полостей получены аналитические решения. Кроме того, разработан экспериментально-теоретический метод для определения декремента колебаний бака с жидким наполнением с учетом тензора вязких напряжений и создана модель гидроаккумуляторного демпфера [26]. Продолжением этих работ являются исследования по разработке методов расчета колебаний упругого бака с вытекающей жидкостью [27], динамики перераспределения топлива [28], а также топливного бака с упругими фазоразделяющими элементами при микрогравитации [29], что актуально для реализации запуска жидкостных ракетных двигательных установок транспортных кораблей, орбитальных станций и спутников на орбите.

Теоретические и экспериментальные исследования поверхностных волн, возникающих при параметрической неустойчивости жидкости в подвижном баке, представлены в работах [30–31].

Разработанные методы расчета и анализа продольных и поперечных колебаний корпусов ракет, продольных автоколебаний ракет с жидкостным ракетным двигателем (ЖРД), самовозбуждающихся автоколебаний в системе топливоподачи и отдельных ее контурах приведены в учебнике для вузов [32]. Дальнейшее развитие получили исследования акустических колебаний топлива в магистралях топливоподачи с учетом кавитационных явлений и неоднородного распределения свободной газовой фазы в гидролиниях [33]. Изучено влияние этой особенности на расчет границ областей устойчивости системы гидролиния — нагрузочный агрегат [34]. В развитие известного классического исследования Н.Е. Жуковским гидроудара созданы методика и программа расчета гидроудара в разветвленной гидросистеме, позволившие установить новые важные особенности этого процесса для систем топливоподачи [35]. Решение задачи оптимальной организации топливозабора из расходных баков приведено в работах [36, 37].

Динамика разделения ступеней ракет и разгонных блоков составляет самостоятельную область научных исследований по ракетно-космической тематике. Основные результаты по данному направлению представлены в монографиях [38, 39].

С середины 90-х годов XX в. важным и актуальным направлением исследований кафедры являются работы по оптимизации и диагностированию основного оборудования циркуляционных контуров атомных электростанций (АЭС). Решаемые в рамках этого направления задачи включают в себя:

разработку математических моделей и расчет динамических характеристик основного оборудования контуров АЭС;

создание математических моделей и расчет акустических колебаний теплоносителя с учетом двухфазности потока рабочей жидкости;

исследование колебаний внутрикорпусных элементов в потоке теплоносителя;

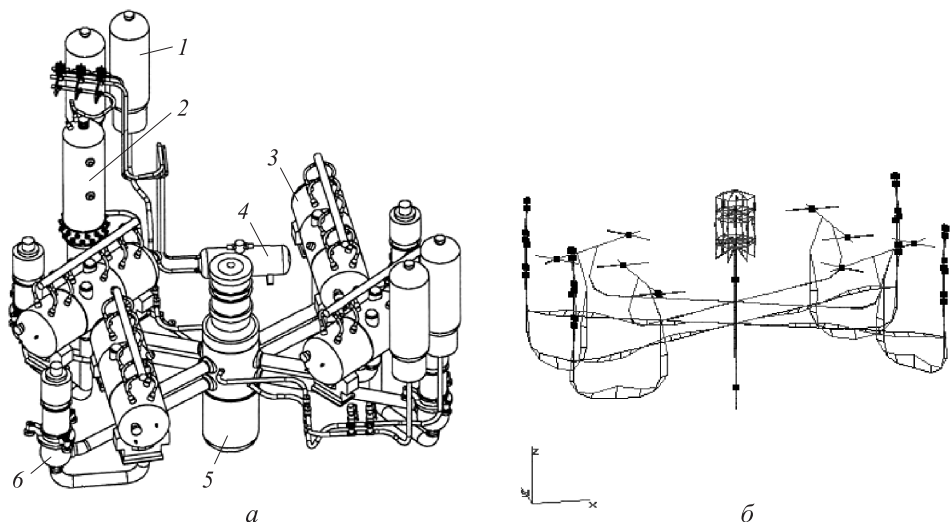
изучение ударных взаимодействий с целью диагностирования места локализации оторвавшихся и полуоторвавшихся тел в циркуляционном контуре;

диагностирование фазового состава теплоносителя и локализация участков появления свободной парогазовой фазы в первом контуре АЭС;

