

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»

ГИДРОДИНАМИКА БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

Тезисы докладов
XIII Международной летней научной школы-конференции,
посвященной 160-летию со дня рождения
академика А.Н. Крылова

21–23 июня 2023 г., Чебоксары

Чебоксары, 2023

УДК 532.51+629.12

ББК 22.3+39.42

Г 46

Научный редактор – д-р физ.-мат. наук, профессор А.Г. Терентьев

Составитель – канд. физ.-мат. наук, доцент А.К. Ярдухин

*Печатается по решению Ученого совета
Чувашского государственного университета
имени И.Н. Ульянова*

Г46 **Гидродинамика** больших скоростей и кораблестроение: тезисы докл. XIII Междунар. летней науч. шк.-конф., посв. 160-летию со дня рожд. акад. А.Н. Крылова (21–23 июня 2023 г., Чебоксары) / сост. А.К. Ярдухин; Чуваш. гос. ун-т им. И.Н. Ульянова. – Чебоксары, 2023. – 60 с.

ISBN 978-5-7677-3648-5

Содержит тезисы докладов XIII Международной летней научной школы-конференции «Гидродинамика больших скоростей и кораблестроение», посвященной 160-летию со дня рождения великого ученого, кораблестроителя, академика Алексея Николаевича Крылова. Представлены результаты исследований известных ученых из ведущих научных центров России и зарубежья в области гидродинамики, кавитационных потоков, моделирования и численных методов, а также кораблестроения, проектирования, энергетики.

Для научных работников, аспирантов, студентов.

Материалы сборника воспроизведены с авторских оригиналов

ISBN 978-5-7677-3648-5

УДК 532.51+629.12

ББК 22.3+39.42

© Чувашский госуниверситет
им. И.Н. Ульянова, 2023

Спонсоры конференции



Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Администрация Порецкого округа Чувашской Республики
ООО «Конкорд+»
Александр Насекин

Программный комитет

Терентьев А.Г. – председатель, ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, РФ
Рождественский К.В. – сопредседатель, СПбГМТУ, Санкт-Петербург, РФ
Сидняев Н.И. – зам. председателя, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, РФ
Ветчанин Е.В. – УДГУ, Ижевск, РФ
Вишиневский Л.И. – Крыловский ГНЦ, Санкт-Петербург, РФ
Горячева И.Г. – академик РАН, ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, РФ
Егоров И.В. – ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва, РФ
Журавлёв Ю.Ф. – ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, Москва, РФ
Караваев Ю.Л. – ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, РФ
Карликов В.П. – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, РФ
Килин А.А. – УДГУ, Ижевск, РФ
Конов Э.А. – журнал «Морской вестник», Санкт-Петербург, РФ
Маклаков Д.В. – КФУ, Казань, РФ
Мамаев И.С. – ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, РФ
Махров В.П. – МАИ, Москва, РФ
Петров А.Г. – ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, РФ
Рыжков С.В. – МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, РФ
Стурова И.В. – ИГ им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Новосибирск, РФ
Федореев Г.А. – ООО «Союзмортранс», Владивосток, РФ
Фомин В.М. – академик РАН, ИТПМ им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск, РФ
Филимонов А.К. – СПбГМТУ, Санкт-Петербург, РФ

Организационный комитет

Александров А.Ю. – председатель, ректор Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова

Никитин В.С. – сопредседатель, президент Общероссийской организации «Российское научно-техническое общество судостроителей имени академика А.Н. Крылова»

Рахманов А.Л. – сопредседатель, генеральный директор АО «Объединенная судостроительная корпорация»

Захаров Д.А. – министр образования Чувашской Республики

Ефимова Е.Г. – зам. председателя, доцент кафедры актуарной и финансовой математики ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Лебедев Е.В. – глава Порецкого муниципального округа Чувашской Республики

Иваницкий А.Ю. – декан факультета прикладной математики, физики и информационных технологий ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Иванова Е.В. – декан юридического факультета ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Широков О.Н. – декан историко-географического факультета ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Василькова М.В. – руководитель Дома научной коллаборации им. С.А. Аbruкова ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Сабиров А.С. – зав. кафедрой высшей математики и теоретической механики им. С.Ф. Сайкина ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Казакова А.О. – доцент кафедры актуарной и финансовой математики ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Картузова Т.В. – доцент кафедры высшей математики и теоретической механики им. С.Ф. Сайкина ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Кулагина А.Г. – доцент кафедры актуарной и финансовой математики ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Микишианина Е.А. – доцент кафедры актуарной и финансовой математики ЧГУ им. И.Н. Ульянова

Сироткина М.Е. – доцент кафедры высшей математики и теоретической механики им. С.Ф. Сайкина ЧГУ им. И.Н. Ульянова



Академик
Алексей Николаевич Крылов
1863–1945

НЕЙРОННЫЕ СЕТИ – МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ГЕНОМА МАТЕРИАЛОВ

В.С. Аbrukov¹, Д.А. Ануфриева², Е.В. Данилов³

^{1,2,3} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ abrukov@yandex.ru, ² kafedra.pfn@mail.ru

Эксперимент является основой фундаментальных и прикладных исследований. Результаты экспериментов обычно представляются в виде таблиц и графиков. Однако очень важно уметь представлять их в виде многофакторной вычислительной модели экспериментальных данных, которая содержала бы как явные, так и скрытые закономерности в данных, обобщала бы взаимосвязь между заданными экспериментальными параметрами и измеренными характеристиками объекта, т.е. между всеми переменными эксперимента.

Геном материалов – это информационно-аналитическое и вычислительное средство, которое содержит все взаимосвязи между всеми переменными объекта; позволяет вычислять значения одних переменных через другие; позволяет решать прямые и обратные задачи; позволяет прогнозировать характеристики объектов, которые ещё не были исследованы экспериментально; позволяет прогнозировать технологические параметры получения объекта с желаемыми характеристиками, а также позволяет выполнять виртуальные эксперименты для условий, которые не могут быть организованы или которые трудно организовать в реальности.

В работе представлены искусственные нейронные сети как методологическая основа Генома материалов и примеры применения нейронных сетей в области высокоэнергетических материалов [1] и наноматериалов.

Литература

1. Pang W. Burning Rate Prediction of Solid Rocket Propellant (SRP) with High-Energy Materials Genome (HEMG) / W. Pang, V. Abrukov, D. Anufrieva, D. Chen // Crystals. 2023. 13. 237.

ПЛАНИРОВАНИЕ СПРОСА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЧУВАШИИ

Е.В. Авдеева¹, Д.В. Бобин², Е.Г. Ефимова³, А.О. Казакова⁴

^{1,2,3,4} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ awdeewa.ka2017@yandex.ru, ² dimbobin@mail.ru,

³ eg-fmf@mail.ru, ⁴ kazakova_anastasia@bk.ru

Оценка современной структуры и специфики развития электроэнергетики требует решения проблем в сфере улучшения управления энергосбытовой деятельностью регионов и энергосбытовых компаний, действия которых в будущем обеспечат развитие экономических отношений в сфере электроэнергетики страны в целом. Это требует проведения классификации потребителей электроэнергии и разработки инструментов управления энергосбытовой деятельностью, важнейшим из которых является анализ данных, в частности: прогнозирование, планирование и оценки риска.

В качестве первичной выборки взяты данные по фактическому потреблению электроэнергии по Чувашской Республике за 2015-2021 годы, на основании которых построен прогноз потребления электроэнергии на 2022-2027 годы. Прогноз потребления выполнен на основе анализа временных рядов по аддитивной и мультипликативной моделям, а также на основе корреляционно-регрессионного анализа данных [1]. Все построенные модели адекватно описывают исходные данные. Полученный прогноз отличается от реальных данных и от официального прогноза не более, чем на 2-3% в ту и другую сторону. Следовательно, данная методика планирования может быть использована при анализе прогнозных значений официальных инстанций.

Литература

1. *Болдырев Д.В.* Корреляционный и регрессионный анализ / Д.В. Болдырев, А.А. Евдокимов. – Невинномысск, 2016. – 169 с.

ЗАДАЧА МАРКОВА–ДУБИНСА С УПРАВЛЕНИЕМ НА ТРЕУГОЛЬНИКЕ

А.А. Ардентов

ИПС им. А.К. Айламазяна РАН, Переславль-Залесский, Россия
aaa@pereslavl.ru

Рассматривается модель колесного робота, который двигается по плоскости (без препятствий) только вперед. Робот управляется двумя приводными колесами, которые вращаются с положительными скоростями, ограниченными заданным максимальным значением. Предполагается, что скорости колес можно изменять мгновенно. Переходя от управления скоростями приводных колес к управлению через линейную и угловую скорость, для данной модели робота сформулирована задача быстрогодействия на группе движений плоскости $SE(2)$ с управлением на треугольнике, обобщающая классическую задачу Маркова–Дубинса [1, 2]. К задаче применен принцип максимума Понтрягина, исследована гамильтонова система.

Описаны возможные типы экстремальных управлений (анормальные, релейные, особые, смешанные), все они определяются с помощью кусочно-постоянных функций со значениями в вершинах треугольника, задающего множество допустимых управлений. Для каждого экстремального управления получена верхняя оценка на момент потери оптимальности. Оптимальный синтез сведён к перебору конечного набора кандидатов. Разработана программа для построения множества достижимости и сфер (множества достижимости оптимальных траекторий).

Литература

1. *Марков А.А.* Несколько примеров решения особого рода задач о наибольших и наименьших величинах/ А.А. Марков // Сообщ. Харьков. матем. общ. Вторая сер. Т. 1. 1889. № 2. С. 250–276.

2. *Dubins L.E.* On Curves of Minimal Length with a Constraint on Average Curvature, and with Prescribed Initial and Terminal Positions and Tangents / L.E. Dubins // American Journal of Math. 79. 1957. № 3. P. 497–516.

ДВИЖЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ПОЛЕ ТОЧЕЧНОЙ ОСОБЕННОСТИ

Е.М. Артемова¹, Е.В. Ветчанин²

^{1,2} *Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия*

¹ liz-artemova2014@yandex.ru, ² eugene186@mail.ru

Одной из классических моделей гидродинамики является модель движения плоского профиля (например, кругового) в присутствии точечных вихрей [1]. Представляет интерес изучение движения твердых тел в присутствии точечных особенностей другого типа: источники и вихре-источники.

В данной работе будут показаны результаты недавних исследований движения уравновешенного и неуравновешенного круговых профилей в поле неподвижного источника [2, 3], а также некоторые новые результаты, обобщающие предыдущие исследования на случай вихре-источника и наличия собственной циркуляции у профиля.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

Литература

1. *Mamaev I.S.* Dynamics of an unbalanced circular foil and point vortices in an ideal fluid / I.S. Mamaev, I.A. Bizyaev // *Physics of Fluids*. 2021. Vol. 33. 087119. 18 p.

2. *Артемова Е.М.* Управление движением кругового цилиндра в идеальной жидкости с помощью источника / Е.М. Артемова, Е.В. Ветчанин // *Вестник Удмуртского университета. Математика. Механика. Компьютерные науки*. 2020. Т. 30. № 4. С. 604–617.

3. *Artemova E.M.* The Motion of an Unbalanced Circular Disk in the Field of a Point Source / E.M. Artemova, E.V. Vetchanin // *Regular and Chaotic Dynamics*. 2022. Vol. 27. No. 1. P. 24–42.

ДВИЖЕНИЕ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ В ПОЛЕ НЕПОДВИЖНОЙ ОСОБЕННОСТИ

Е.М. Артемова¹, Д.А. Лагунов²

^{1,2} Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия

¹ liz-artemova2014@yandex.ru, ² 1deqos23@gmail.com

В данной работе построены уравнения движения уравновешенного эллиптического профиля в поле неподвижной точечной особенности. Уравнения движения профиля представлены в лагранжевой форме, указан первый интеграл, соответствующий закону сохранения кинетического момента. Выполнена редукция на фиксированный уровень кинетического интеграла момента, указан эффективный потенциал редуцированной системы. Найдены неподвижные точки редуцированной системы, соответствующие неустойчивым движениям профиля вокруг особенности по круговой траектории.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ ДВИЖЕНИЯ ВИХРЕЙ

Е.М. Артемова¹, Д.А. Солодянкин²

^{1,2} *Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия*

¹ liz-artemova2014@yandex.ru, ² dima.solodyankin.97@mail.ru

В данной работе рассмотрены три подхода к изучению движения двух вихрей.

1. На основе модели точечных вихрей, когда каждый вихрь моделируется как особая точка в жидкости.

2. На основе численного решения уравнений Эйлера для несжимаемой жидкости. В данном подходе использовалось гауссово распределение завихренности для каждого вихря.

3. С помощью натурального эксперимента. Движение вихрей отслеживалось с помощью легких трассеров.

Продемонстрировано качественное и количественное согласование результатов численного моделирования на основе первых двух подходов. Кроме того, показано, что модель точечного вихря дает количественное согласование с натурным экспериментом на начальном временном интервале.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

ДИНАМИКА СФЕРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ С ПОДВИЖНЫМ ТВЕРДЫМ ТЕЛОМ ВНУТРИ

И.А. Бизяев¹, А.С. Бердникова²

¹ *Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия*
¹ bizyaev90@gmail.com, ² bas.main78@gmail.com

Рассмотрена движущаяся на горизонтальной плоскости система, состоящая из двух тел: оболочки и каркаса. Оболочка – динамически симметричное твердое тело, которое снаружи ограничено поверхностью сферы, а внутри имеет полость. Каркаса – твердое тело, которое закреплено внутри оболочки и относительно нее вращается с постоянной угловой скоростью.

Предполагается, что оболочка катится без проскальзывания. В этом случае задача сводится к анализу двумерного отображения Пуанкаре, на котором в зависимости от величины угловой скорости найдены различные регулярные аттракторы: неподвижные точки различных периодов и притягивающие торы. Подробно проанализирована траектория точки контакта оболочки на плоскости.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ НА СУДНЕ С МАЛОЙ ПЛОЩАДЬЮ СЕЧЕНИЯ ПО ВАТЕРЛИНИИ

А.В. Бойко¹, В.В. Прокофьев², Е.А. Архангельский³
^{1,2,3} НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
¹ mailband@mail.ru, ² vlad.prokof@yandex1.ru

Идея использования волновой энергетики моря для движения судов возникла очень давно. Первые упоминания об использовании энергии морских волн для движения судов относятся еще к 19 в.