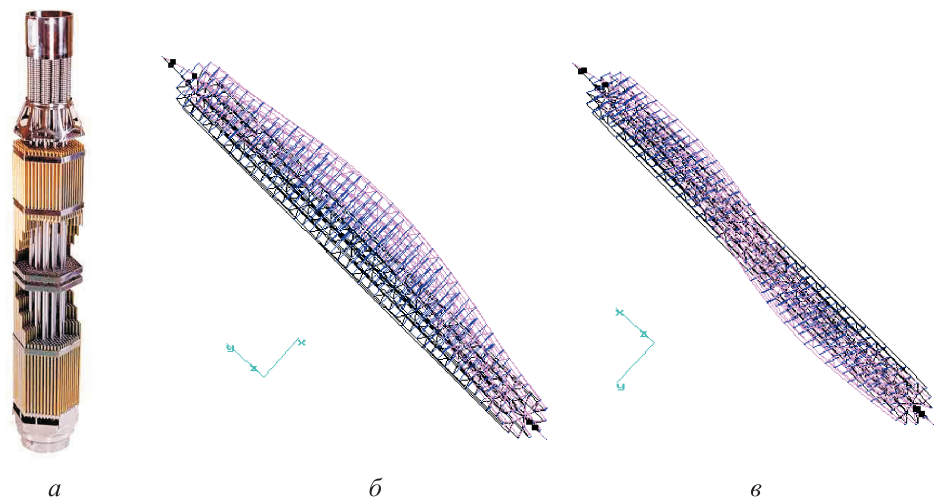
оптимизацию агрегатов и гидросистем АЭС по динамическим характеристикам.

Полученные результаты по данному направлению исследований представлены в ряде отчетов о НИР и публикациях [40–46]. На рис. 3

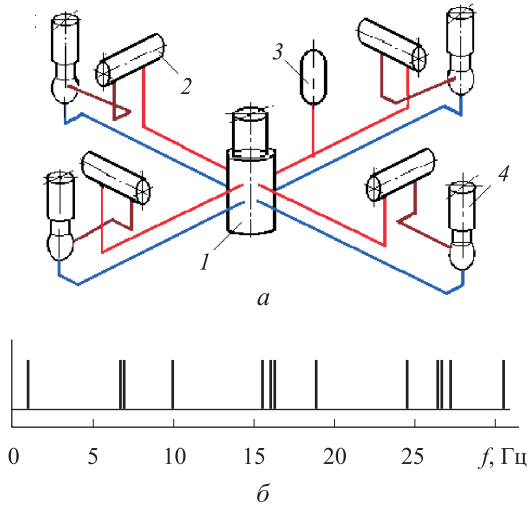
приведена схема первого контура АЭС с реактором ВВЭР-1000 и одна из форм колебаний, а на рис. 4 — общий вид топливной сборки и две формы колебаний, рассчитанные с помощью стержневой модели. На рис. 5 показаны модель для расчета акустических колебаний теплоносителя в главном циркуляционном контуре реакторной установки и линейчатый спектр собственных частот системы.



**Рис. 3.** Схема первого контура с реактором ВВЭР-1000 (*a* — емкость САОЗ (1), компенсатор давления (2), парогенератор (3), барботер (4), реактор (5), главный циркуляционный насос (6)) и одна из форм колебаний (*б*) ( $N=134$ ,  $f=63,681$  Гц)



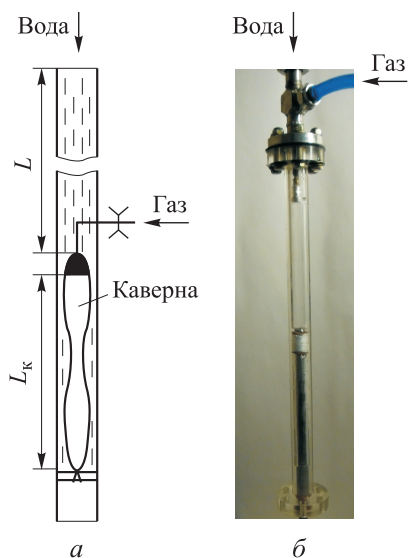
**Рис. 4.** Топливная сборка (*a*) и рассчитанные формы колебаний топливной сборки по стержневой модели ( $N=1, f=5,3176$  Гц (*б*),  $N=4, f=10,909$  Гц (*в*))



**Рис. 5.** Схема для расчета акустических колебаний теплоносителя (а — парогенератор (1), компенсатор давления (2), главный циркуляционный насос (3), реактор (4)) и линейчатый спектр собственных частот акустических колебаний в первом контуре АЭС (б)

Полученные в этих случаях результаты коррелируют с расчетами, выполненными по программе  $\text{\textcircled{R}}\text{ANSIS}$ . Разработанные для решения прямых задач программы для ЭВМ могут при этом использоваться для решения задач диагностирования и оптимизации основного оборудования АЭС по динамическим характеристикам на основе новых разработанных гибридных методов глобальной оптимизации, имеющих лучшие показатели, чем стандартные алгоритмы из пакетов коммерческих прикладных программ [47, 48].

Исследование динамики течений с ограниченной искусственной газовой каверной является активно развивающимся направлением НИР, проводимой на кафедре в последнее время. Основные результаты по нему представлены в обзорах [49–51]. По данному направлению научной работы выполняются теоретическое и экспериментальное исследования динамики течений с ограниченной искусственной газовой каверной как основы технологических процессов, использующих низкочастотные (до 100 Гц) пульсации потока рабочей жидкости. На кафедре создан научно-учебный стенд с визуализацией рассматриваемого кавитационного течения. На рис. 6 представлена схема исследуемого течения и фотография рабочего участка гидростенда. Рассматриваемая ограниченная искусственная каверна описана дифференциальным уравнением с запаздывающим аргументом, найдены границы областей устойчивости, получены выражения для частот и амплитуд, возникающих в системе автоколебаний.