Препятствием к применению различных волновых движителей (ВД) является нестабильность параметров реальных морских волн и сильная зависимость эффекта от параметров самого судна и волнового движителя. Тем не менее, примеры применения ВД довольно многочисленны.

Экспериментальные исследования, проведенные в условиях гидроканалов на пологих волнах, показали, что скорость судна, оборудованного крыльевыми волнодвигателями при фиксированной частоте волн пропорциональна высоте волн. В штормовых условиях амплитуда волн приближается к максимальной, но при этом крутизна волн увеличивается, а скорость частиц жидкости на гребнях волн приближается к фазовой скорости волн. Это приводит к значительному увеличению сопротивления для судов, движущихся против волн.

Однако, известна конструкция судов мало подверженных воздействию волн. Это, так называемые, суда с малой площадью сечения по ватерлинии (СМПВ), или полупогруженные катамараны. Суда этого типа имеют специальную форму корпуса – расположенную над водой платформу, укрепленную на двух подводных понтонах с помощью нескольких (к примеру, четырех) опор, которые и образуют минимальную площадь сечения по ватерлинии.

По такой же схеме в гидроканале Института механики МГУ была построена модель СМПВ с длиной корпуса 1700 мм и расстоянием между центрами подводных понтонов 1160 мм. Экспериментально исследуется эффективность волновых движите-

лей трех типов (качающееся подпружиненное крыло, подводный парус и прямоточный ВД) на модели судна с малой площадью ватерлинии (СМПВ). В качестве рабочего элемента как качающегося, так и прямоточного ВД использовался профиль НАСА0015. В случае прямоточного ВД плоский профиль был жестко закреплен относительно корпусов судна с наклоном хорды крыла 30° . Проведены исследования эффективности работы волновых движителей на волнах различной длины в зависимости от осадки корпусов СМПВ и, также от глубины погружения движителей (для качающегося крыла и паруса).

Обнаружено, что с ростом глубины погружения корпусов судна эффективность прямоточного ВД растет, а качающегося ВД несколько уменьшается, однако он в значительной мере сохраняет работоспособность, при условии, что рабочий элемент ВД остается на оптимальной глубине вблизи от поверхности воды. Для волн, длина которых порядка длины судна наибольшая эффективность ВД типа качающегося крыла или подводного паруса наблюдается для плавающих корпусов. Для погруженных корпусов рабочий диапазон волн увеличивается так, что для низких частот (длина волн превосходит длину судна более чем в 2 раза) эффективность движителя становится даже выше, чем для плавающих корпусов. Были проведены дополнительные испытания на модели СМПВ уменьшенной примерно в 2 раза – область эффективной работы движителей сместилась в зону генерации волн максимальной для канала высоты. Эти опыты подтвердили вывод о том, что длина наиболее эффективных волн (примерно 3 длины корпуса судна) для СМПВ увеличивается примерно в 2 раза по сравнению с катамараном той же длины с плавающими корпусами.

Испытания прямоточного ВД показали, что его эффективность, в отличие от крыльевого ВД и подводного паруса, растет с увеличением осадки во всем исследованном диапазоне длин волн. Однако максимумы скорости для прямоточного ВД значительно сдвинуты в сторону более коротких волн. При осадке, характерной для СМПВ, максимальные скорости для прямоточного ВД лишь немного уступают крыльевому ВД при той же осадке.

ПРОБЛЕМЫ МАСШТАБНОГО ЭФФЕКТА ПРИ СОЗДАНИИ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Л.И. Вишневский¹, О.П. Орлов²

^{1,2} Крыловский гос. научный центр, Санкт-Петербург, Россия

^{1,2} Vishli@yandex.ru

Проектирование гребного винта (ГВ) для судна, как правило, сопровождается изготовлением его модели и испытанием в кавитационной трубе. По результатам этих испытаний проводят расчетную оценку ходовых или других качеств судна, оснащенным таким ГВ. Однако при прогнозировании этих качеств всегда возникает вопрос о масштабном эффекте гидродинамических характеристиках ГВ, используемых при этой оценке.

При проектировании ГВ традиционной геометрии ответ на вопрос был получен еще в 70-х годах прошлого века на международной конференции опытовых бассейнов ИТТС. Не останавливаясь подробно на критике выработанной рекомендации этой конференции об учете масштабного эффекта, касающегося экспериментальных результатов, полученных в ходе испытаний традиционного ГВ, следует отметить, что такими эмпирическими рекомендациями проектанты пользовались и не безрезультатно: суда сдавались и эксплуатировались. Надо добавить, что этими рекомендациями пользовались для многих типов судов, включая корабли, оборудованные современными саблевидными ГВ сложной геометрии. Выработанные ИТТС рекомендации подтверждались в определенной степени и более уточненными данными с использованием гидродинамической теории, использующей вихревые методы, в основе которой лежит обтекание лопастей ГВ по цилиндрическим сечениям. Однако, как показывают эксперименты по визуализации течения вблизи лопастей, такое обтекание вязкой жидкостью происходит не по цилиндрическим сечениям лопастей ГВ. Сказанное может приводить к неправильной оценке гидродинамических ГВ сложной геометрии, а, следовательно, к неточности прогнозирования качеств судна с указанными ГВ.

В работе произведено уточнение масштабного эффекта с целью корректного учета его влияния, обусловленного числом Re на гидродинамические характеристики ГВ. Такое влияние усугубляется еще влиянием числа Коши Ca , особенно с увеличением саблевидности современных ГВ. Основные результаты, полученные в работе, сводятся к тому, что масштабный эффект ГВ приводит к снижению значений безразмерных гидродинамических момента и упора. Это снижение у ГВ сложной геометрии увеличивается еще и влиянием упругости лопастей, связанного с числом Ca . В докладе приводятся материалы, иллюстрирующие сказанное.

О РАЗРЫВНОМ УСЛОВИИ ПЛАСТИЧНОСТИ В ЗАДАЧЕ ПРАНДТЛЯ

Е.В. Володина¹, М.Е. Сироткина²

^{1,2} ЧГУ имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ evg_volodina@mail.ru, ² sirotkina-me@yandex.ru

Рассматривается задача о наступлении пластического течения при вдавливании твердого штампа с плоским основанием в изотропное полупространство, материал которого изменяет величину предела текучести при достижении средним напряжением некоторой величины σ_* . Граничные условия приняты в соответствии с условиями задачи Прандтля [1].

Составное условие пластичности взято в виде

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k_1^2 \text{ при } \sigma < \sigma_*,$$

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2 = 4k_2^2 \text{ при } \sigma \geq \sigma_*,$$

где σ_* – значение среднего напряжения, при достижении которого изменяются свойства материала, а k_1, k_2 – константы пластичности [2, 3].

Уравнения равновесия и условия сопряжения [3] приводятся к системе нелинейных уравнений, определяющих геометрию области пластичности и предельную нагрузку под штампом.

Литература

1. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1969. – 420 с.

2. Артемьев И.Т. Вдавливание плоского штампа при разрывном условии пластичности / И.Т. Артемьев, Е.А. Григорьев // Деп. в ВИНТИ от 23.07.91 № 3132–091. 21 с.