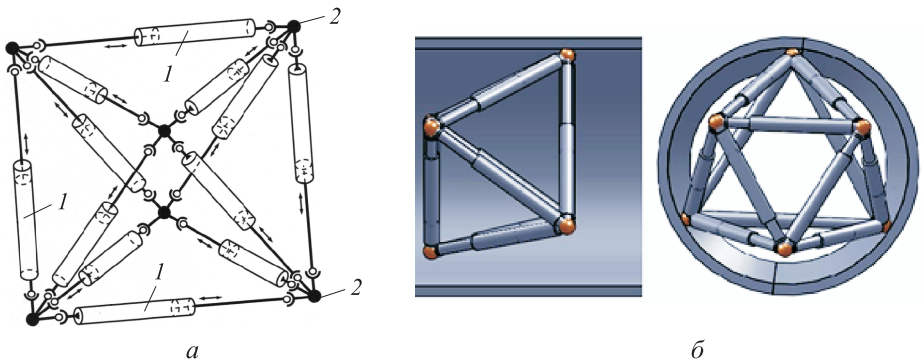


**Рис. 6.** Схема течения с ограниченной искусственной газовой каверной (а), фотография осесимметричного прозрачного рабочего участка гидростенда (б)

По результатам НИР разработаны способ и устройство очистки внутренних каналов гидросистем и внешних поверхностей оборудования пульсирующим потоком, на которые получен патент [52]. Перспективными направлениями внедрения результатов НИР также являются: технологические процессы с использованием пульсаций потока в пищевой, химической, энергетической, нефтегазовой и других отраслях промышленности; ресурсные и гидродинамические испытания топливных и гидравлических систем летательных аппаратов [53, 54]. Возможны и другие области применения полученных результатов НИР.

Длительное время на кафедре ведется исследование ударных взаимодействий тел, имеющих широкий круг актуальных практических приложений. Кроме перечисленных выше [44–46], следует также отметить важные работы этого направления [55–57]. На созданные программы для ЭВМ по численным расчетам ударных взаимодействий получены свидетельства о госрегистрации.

Проводятся также исследования, связанные с анализом динамики мобильных и шагающих роботов и их управлением. Результаты работ по данному направлению обобщены в монографии [58]. Предложен новый модульный принцип пространственного параллельного робота (ППР) [59–61], который обладает более высокой жесткостью при малой массе механизма и повышенной точностью перемещения выходного звена (рис. 7). Ведутся исследования по применению адаптивных ППР для целей медицинской реабилитации [62].



**Рис. 7.** Схема ППР на основе додекапода (*а* — линейный привод (1), вершина октаэдрного модуля (2); *б*) — вид сбоку и спереди на додекапод в цилиндрической трубе постоянного сечения)

Результаты исследования напряженно-деформированного состояния, устойчивости и колебаний круглых пластин в условиях их вращения и неравномерного нагрева [63–67] были использованы для анализа режимов эксплуатации и подготовки к ней тонких дисков в виде режущих полотен и фрез для распиловки различных материалов [68–73] и, кроме того, при разработке ГОСТ Р 54489–2011 (ЕН 847–1: 2005) «Пилы дисковые для бревнопильных станков и автоматических линий» в ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ».

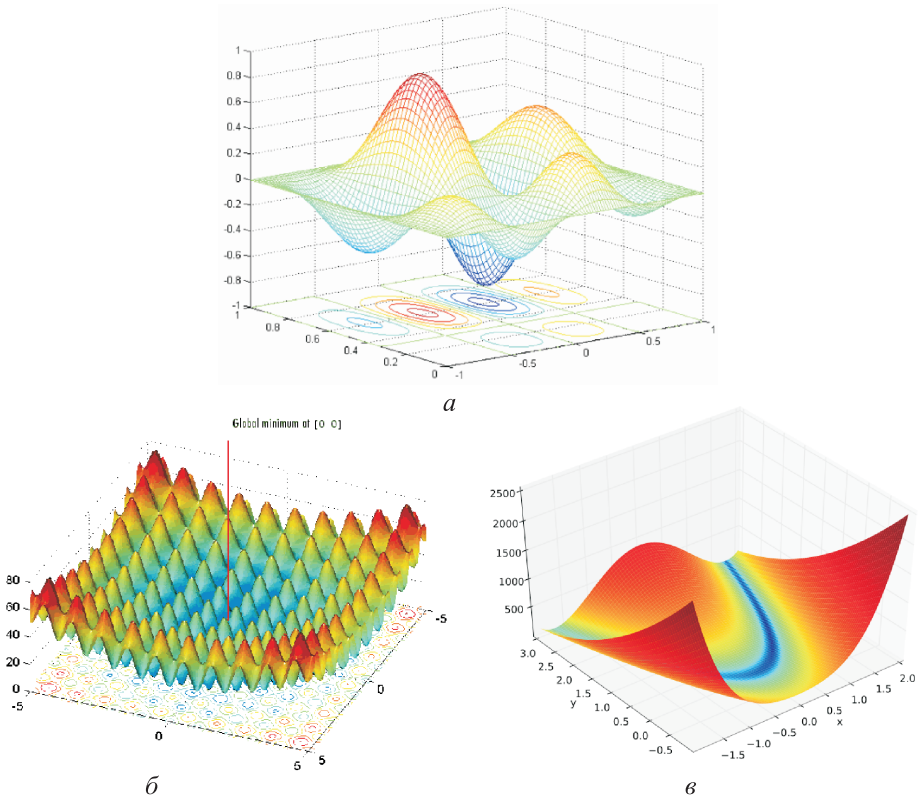
Проводятся всесторонние исследования колебаний и волновых особенностей динамики дискретных механических систем [74].