3. Григорьев Е.А. Исследование разрывной неоднородности и разрывных полей напряжений при неоднородном предельном сопротивлении составного элемента / Е.А. Григорьев, М.Е. Сироткина, Е.В. Судакова, П.Г. Миронов // Математические модели и их приложения: сб. науч. тр. Чебоксары, 2003. С. 32–41.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЕННЫХ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР В УСЛОВИЯХ СИЛЬНОГО ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Е.А. Воронина¹, В.В. Кузенов², С.В. Рыжков³, М.Д. Секачѳва⁴
^{1,2,3,4} *МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*
¹ spross87.87@mail.ru, ³ svryzhkov@bmstu.ru

Проблема изучения закономерностей пространственно-временной эволюции разлетающихся плазменных образований, взаимодействующих с фоновой средой и внешним магнитным полем, возникает при интерпретации аэродинамических, астрофизических результатов, натуральных лабораторных экспериментов с лазерной плазмой и плазмой электрических разрядов [1-6].

Приведена постановка задачи и выполнено численное моделирование плазмогазодинамических процессов, которая является развитием классических работ. В разработанной модели плазмодинамические процессы в капиллярном разряде определяются интенсивностью, длительностью процессов образования плазмы в канале, термодинамических параметров в окружающей газовой среде. Сформулировано векторное уравнение, описывающее завихренность $\vec{\Omega}$ в потоке газа, на который воздействует внешнее магнитное поле.

Литература

1. *Kuzenov V.V.* The Adaptive Composite Block-Structured Grid Calculation of the Gas-Dynamic Characteristics of an Aircraft Moving in a Gas Environment / V.V. Kuzenov, S.V. Ryzhkov, A.Yu. Varaksin // *Mathematics*. 2022. 10. P. 2130.
2. *Kuzenov V.V.* Calculation of heat transfer and drag coefficients for aircraft geometric models / V.V. Kuzenov, S.V. Ryzhkov, A.Yu. Varaksin // *Applied Sciences*. 2022. V. 12 (21). P. 11011.
3. *Varaksin A.Yu.* Vortex Flows with Particles and Droplets (A Review) / A.Yu. Varaksin, S.V. Ryzhkov // *Symmetry*. 2022. V. 14 (10). P. 2016.
4. *Varaksin A.Yu.* Particle-Laden and Droplet-Laden Two-Phase Flows Past Bodies / A.Yu. Varaksin, S.V. Ryzhkov // *Symmetry*. 2023. V. 15.
5. *Varaksin A.Yu.* Turbulence in Two-Phase Flows with Macro-, Micro- and Nanoparticles A Review / A.Yu. Varaksin, S.V. Ryzhkov // *Symmetry*. 2022. 14. P. 2433.
6. *Kuzenov V.V.* Simulation of parameters of plasma dynamics of a magnetoplasma compressor / V.V. Kuzenov, A.Yu. Varaksin, S.V. Ryzhkov // *Applied Sciences*. 2023. V. 13 (9). P. 5538.

ОБРАТНАЯ ЗАДАЧА КАВИТАЦИОННОГО ОБТЕКАНИЯ ГИДРОПРОФИЛЯ ПО СХЕМЕ ВУ

С.Е. Газизова¹, Д.В. Маклаков²

^{1,2} *КФУ, Казань, Россия*

¹ silmari192@mail.ru, ² dmaklak@kpfu.ru

В докладе решается задача о проектировании гидропрофиля в режиме развитой кавитации по схеме Ву. Задаются распределение скоростей $v(s)$ по омываемой части гидропрофиля и число кавитации σ . Выведены формулы, позволяющие выразить подъемную силу и сопротивление через интегральные функционалы от $v(s)$ и σ до решения гидродинамической задачи. Таким образом, эти формулы являются обобщением теоремы Кутты–Жуковского о подъемной силе обтекаемого безотрывно аэропрофиля на случай суперкавитационного обтекания гидропрофиля.

Форма гидропрофиля восстанавливается методами обратных краевых задач путем конформного отображения области течения на верхнюю полуплоскость и решения соответствующей задачи Шварца. Проведена серия числовых расчетов для различных распределений скорости, из которых следует, что с увеличением чисел кавитации гидродинамическое качество профиля существенно возрастает, однако существует максимальное число кавитации, при котором течение является однолистным. При числах кавитации, больших максимального, течение теряет физический смысл. Показано, что основным фактором, влияющим на однолистность течения, является вклад распределения скорости вблизи носика профиля в силу сопротивления.

На основании аналитических формул для подъемной силы и сопротивления строго доказано, что гидродинамическое качество гидропрофиля при числах кавитации $\sigma > 0$ всегда больше гидродинамического качества профиля с тем же распределением $v(s)$, но при $\sigma = 0$ (схема Кирхгофа).

СХЕМОТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ РЕПРЕССИЛЯТОРА

В.М. Дорошенко¹, Н.В. Станкевич², Д.А. Евсеев³

^{1,2,3} СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов, Россия

^{1,2} ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, Москва, Россия

¹ dorvalentina9@gmail.com, ² stankevichnv@mail.ru,

³ danilaevs07@gmail.com

Репрессилятор – это генетический осциллятор, моделирующий процессы внутриклеточной регуляции [1]. Математическая модель представляет собой кольцевой генератор с дополнительной переменной, отвечающей за концентрацию сигналингового вещества. Математическую модель репрессилятора можно записать в виде системы 4 ОДУ:

$$\dot{X}_i = \beta_i(-X_i + F(X_{i+2})), \quad \dot{S} = -(k_{s0} + k_{s1}X_{i+1} - \eta S), \quad (1)$$

где $i = 1..3$, $X_4 = X_1$, $X_5 = X_2$, $F(X) = \alpha/(1 + X^3)$. В работе предложена схмотехническая реализация генетического осциллятора, построенная с экспоненциальной аппроксимации исходной системы (1), т.е. в качестве нелинейного ингибирования мы использовали функцию: $F(X) = \gamma e^{-\alpha X}$.

Схмотехническая реализация была выполнена в среде Multisim. При помощи данной схемы были получены фазовые портреты и временные реализации для характерных режимов системы с учетом различных возможных значений параметров. Особый интерес представляет переход через бифуркацию Андронова–Хопфа к автоколебательным режимам динамики системы. Результаты подтвердили данные, полученные ранее при анализе математической модели, что допускает возможность создания радиотехнической реализации системы.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда, (проект № 21-12- 00121).

Литература

1. Elowitz M.B. A synthetic oscillatory network of transcriptional regulators / M.B. Elowitz, S. Leibler // Nature. 2000. Vol. 403. PP. 335–338.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НАДВОДНЫХ САМОХОДНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.А. Ерошин¹, А.В. Бойко²

^{1,2} *НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

² bandmail@mail.ru

Увеличение скорости морских и речных судов является одной из важнейших задач гидромеханики. Многочисленные исследования, проведенные в этой области, привели к появлению скоростных надводных судов с динамическими принципами поддержания (глиссеры, суда на подводных крыльях, воздушной подушке). Суда такого типа обладают высокой скоростью и прекрасными ходовыми качествами. Однако в последние годы произошло некоторое расширение этой группы судов за счет быстроходных надводных объектов на колесах (багги) и гусеницах (снегоходы), причем их скорости в ряде случаев значительно превосходят скорости судов на подводных крыльях и воздушной подушке. Информация о гидродинамических характеристиках этих судов в литературе отсутствует. Все это заставляет заняться изучением их гидродинамических характеристик и подумать о практическом использовании этих судов.