Рассмотрение классических задач аналитической механики неизменно составляет важное направление НИР кафедры [75]. Новые результаты учета сухого трения на основе подхода Контенсу — Журавлева представлены в монографии [76].

Активно ведущиеся на кафедре научные исследования по разработке и применению гибридных методов глобальной оптимизации актуальны для многих экстремальных задач из разных областей науки и техники [77]. Из полученных результатов по данной тематике НИР следует отметить, что для решения широкого класса таких задач в работе дано теоретическое обоснование подхода и предложен новый двухпараметрический метод построения сглаживающей аппроксимации критериальных функций. Исследованы свойства вводимых аппроксимаций, получены необходимые условия оптимальности, созданы гибридные алгоритмы отыскания глобальных экстремумов скалярных и векторных многоэкстремальных функций, в том числе и в недифференцируемых случаях [78–81]. Разработаны гибридные алгоритмы глобальной оптимизации (PCALMS, PCASFC), которые на один-три порядка эффективнее стохастического алгоритма PCA (предложен в 2005 г.), а для ряда стандартных эталонных те-

стов — в 1,5–2,5 раза эффективнее современного детерминированного алгоритма TRUST. На рис. 8 представлены стандартные эталонные двумерные функции, с помощью которых тестировались и сравнивались по эффективности программы для ЭВМ на основе существующих и предложенных гибридных алгоритмов глобальной оптимизации. Для решения задач векторной оптимизации предложены алгоритмы V-PCALMS и V-PCASFC.

Все разработанные гибридные алгоритмы глобальной оптимизации реализованы с применением высокоэффективных численных методов в комплексах программ для ЭВМ, на которые получены свидетельства о госрегистрации. По результатам этих исследований разрабатывается спецкурс, написано методическое пособие [82].



**Рис. 8.** Графическое отображение стандартных тестовых функций, использованных для сравнения эффективности алгоритмов глобальной оптимизации: «G-hump camelback» (а), Растригина (б), Розенброка (в)

С применением предложенных алгоритмов для механических и гидромеханических систем можно решать обратные спектральные задачи настройки проектных параметров моделей, коррекции математических моделей, оптимизации динамических характеристик, диагностики состояния систем.

В настоящее время на основе стохастического алгоритма М-РСА (предложен в 2008 г.) разработаны новые гибридные алгоритмы М-PCALMS и М-PCASFС с эффективностью в 5–7 раз выше. Разработано программное обеспечение, реализующее указанные алгоритмы, и также получены свидетельства о государственной регистрации.

Тематика НИР, проводимой на кафедре, включает в себя ряд других, не упомянутых здесь направлений исследований, проводимых сотрудниками кафедры по личной инициативе. Тем не менее они также имеют перспективу развития и практического использования в различных областях науки и техники.

На кафедре сохраняются и поддерживаются научные связи с родственными кафедрами университета, других вузов, научно-исследовательскими институтами РАН и научно-производственными объединениями. На кафедре работают совместителями ученые из этих организаций, а преподаватели кафедры участвуют в исследованиях сторонних организаций в рамках грантов РФФИ и по личной инициативе.

Сотрудники кафедры активно участвуют в международных и Всероссийских научных конференциях, семинарах, съездах. На VIII съезде механиков (2006) в Нижнем Новгороде от кафедры было представлено восемь докладов, а на IX съезде (2011) — десять докладов по актуальным направлениям исследований. В 2003 г. кафедра провела конференцию, посвященную 125-летию со дня основания. На ней выступали вице-президент РАН В.В. Козлов, академики К.С. Колесников, В.Ф. Журавлев, К.В. Фролов. В 2012 г. по инициативе кафедры в МГТУ им. Н.Э. Баумана была проведена научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики», посвященная 165-летию со дня рождения Н.Е. Жуковского. В ее работе приняли участие академики РАН К.С. Колесников, И.Б. Федоров, В.Ф. Журавлев, чл.-кор. РАН С.Л. Чернышев, научные работники из институтов РАН, ведущих университетов России.

Результаты большинства направлений НИР, ведущихся на кафедре, в той или иной форме внедряются в учебный процесс. На их основе создаются спецкурсы и новые разделы дисциплин, пишутся новые учебники и учебные пособия, разрабатываются научно-учебные стенды и лабораторные установки. Вся научная работа кафедры строится в неразрывном единстве с учебным процессом для студентов, прежде всего младших курсов. Именно с теоретической механики, как фундаментальной общетехнической дисциплины, начинается знакомство будущих специалистов с их дальнейшей инженерной деятельностью. Построение математических моделей механизмов, включая выделение и составление расчетных схем, применение полученных сведений по описанию движения, проведение расчетов и умение анализировать результаты — вот основные компетенции, которыми должны овладеть студенты по окончании курса теоретической механики.

В преподавании этой дисциплины и спецкурсов по теории колебаний, технической механики на дополнительных факультативных занятиях используется богатый набор наглядных моделей приборов и механизмов из коллекции «Кабинета приборов» кафедры, инициатором создания которого был Н.Е. Жуковский. Разрабатываются компьютеризированные лабораторные научно-учебные установки, применяется мультимедийное оборудование, создаются интерактивные программы обучения механике. Все это также является предметом научно-методических разработок кафедры, направленных на повышение качества подготовки специалистов высшей квалификации.

В научную и научно-учебную работу кафедры активно вовлекаются студенты. В основном это студенты младших курсов, еще не до конца освоившие курс механики, но желающие вникнуть в него более детально и с пользой для своей дальнейшей учебы. Многие из них участвуют в решении научных вопросов на уровне расширенной программы курса теоретической механики и теории колебаний. Для других эта научная работа становится началом серьезных исследований. На ежегодной весенней кафедральной научной конференции Студенческого научно-технического общества им. Н.Е. Жуковского заслушиваются до 10–15 научных докладов, материалы которых публикуются в Молодежном вестнике МГТУ им. Н.Э. Баумана. Часть работ представляется на международных и Всероссийских научных конференциях, публикуется в рецензируемых научных журналах [57, 63].

Студенты активно участвуют в создании научно-учебных стендов и установок на кафедре. Победителями и призерами ежегодных научно-инженерных выставок «Политехника» неоднократно становились студенты, чьи работы были подготовлены под руководством преподавателей кафедры. Многие из них стали лауреатами премии Президента РФ. Работы, выполненные на кафедре, представлялись на Всероссийских выставках научно-технического творчества молодежи (НТТМ-2007, 2009, 2010), проводимых во Всероссийском выставочном центре, и были награждены дипломами и медалями ВВЦ. Неизменно первые и призовые места занимает сборная команда МГТУ им. Н.Э. Баумана на Всероссийских и Московских олимпиадах по теоретической механике. Все это свидетельствует о сохраняющемся высоком уровне преподавания теоретической механики в МГТУ им. Н.Э. Баумана и хороших перспективах развития научной работы кафедры, к которой активно подключается молодежь.

*В последнее время исследования проводились сотрудниками кафедры при поддержке Министерства образования и науки РФ в виде грантов Президента РФ для ведущих научных школ НШ-1816.2003.8, НШ-6108.2006.8, № НШ-1311.2008.8, НШ-5271.2010.8, НШ-4748.2012.8, грантов РФФИ № 10-01-00712, 10-01-07045, 13-01-00853.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жуковский Н.Е. *Избранные труды*. В 9 т. Москва, Гостехиздат, 1937.
- [2] *Механика: сборник статей, посвященный 125-летию МВТУ им. Н.Э. Баумана*. Москва, Оборонгиз, 1955, 382 с.
- [3] Веселовский И.Н. *Очерки по истории теоретической механики*. Москва, Высш. шк., 1974, 288 с.
- [4] Космодемьянский А.А. *Николай Егорович Жуковский*. Москва, Наука, 1984, 192 с.
- [5] *Кафедра «Теоретическая механика». Основные этапы развития (1878–2003)*. Москва, Экслибрис-Пресс, 2003, 192 с.
- [6] *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Спец. вып. № 8 «Фундаментальные и прикладные задачи механики», посвященный 165-летию со дня рождения Н.Е. Жуковского, 180 с.
- [7] Добронравов В.В., Никитин Н.Н., Дворников А.Л. *Курс теоретической механики*. Москва, Высш. шк., 1968, 624 с.
- [8] Панкратов А.А., Сазонов В.В. Исследование эволюции режимов пассивной одноосной ориентации спутников. ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Препринт. 2000, № 61, 25 с.
- [9] Панкратов А.А. Периодические и условно-периодические движения спутника-гиростата под действием гравитационного момента на круговой орбите. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 139–151.
- [10] Абрашкин В.И., Волков М.В., Воронов К.Е., Егоров А.В., Казакова А., Панкратов В.А., Сазонов В.В., Семкин Н.Д. Определение вращательного движения спутника по данным измерений его угловой скорости и напряженности магнитного поля Земли с использованием кинематической модели движения. *Космические исследования*, 2005, т. 43, № 4, с. 295–305.
- [11] Темнов А.Н. Гевлич А.Л. Свободные колебания и вынужденные движения гравитирующего вязкого ядра Земли под действием Луны и Солнца. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2008, № 4, с. 16–37.
- [12] Темнов А.Н., Гевлич А.Л. Уравнения возмущенных движений структурно-неоднородных планет. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2009, № 4, с. 42–55.
- [13] Артеменко Ю.Н., Саяпин С.Н. Концепция построения интеллектуальной системы активной виброзащиты и высокоточного наведения раскрываемого на орбите телескопа «Миллиметрон» в условиях сверхнизких температур. *Материалы IX Всерос. науч. конф. им. Ю.И. Неймарка «Нелинейные колебания механических систем»*. Нижний Новгород, 24–29 сентября 2012 г.
- [14] Саяпин С.Н. Перспективы и возможное применение пространственных механизмов параллельной структуры в космической технике. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2001, № 1, с. 17–26.
- [15] Колесников К.С. *Жидкостная ракета как объект регулирования*. Москва, Машиностроение, 1969, 298 с.
- [16] Колесников К.С. *Продольные колебания ракеты с жидкостным ракетным двигателем*. Москва, Машиностроение, 1971, 260 с.
- [17] Колесников К.С., Самойлов С.А., Рыбак Е.А. *Динамика топливных систем ЖРД*. Москва, Машиностроение, 1975, 172 с.