Транспортные средства на колесах и гусеницах обладают рядом преимуществ. Прежде всего это высокая скорость качения по воде. Скорости глиссеров и судов на подводных крыльях составляют примерно 60-70 км/час, судов на воздушной подушке – 100-110 км/ч. А на колесах и гусеницах по спокойной воде можно катиться со скоростью 100-200 км/час и, возможно, быстрее (правда при малых скоростях они будут двигаться как водоизмещающие суда, но это отдельный вопрос выхода на «скоростной режим»). Такие транспортные средства могут быть востребованы при чрезвычайных ситуациях (например, наводнениях), при проведении розыскных и спасательных работ, оказании скорой и неотложной медицинской помощи в отдаленных районах страны, в том числе в условиях Арктической зоны. Таким образом имеются многочисленные случаи качения по воде на колесах и гусеницах, а общей теории этого вопроса пока нет.

В Институте механики МГУ была построена модель колесной полноприводной машины, а также модель гусеничного транспортного средства. В результате проведенных исследований была разработана методика моделирования явления качения колесных и гусеничных транспортных средств по свободной поверхности воды, предложены схемы измерения осадки колес при буксировке в гидроканале и при качении по воде самоходных моделей, получены зависимости безразмерной осадки и несущей способности колес от числа Фруда при различных значениях безразмерной массы, а также зависимость коэффициента тяги гусеницы от безразмерного параметра, равного отношению абсолютных скоростей нижней части гусеницы и корпуса модели.

Эксперименты показали, что безразмерные значения подъемной силы колесной системы при большой скорости качения не зависят от числа Фруда. Найдено примерное положение границы области качения, а также установлены условия, при которых транспортное средство может устойчиво катиться на колесах по невозмущенной свободной поверхности воды.

В докладе рассматривается качение надводных систем на колесах и гусеницах по спокойной поверхности воды. Описаны условия качения, проведено моделирование этого явления, получены зависимости осадки и несущей способности колес и гусениц от числа Фруда, а также дана оценка положения границы области устойчивого качения и тяги гусениц.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ МОБИЛЬНОГО ТРЕХЗВЕННОГО РОБОТА СО СВОБОДНО ВРАЩАЮЩИМИСЯ КОЛЕСАМИ

К.С. Ефремов

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

efremofk@yandex.ru

К числу простейших средств перемещения можно отнести тележку с парой свободно вращающихся колес. Данную конструкцию можно рассматривать в качестве прицепа или полурамы мобильного робота типа Roller Racer. Управление мобильным роботом типа Roller Racer рассмотрено в работах [1, 2]. Более сложное управление получается при рассмотрении трехзвенной конструкции, состоящей из трех тележек, со свободно вращающимися колесами. Вращение в сочленениях звеньев осуществляется с помощью сервопривода.

В работе приведены результаты экспериментального исследования влияния параметров функции управления мобильного трехзвенного робота со свободно вращающимися колесами на скорость движения в горизонтальной плоскости.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZZN-2020-0011).

Литература

1. Bizyaev I.A. Exotic Dynamics of Nonholonomic Roller Racer with Periodic Control / I.A. Bizyaev, A.V. Borisov, I.S. Mamaev // Regular and Chaotic Dynamics. Vol. 23. No. 7-8. 2018. PP. 983–994.
2. Yefremov K.S. Theoretical and experimental investigations of the controlled motion of the Roller Racer / K.S. Yefremov, T.B. Ivanova, A.A. Kilin, Y.L. Karavaev // 2020 International Conference Nonlinearity, Information and Robotics. IEEE. 2020. PP. 1-5.

НЕЙРОСЕТЕВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОГО РОБОТА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ

И.С. Звонарев¹, Ю.Л. Караваев²

^{1,2} *ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия*

¹ nazgool1@gmail.com

В данной работе рассматривается применение искусственных нейронных сетей для решения задачи планирования пути мобильного робота с дифференциальным приводом. Решением данной задачи занимаются авторы следующих работ [1-3].

Основной задачей является реализация нейросетевого алгоритма для динамического построения траектории движения-следования робота за объектом. Для обучения искусственной нейронной сети используется глубокий детерминированный градиент политики (DDPG), выбранный на основе аналитического обзора существующих алгоритмов [4].

Литература

1. *Li P. et al.* Research on dynamic path planning of mobile robot based on improved DDPG algorithm // *Mobile Information Systems*. 2021. Vol. 2021. PP. 1–10.

2. *Zhao Y. et al.* Path planning for mobile robots based on TPR-DDPG // *2021 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*. IEEE. 2021. PP. 1–8.

3. *Gong H. et al.* Efficient path planning for mobile robot based on deep deterministic policy gradient // *Sensors*. 2022. Vol. 22. No. 9. P. 3579.

4. *Звонарев И.С.* Анализ систем управления мобильных роботов с элементами интеллектуального управления / И.С. Звонарев, Ю.Л. Караваев // *Выставка инноваций – 2021 (осенняя сессия): сборник материалов XXXII Республиканской выставки-сессии студенческих инновационных проектов, Ижевск, 18 ноября 2021 г.* Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2021. С. 62–67.

ОБ УСТОЙЧИВОМ ВЫЧИСЛЕНИИ ПСЕВДОРЕШЕНИЙ И МЕРЫ НЕСОВМЕСТИМОСТИ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ДАННЫМИ

*А.Ю. Иваницкий¹, М.В. Василькова²,
М.В. Киселев³, В.В. Ежов⁴*

^{1,2,3} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

⁴ Flinders University of South Australia, Adelaide, Australia

¹ ivanitskiy@hotmail.com, ⁴ vladimir.ejov@flinders.edu.au

В работе рассматривается задача вычисления нормальных D -псевдорешений и меры несовместности для систем линейных алгебраических уравнений

$$\begin{aligned} Au &= f, \quad u \in D, \\ A &= \{a_{ij}\} \in R^{m \times n}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$f = [\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \dots, \tilde{f}_m]^T \in R^m,$$

где $u = [u_1, u_2, \dots, u_n]^T \in R^n$ – искомый вектор, $D \subseteq R^n$ – заданное замкнутое множество, т.е. задача

$$\|u\| \rightarrow \inf, \quad u \in U = \{u \in D: \mu_* = \inf_{u \in D} \|Au - f\|_2\}, \quad (2)$$

где $\|\cdot\|$ – произвольная фиксированная норма в пространстве R^n и $\|\cdot\|_2$ – евклидова норма в пространстве R^m . На практике в задачах (1) и (2) вместо данных $\{A, f\}$ известны их приближения $\tilde{A} = \{\tilde{a}_{ij}\}$ и $f = [\tilde{f}_1, \tilde{f}_2, \dots, \tilde{f}_m]^T$ такие, что

$$|\tilde{a}_{ij} - a_{ij}| \leq \Delta_{ij}, \quad |\tilde{f}_i - f_i| \leq \delta_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где Δ_{ij} и δ_i – уровни погрешности в задании элементов a_{ij} и f_i соответственно. В этом случае задача (2) с приближенными данными \tilde{A} и \tilde{f} может оказаться неустойчивой. Для её устойчивого решения предполагается вариант метода поточечной невязки.