- [18] Колесников К.С., Пожалостин А.А., Шкапов П.М. Задачи динамики гидромеханических систем в трудах кафедры теоретической механики имени профессора Николая Егоровича Жуковского. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 15–30.
- [19] Ильин М.М. Формы вынужденных колебаний диссипативных систем с распределенными параметрами. *Известия вузов. Машиностроение*, 2006, № 3.
- [20] Пожалостин А.А. Паншина А.В. Вынужденные колебания упругих систем с сухим трением. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 117–128.
- [21] Мухин А.Д., Темнов А.Н. Автоматизация расчета и анализа динамических характеристик конструкций ракет-носителей. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2008, № 1, с. 91–106.
- [22] Мухин А.Д., Темнов А.Н. Построение областей устойчивости ракет-носителей в пространстве параметров компоновки. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2010, № 4, с. 3–16.
- [23] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Гибридные алгоритмы решения обратных спектральных задач для гидромеханических систем. Аэрокосмические технологии. *Науч. материалы Второй междунар. научно-технической конф., посвящ. 95-летию со дня рождения академика В.Н. Челомея*. Реутов — Москва, 19–20 мая 2009. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009, с. 92–97.
- [24] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Коррекция компьютерной модели ракеты-носителя с использованием методов глобальной оптимизации. Ракетно-космическая техника. *Фундаментальные и прикладные проблемы механики. Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию В.И. Феодосьева*. Москва, 4–6 мая 2006 г. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, с. 36.
- [25] Пожалостин А.А. *Разработка приближенных аналитических методов расчета собственных и вынужденных колебаний упругих оболочек с жидкостью*. Дисс. ... д-ра техн. наук. Москва, 2004, 278 с.
- [26] Пожалостин А.А. Динамическая модель гидроаккумуляторного демпфера. *Полет*, 2007, № 10, с. 17–19.
- [27] Темнов А.Н., Тэйн У. Осесимметричные колебания оболочки, частично заполненной жидкостью, вытекающей через заборное устройство. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2008, № 1, с. 46–59.
- [28] Дьяченко М.И. Темнов А.Н. Проблема динамики перераспределения топлива в крупногабаритных ракетно-космических объектах. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2012, № 3, с. 164–174.
- [29] Гончаров Д.А. Осесимметричные колебания двухплотностной жидкости в цилиндрическом баке. *Наука и образование: электронное научно-техническое издание*. 2012, № 04 (77-30569/362856), 12 с. <http://elibrary.ru/download/40933053.pdf>
- [30] Калиниченко В.А., Секерж-Зенькович С.Я. Экспериментальное исследование вторичных стационарных течений в поверхностных волнах Фарадея. *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, 2008, № 1, с. 141–148.
- [31] Калиниченко В.А., Секерж-Зенькович С.Я. О срыве параметрических колебаний жидкости. *Изв. РАН. Механика жидкости и газа*, 2010, № 1, с. 128–136.
- [32] Колесников К.С. *Динамика ракет*. Москва, Машиностроение, 2003. 520 с.
- [33] Колесников К.С., Кинелев В.Г., Шкапов П.М. Колебания двухфазного потока в трубопроводе. *Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт*, 1982, № 4, с. 167–171.

- [34] Шкапов П.М. Устойчивость системы трубопровод — нагрузочный агрегат с учетом неоднородности свойств потока. *Вестник Тамбовского государственного технического университета*, 2010, т. 16, № 4, с. 873–878.
- [35] Бондаренко Н.И., Терентьев Ю.И. К вопросу об определении давления в трубопроводе при его закрытии. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 54–65.
- [36] Степанова М.И., Темнов А.Н. Малые движения жидкости с поверхностной диссипацией энергии. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2011, № 4, с. 99–110.
- [37] Орлов В.В., Темнов А.Н., Товарных Г.Н. Экспериментальное исследование истечения вращающейся жидкости. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2011, № 2, с. 23–34.
- [38] Колесников К.С., Козлов В.И., Кокушкин В.В. *Динамика разделения ступеней ракет*. Москва, Машиностроение, 1977, 223 с.
- [39] Колесников К.С., Кокушкин В.В., Борзых С.В., Панкова Н.В. *Расчет и проектирование систем разделения ступеней ракет*. Изд-во Сиб. гос. аэрокосм. ун-та, Красноярск, 2011, 340 с.
- [40] Кинелев В.Г., Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Диагностирование гидросистемы на основе анализа изменений ее частотного спектра. *Известия РАН. Энергетика*, 1998, № 6, с. 112–119.
- [41] Kinelev V.G., Sulimov V.D., Shkapov P.M. Application of global optimization to VVER-1000 reactor diagnostics. *Progress in Nuclear Energy*, 2003, vol. 43, no. 1–4, pp. 51–56.
- [42] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Детерминированные алгоритмы глобальной оптимизации для диагностирования реакторов ВВЭР-1000 / *Тр. 3-й Междунар. науч. конф. «Необратимые процессы в природе и технике»*. Москва, 24–26 января 2005. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005, с. 271–287.
- [43] Sulimov V.D., Shkapov P.M. *Application of particle collision algorithms to VVER-1000 coolant phase condition diagnostics*. XXXVI Summer School — Conference «Advanced Problems in Mechanics». APM 2008. Book of abstracts. July 6 — July 10, St. Petersburg (Repino), Russia. — St. Petersburg: Institute for Problems in Mechanical Engineering RAS, 2008, p. 75.
- [44] Dubinin V.V., Bannikov S.N. The experimental investigation of the impact of a particle or a rigid body on a cylindrical shell. *Progress in Nuclear Energy*, 2003, vol. 43, no. 1–4 SPEC, pp. 253–260.
- [45] Дубинин В.В. Определение места и параметров удара твердого тела по цилиндрической оболочке. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2006, № 3, с. 99–105.
- [46] Дубинин В.В. О проблеме безопасности атомных электростанций (АЭС) по обнаружению полуоторвавшихся и свободных предметов. *Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского*, 2011, т. 4(5), с. 1246–1247.
- [47] Sulimov V.D., Shkapov P.M. Hybrid algorithms for multiobjective optimization of mechanical and hydromechanical systems. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 190–196.
- [48] Sulimov V.D., Shkapov P.M. Application of hybrid algorithms to computational diagnostic problems for hydromechanical systems. *Journal of Mechanics Engineering and Automation*, 2012, vol. 2, no. 12, pp. 734–741.
- [49] Шкапов П.М., Благовещенская М.М. Теоретические и экспериментальные вопросы динамики течений жидкости с ограниченной искусственной газовой каверной. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*, 2011, № 4(3), с. 1275–1277.

- [50] Шкапов П.М., Благовещенская М.М. Теоретические и прикладные вопросы динамики течений жидкости с ограниченной искусственной газовой каверной. Ч. 1. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012, № 3, с. 109–114.
- [51] Шкапов П.М., Благовещенская М.М. Теоретические и прикладные вопросы динамики течений жидкости с ограниченной искусственной газовой каверной. Ч. 2. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012, № 4, с. 117–125.
- [52] Кинелев В.Г., Шкапов П.М. *Способ очистки различных поверхностей и устройство для его осуществления*. Пат. № 208496 С1 Российская Федерация, 1997, (бюл. № 20).
- [53] Шкапов П.М. Создание пульсаций потока жидкости на основе автоколебаний ограниченной искусственной газовой каверны. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2010, № 9, с. 55–58.
- [54] Гартиг Е.Б., Благовещенский И.Г. Прикладные задачи динамики течения жидкости в трубопроводе с ограниченной искусственной газовой каверной. *Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского*, 2011, т. 4(3), с. 705–707.
- [55] Дубинин В.В. Решение контактной задачи о нагружении полого цилиндра движущимся телом. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2010, № 1, с. 57–63.
- [56] Дубинин В.В. Комплексная задача об ударе материальной точкой (телом) по цилиндрической оболочке. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 57–63.
- [57] Дягель Р.В., Лапшин В.В. О нелинейной вязкоупругой модели удара Ханта — Кросли. *Известия РАН. Механика твердого тела*, 2011, № 5, с. 164–173.
- [58] Лапшин В.В. *Механика и управление движением шагающих машин*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, 112 с.
- [59] Саяпин С.Н., Синев А.В. *Адаптивный мобильный пространственный робот-манипулятор и способ организации движений и контроля физико-механических свойств и геометрической формы контактируемой поверхности и траектории перемещения с его помощью*. Пат. 2424893 Российская Федерация, 2011, бюл. № 21.
- [60] Саяпин С.Н. Додекапод как современный этап развития пространственных параллельных роботов. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2012, № 6, с. 31–45.
- [61] Sayapin, S. N. Parallel spatial robots of dodecapod type. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2012, vol. 41, no. 6, 2012, pp. 457–466.
- [62] Саяпин С.Н., Соловьев В.С., Степанова В.С. Конференция по реабилитационной робототехнике ICORR-2011. *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2012, № 3, с. 142–147.
- [63] Карпачев А.Ю., Небесный М.В., Овчинников В.А. К исследованию динамического поведения систем с распределенными параметрами на ЭВМ. *Известия вузов. Машиностроение*, 2007, № 5, с. 3–12.
- [64] Карпачев А.Ю. О деформации упругого тонкого диска при сферическом движении. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012. Спец. вып. № 8, с. 129–138.
- [65] Карпачев А.Ю. Влияние остаточных напряжений на устойчивость круглых пластин при неравномерном нагреве. *Известия вузов. Машиностроение*, 2006, № 9, с. 3–13.
- [66] Карпачев А.Ю. Свободные колебания круглых пластин при неравномерном нагреве. *Известия вузов. Машиностроение*, 2005, № 4, с. 3–12.