Доказаны теоремы существования и сходимости приближенных решений, полученных этим методом, которые аппроксимируют решения задачи (2) с такой же точностью, что и точность задания данных $\{A, f\}$ в (3).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАЧЕНИЯ ТЕЛ ПО ОСНОВАНИЮ, СОВЕРШАЮЩЕМУ КОЛЕБАНИЯ

Ю.Л. Карavaев

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия
ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия
karavaev_yury@istu.ru

В докладе обсуждаются результаты экспериментальных исследований движения сферического тела со смещенным центром масс по поверхности, совершающей колебания в вертикальной плоскости. Теоретические исследования системы проведены в работе [1]. Для тела, трехмерная модель которого приведена на рис. 1, обнаружены эффекты стабилизации неустойчивого положения, после переворота тела и движения, когда центр масс тела находится выше геометрического центра сферы. Проведены исследования влияния частоты и амплитуды колебаний поверхности на стабилизацию неустойчивого положения движения сферического тела.



Рис. 1. Трехмерная модель сферического тела со смещенным центром масс

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZZN-2020-0011).

Литература

1. *Kilin A.A. Stability and Stabilization of Steady Rotations of a Spherical Robot on a Vibrating Base / A.A. Kilin, E.N. Pivovarova // Regular and Chaotic Dynamics. 2020. Vol. 25. No. 6. PP. 729–752.*

УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РОБОТАМИ ЗА СЧЕТ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВРАЩЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО РОТОРА

А.В. Клековкин¹, Ю.Л. Караваяев², И.С. Мамаев³
^{1,2,3} *ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия*
¹ klanvlad@mail.ru

В работе представлена математическая модель движения в жидкости тела, в сечении имеющего форму симметричного крылового профиля и управляемого вращением одного внутреннего ротора. Уравнения движения получены с помощью уравнений Кирхгофа. На основе анализа уравнений движения предложен закон управляющего воздействия.

Описаны конструкции прототипов надводных и подводных роботов, перемещающихся в жидкости за счет вращения внутреннего ротора.

С разработанными прототипами проведены экспериментальные исследования по движению вдоль прямой и вдоль окружностей различных радиусов. Представлено сравнение теоретических траекторий движения с экспериментальными. Комбинируя данные маневры, можно получить движение по сложным траекториям, представлен пример движения по траектории, состоящей из нескольких маневров.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZZN-2020-0011).

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ГЛАЙДЕРА ДИСКООБРАЗНОЙ ФОРМЫ В СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ

К.А. Коваль¹, А.Л. Сухоруков²

^{1,2} *АО «ЦКБ МТ «Рубин», Санкт-Петербург, Россия*

¹ koval.kir2014@yandex.ru, ² su_andr@yahoo.com

В работе рассмотрено движение подводного глайдера дискообразной формы [1]. Актуальность исследования обусловлена необходимостью улучшения показателей энергетической эффективности малых подводных робототехнических средств. Поскольку реальные акватории характеризуются пространственной неоднородностью, значительный интерес представляет движение подводного глайдера в стратифицированной жидкости.

Для уменьшения опрокидывающего момента и улучшения параметров устойчивости движения глайдера была предложена модификация формы аппарата в виде профилированной кольцевой проточки вблизи внешнего периметра корпуса. Моделирование движения осуществлялось в стратифицированной жидкости, при этом слои с различной плотностью были разделены резким скачком.

Также был предложен метод совместного решения уравнений гидродинамики и уравнений движения аппарата. Преимуществом такого подхода является возможность учета изменения гидродинамических характеристик объекта при приближении к скачку плотности [2].

Литература

1. *Koterayama W.* Autonomous Underwater Vehicle for Practical Use in Ocean Observations / W. Koterayama, M. Nakamura, Y. Ito, H. Yoshimura // Proceedings of the Tenth (2012) ISOPE Pacific/Asia Offshore Mechanics Symposium. Vladivostok, Russia. October 3-5, 2012. PP. 170–175.

2. *Гурьев Ю.В.* Основные закономерности гидродинамического воздействия природных морских условий на подводные объекты / Ю.В. Гурьев, М.З. Слуцкая // Морские интеллектуальные технологии. № 2. Т. 1. 2020. С. 10–16.

РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ПОИСКА ОПОРНЫХ БАЗИСНЫХ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В.К. Краснов¹, М.В. Львова²

^{1,2} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ vkрас1956@mail.ru, ² lvova-marina@mail.ru

Одним из наиболее «узких» мест современного математического аппарата линейного программирования составляет проблема выработки исходного опорного плана для всех видов наложенных ограничений. В некоторых авторитетных литературных источниках эта проблема вообще замалчивается. В наиболее продвинутых источниках предлагается перебор базисных решений наподобие обычного симплекс-метода. Рекомендации, даваемые при этом, носят всё-таки эвристический характер и математического обоснования не имеют. В результате в некоторых важных прикладных задачах вопрос об исходном опорном решении провисает и призванный его обеспечить вычислительный процесс заклинивается. Поэтому в данной работе предлагается обоснованный алгоритм действий, позволяющий найти не только исходный опорный план, но и параллельно проанализировать систему уравнений-ограничений в каноническом виде. Представлено программное приложение «Поиск решения» на языке программирования C#, реализующее пошаговый метод Жордана–Гаусса [1, 2], который решает проблему выбора опорного базисного решения.

Литература

1. Краснов В.К. Оптимизация деятельности предпринимателя в условиях рынка / В.К. Краснов, А.Б. Пичужкин // Вестник Российского университета кооперации: научно-теоретический журнал. 2013. № 2 (12). С. 141–144.

2. Краснов В.К. Применение классических методов теории игр в задачах маркетинга / В.К. Краснов, А.Б. Пичужкин, Т.Н. Смирнова // Вестник Российского университета кооперации: научно-теоретический журнал. 2014. № 3 (17). С. 145–148.

ГИДРОДИНАМИКА ПЛАМЕН НА КАПИЛЛЯРНЫХ ГОРЕЛКАХ

С.И. Ксенофонов¹, О.В. Васильева², А.Н. Ленаев³

¹ ЧГПУ им. И.Я Яковлева, Чебоксары, Россия

² ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

³ ЧИ(ф)МПУ, Чебоксары, Россия

¹ ksenofontovSI@mail.ru, ² dprostokwaschino@mail.ru

Структура диффузионных пламен углеводородных газов на капиллярных горелках сильно отличается от структуры пламен стабилизированных на горелках больших диаметров. Инжекция окружающего воздуха улучшает смесеобразование у основания пламени и пламя в этой зоне окрашено в синий цвет. На оси потока кислорода воздуха недостаточно и горение газа почти невозможно. С увеличением высоты пламя окрашивается в ярко-желтый цвет. Это свечение обеспечивается частицами углерода, образовавшимися в результате химического недогорания горючего. На вершине пламени частицы углерода агломерируются и образуют шлейф сажистых частиц. При увеличении расхода газа высота пламени увеличивается, происходит отрыв пламени от тела горелки. Зона стабилизации пламени может отойти до 10 см от горелки. Небольшие возмущения окружающей среды могут изменить условия стабилизации пламени – пламя может опуститься на горелку или же удалиться от нее.

При увеличении расхода горючего оторванное от горелки пламя может перейти в турбулентный режим горения при условии $Re < 1500$. При этом у основания пламени образуется турбулентное кинетическое пламя в форме тора. Потоки горючего газа втекают в тор по его оси и сгорают в диффузионном режиме над тором. Внешние размеры тороидального пламени и диффузионного пламени совпадают.

Таким образом, в диффузионном пламени на капиллярной горелке существуют взаимодействующие между собой пламена – кинетическое турбулентное пламя и ламинарное диффузионное пламя.

ЗАДАЧА БЫСТРОДЕЙСТВИЯ НА ГРУППЕ ДВИЖЕНИЙ ПЛОСКОСТИ С УПРАВЛЕНИЕМ В СЕКТОРЕ

А.П. Маштаков¹, Ю.Л. Сачков²

^{1,2} ИИПС им. А.К. Айламазяна РАН, Переславль-Залесский, Россия
¹ alexey.mashtakov@gmail.com, ² yusachkov@gmail.com

Рассматривается задача наискорейшего перемещения модели двухколесного мобильного робота на плоскости, который может двигаться вперед и поворачивать с заданным минимальным радиусом поворота. Состояние системы задается положением центральной точки оси колесной пары и углом ориентации оси на плоскости. Управляя линейной и угловой скоростью, требуется перевести систему за минимальное время из заданного начального в заданное конечное состояние.

В работе обобщается частный случай управления в полукруге [1] на сектор с углом раствора не больше 180° . Задача имеет приложение в обработке изображений, траектории системы используются для поиска выделяющихся кривых.

Доказано существование решений. К задаче применен принцип максимума Понтрягина. Получено описание различных типов траекторий системы. Показано, что для почти всех траекторий существуют моменты времени, когда динамика системы переключается между двумя возможными видами: движение по окружности и движение по субримановой геодезической. Найден явный вид экстремальных управлений и получена параметризация экстремальных траекторий. Частично исследован вопрос оптимальности экстремалей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-11-00140) в Институте программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук.

Литература

1. Маштаков А.П. Задача быстрогодействия на группе движений плоскости с управлением в полукруге / А.П. Маштаков // Математический сборник. 2022. Т. 213. № 4. С. 100–122.

ХАОТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ПЛОСКОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧЕ ДЛЯ ЭКСЦЕНТРИЧЕСКОГО КОЛЬЦА

Е.А. Микишанина

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

evaeva_84@mail.ru

Данная работа посвящена хаотическим явлениям, возникающим в жидком слое между двумя вращающимися цилиндрами, а также природе их появления. Для удобства будем использовать представление бигармонической функции в биполярных координатах [1, 2].

Два цилиндра, между которыми заключен слой вязкой жидкости, вращаются попеременно с постоянной угловой скоростью.

Согласно подходу Лагранжа, уравнения движения жидкости могут быть записаны в виде

$$\dot{x} = \frac{\partial \Psi}{\partial y}(x, y, t) \quad \dot{y} = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}(x, y, t),$$

которые в общем виде представляют собой неавтономную гамильтонову систему. Функция тока Ψ , является бигармонической, и является гамильтонианом системы. Естественно, динамика, системы будет зависеть от вида гамильтониана Ψ и в случае, когда он не зависит от времени, указанная система автономна и полностью интегрируема. В нашем случае функция тока зависит от времени. В системе появляются хаотические колебания.

Литература

1. *Kazakova A.O.* Viscous fluid velocity field between two cylinders which rotate and move translationally / A.O. Kazakova, A.G. Petrov // Fluid Dynamics. 2016. Vol. 51, No. 3. PP. 311–320.

2. *Kazakova A.O.* Application of bipolar coordinates to the analysis of the structure of viscous fluid flow between two rotating cylinders / A.O. Kazakova // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. Vol. 1679. 022068.

ДИНАМИКА СИСТЕМ С СЕРВОСВЯЗЯМИ

Е.А. Микишанина

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

evaeva_84@mail.ru

Исследование посвящено управлению посредством сервосвязей неголономными механическими системами на примере сферического робота с маятниковым приводом [1, 2]. В работе формулируются принципы реализации сервосвязей в неголономных механических системах, приводятся необходимые условия реализации сервосвязей. Рассматриваются два способа управления сферическим роботом с маятниковым приводом, катающимся по платформе, которая в свою очередь может скользить в горизонтальной плоскости абсолютного пространства.

Сервосвязи задают программу движения. В качестве программы движения выбрана программа преследования цели модифицированным методом погони, которая позволяет выходить на связь из любого положения с любыми начальными условиями. Классический метод погони, как правило, используется в баллистике и имеет ряд трудностей при реализации для наземных систем. Предложенный модифицированный метод более предпочтителен.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-21-10019).

Литература

1. *Микишанина Е.А.* Динамика качения сферического робота с маятниковым приводом, управляемого сервосвязью Билимовича / *Е.А. Микишанина // Теоретическая и математическая физика.* 2022. Т. 211. № 2. С. 281-294.

2. *Mikishanina E.A.* Motion Control of a Spherical Robot with a Pendulum Actuator for Pursuing a Target / *E.A. Mikishanina // Russian Journal of Nonlinear Dynamics.* 2022. Vol. 18. № 5. PP. 899–913.

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ РЕШЕНИЯ ГАРМОНИЧЕСКОГО И БИГАРМОНИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЙ В АЛГЕБРАХ КЛИФФОРДА

В.В. Мочалов

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

kafedra.dmi@gmail.com

В алгебрах Клиффорда $R_{0,2}$, $R_{2,0}$, $R_{3,0}$ рассмотрены действительные функции многих переменных. Дается метод представления решений гармонического уравнения $\Delta u = 0$ и бигармонического уравнения $\Delta^2 u = 0$ через регулярные слева (справа) функции.

В алгебре кватернионов $R_{0,2}$ доказана теорема.

Теорема 1. Действительная функция $u = u(x_0, x_1, x_2, x_{12})$, удовлетворяющая гармоническому уравнению $\Delta u = 0$ в $R_{0,2}$ может быть представлена в виде

$$u = \Phi(x) + \bar{\Phi}(x),$$

где $\Phi(x) = f_0(x)e_0 + f_1(x)e_1 + f_2(x)e_2 + f_{12}(x)e_{12}$ является либо регулярной слева, либо регулярной справа функцией, $\bar{\Phi}(x) = f_0(x)e_0 - f_1(x)e_1 - f_2(x)e_2 - f_{12}(x)e_{12}$.

Пусть теперь $u = u(x_0, x_1, x_2, x_{12})$ – действительная функция, удовлетворяющая бигармоническому уравнению $\Delta^2 u = 0$.

Теорема 2. Действительная функция $u = u(x_0, x_1, x_2, x_{12})$, удовлетворяющая бигармоническому уравнению в $R_{0,2}$, представима в виде

$$u = \frac{1}{4} \int_0^{x_0} (F\bar{x} + x\bar{F})dx_0 + \Phi + \bar{\Phi},$$

где $F(x)$, $\Phi(x)$ – регулярные слева функции; или в виде

$$u = \frac{1}{4} \int_0^{x_0} (\bar{x}F + \bar{F}x)dx_0 + \Phi + \bar{\Phi},$$

где $F(x)$, $\Phi(x)$ – регулярные справа функции.

Аналогичные результаты получены в алгебрах $R_{2,0}$, $R_{3,0}$.

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В.В. Никитин¹, Д.В. Бобин²

^{1,2} ЧГУ имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ vyv22@yandex.ru, ² dimbobin@mail.ru

Предполагается, что динамика состояния исследуемого объекта адекватно характеризуется некоторым набором показателей, по каждому из которых имеется не менее четырёх первоначальных значений временного ряда. Отдельные показатели могут иметь критическое значение. По отношению к своему критическому значению допустимые значения показателя может располагаться различным образом. Некоторые показатели могут быть контрольными и определять некоторую зависимость между другими показателями.