- [67] Карпачев А.Ю. Свободные колебания тонкого диска с радиальными прорезями по периферии. *Известия вузов. Машиностроение*, 2012, № 6, с. 3–6.
- [68] Карпачев А.Ю. Проблема собственных значений в прогрессивных технологиях проектирования режущих полотен. *Научно-технические технологии*, 2001, № 3, т. 2, с. 52–57.
- [69] Карпачев А.Ю. К исследованию устойчивости дисковых пил при неравномерном нагреве. *Известия вузов. Машиностроение*, 2004, № 1, с. 21–24.
- [70] Карпачев А.Ю. Испытания отрезных фрез на устойчивость их плоской формы равновесия при неравномерном нагреве. *Вестник машиностроения*, 2009, № 3, с. 55, 56.
- [71] Карпачев А.Ю. Собственные динамические характеристики вращающихся круглых пил при неравномерном нагреве. *Вестник машиностроения*, 2006, № 5, с. 32–36.
- [72] Карпачев А.Ю. Исследование влияния вальцевания на динамические характеристики круглых пил и фрез. *Вестник машиностроения*, 2007, № 12, с. 42–48.
- [73] Карпачев А.Ю. К анализу эффективности применения термопластического метода подготовки к работе тонких круглых пил и фрез переменной толщины. *Вестник машиностроения*, 2010, № 11, с. 61–65.
- [74] Смирнов В.Ф., Назаренко Б.П. Волновые особенности динамики дискретных систем. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2009, № 3, с. 50–65.
- [75] Брусенцова Е.А., Плешаков Ю.Д. Новые интегрируемые случаи в задаче Жуковского-Пуанкаре. *Доклады РАН*, 2008, т. 418, № 4, с. 473–476.
- [76] Андронов В.В., Журавлев В.Ф. Сухое трение в задачах механики. Москва, Ижевск, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных исследований, 2010, 184 с.
- [77] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Методология решения экстремальных задач для механических и гидромеханических систем. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2012, № 8, с. 44–58.
- [78] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Сглаживающая аппроксимация в задачах векторной недифференцируемой оптимизации механических и гидромеханических систем. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2006, № 2, с. 17–30.
- [79] Сулимов В.Д. Локальная сглаживающая аппроксимация в гибридном алгоритме оптимизации гидромеханических систем. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2010, № 3, с. 3–14.
- [80] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Гибридный алгоритм с локальным поиском методом кривой, заполняющей пространство. Математическое моделирование и краевые задачи. *Тр. седьмой Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Ч. 4. Информационные технологии в математическом моделировании*. Самара, СамГТУ, 2010, с. 182–186.
- [81] Сулимов В.Д., Шкапов П.М. Гибридные алгоритмы векторной недифференцируемой оптимизации. Математическое моделирование и краевые задачи. *Тр. восьмой Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Моделирование и оптимизация динамических систем и систем с распределенными параметрами. Информационные технологии в математическом моделировании*. Самара, СамГТУ, 2011, с. 95–98.
- [82] Сулимов В.Д., Бондаренко Н.И., Шкапов П.М. *Постановка и решение обратных спектральных задач в курсе теории колебаний*. [Электрон. ресурс]. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, 16 с.

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Шкапов, П.М., Карпачев А.Ю. Основные направления научной работы кафедры теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/pedagogika/hidden/1131.html>

**Шкапов Павел Михайлович** родился в 1954 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1977. Д-р техн. наук, зав. кафедрой теоретической механики имени профессора Н.Е. Жуковского МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 100 печатных работ по динамике механических и гидромеханических систем, математическому моделированию и расчету кавитационных и двухфазных течений в трубопроводных системах, вопросам оптимизации и диагностирования динамических систем. e-mail: [spm@bmstu.ru](mailto:spm@bmstu.ru)

**Карпачев Андрей Юрьевич** родился в 1955 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1978. Канд. физ.-мат. наук. Автор свыше 50 работ в области динамики и прочности. e-mail: [a-karpachev@mail.ru](mailto:a-karpachev@mail.ru)