Идеологической основой данной работы является утверждение Хеннана [1] о том, что временные ряды являются вероятностными объектами. На основе данного утверждения, а также метода главных компонент (МГК) и экспоненциального сглаживания был составлен алгоритм по комплексной оценке объекта исследования. При этом был разработан авторский подход по модификации МГК [2], суть которого заключается в том, что при составлении факторной матрицы учитывается весовая значимость данных.

По критическим значениям отдельных показателей оценивается динамика критического значения комплексного показателя, по отношению к которому делается заключение о перспективах состояния исследуемого объекта как прогнозное в некоторой доверительной области.

Литература

1. Хеннан Э. Многомерные временные ряды / Э. Хеннан. – М.: Мир, 1974. – 576 с.

2. Никитин В.В. Метод главных компонент для взвешенных данных в процедуре многомерного статистического прогнозирования / В.В. Никитин, Д.В. Бобин // Статистика и экономика. 2021. Т. 18. № 2. С. 4–11.

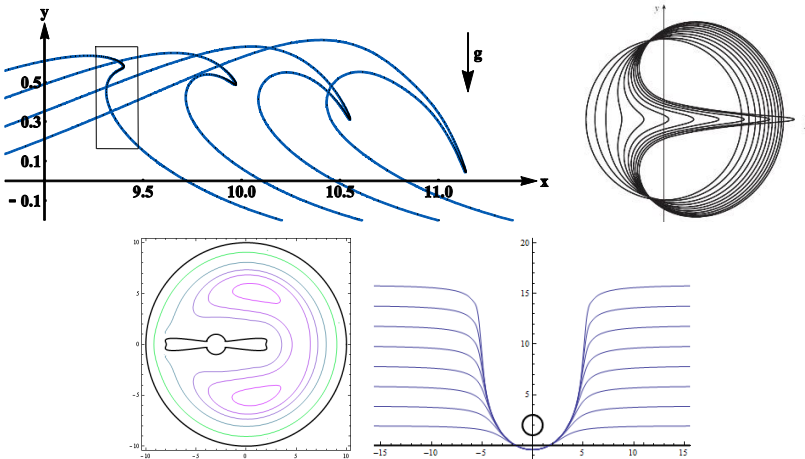
ВЫСОКОТОЧНЫЕ ЧИСЛЕННЫЕ СХЕМЫ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГИДРОДИНАМИКИ СО СВОБОДНОЙ ГРАНИЦЕЙ

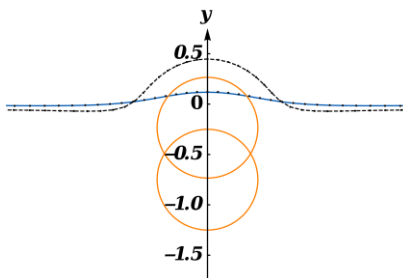
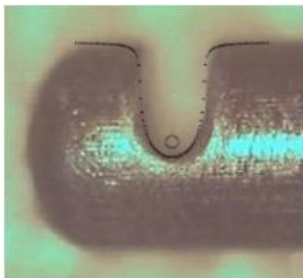
А.Г. Петров

ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

petrovipmech@gmail.com

Рассматривается класс краевых задач для гармонического и бигармонического уравнений в многосвязных двумерных областях. Задачи сводятся к решению линейных интегральных уравнений на граничных контурах, которые предполагаются гладкими. Представлен алгоритм вывода аппроксимации интегральных уравнений линейной системой с учетом логарифмических особенностей ядер интегральных операторов, через которые выражаются интегральные уравнения. В алгоритме используется периодичность функций, заданных на замкнутых граничных контурах. С ростом числа точек сетки погрешность аппроксимации убывает быстрее чем шаг сетки в любой фиксированной степени. Рассматриваются приложения к расчету течений идеальной и вязкой жидкостей, вызванных движением затопленных тел, задачи развития свободной поверхности [1, 2].





Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 22-21-00833).

Литература

1. *Петров А.Г.* Алгоритм построения квадратурных формул с экспоненциальной сходимостью / А.Г. Петров // Изв. вузов. Математика. 2021. № 2.

2. *Kostikov V.K., Makarenko N.I.* // Journal of Physics: Conference Series. 2016. No 722. PP. 12–21.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОМНИДИСКА С ОДНОЙ НЕГОЛОНОМНОЙ СВЯЗЬЮ

*Е.Н. Пивоварова*¹, *А.А. Килин*²

^{1,2} *Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия*

¹ archive@rcd.ru, ² kilin@rcd.ru

Рассмотрена задача о качении диска по плоскости в предположении, что отсутствует проскальзывание в направлении, параллельном горизонтальному диаметру диска, а центр масс не движется в горизонтальном направлении [1]. Рассматриваемая задача сведена к исследованию системы трех дифференциальных уравнений первого порядка. Показано, что редуцированная система обратима относительно инволюции коразмерности 1, а также допускает двухпараметрическое семейство неподвижных точек. Проанализирована устойчивость указанных неподвижных точек в линейном приближении. С помощью численного моделирования показана неинтегрируемость рассматриваемой задачи. Доказано, что приведенная система даже в неинтегрируемом случае допускает двухпараметрическое семейство периодических решений. Указан ряд динамических эффектов, связанных с существованием инволюции коразмерности 1 и выхождением неподвижных точек приведенной системы.

Также рассмотрен случай движения диска при наличии сил и моментов сил трения. Для этого случая проанализирована устойчивость вертикальных вращений диска и проведено сравнение результатов с работой [2].

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

Литература

1. *Kilin A.A. Dynamics of an Unbalanced Disk with a Single Nonholonomic Constraint / A.A. Kilin, E.N. Pivovarova // Regul. Chaotic Dyn. 2023. Vol. 28. No. 1. PP. 78–106.*

2. *Sailer S. Model Reduction of the Tippedisk: A Path to the Full Analysis / S. Sailer, R.I. Leine // Nonlinear Dyn. 2021. Vol. 105. No. 3. PP. 1955–1975.*

ДИНАМИКА ОДНОРОДНОГО ШАРА НА ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩЕНИЯ

Е.Н. Пивоварова¹, Ю.А. Петрова²

^{1,2} *Уральский математический центр, УдГУ, Ижевск, Россия*

¹ archive@rcd.ru, ² petrovpetr0va@yandex.ru

Рассмотрено качение без проскальзывания однородного шара по такой поверхности вращения, что центр масс шара движется по поверхности Бельтрами. Поверхность Бельтрами (псевдосфера) представляет собой поверхность постоянной отрицательной кривизны, образуемая вращением трактрисы около её асимптоты. В работе получены уравнения движения и приведены интегралы движения данной системы. Показано, что система является интегрируемой и сводится к квадратурам [1, 2].

Для рассматриваемой системы найдены два трехпараметрических семейства частных периодических решений. Данные решения соответствуют качению шара по окружности, лежащей в плоскости, перпендикулярной к оси симметрии поверхности. На фиксированном уровне интегралов движения данные периодические решения соответствуют семейству неподвижных точек редуцированной системы. Проанализирована устойчивость этих неподвижных точек и построена бифуркационная диаграмма в пространстве первых интегралов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FEWS-2020-0009).

Литература

1. *Borisov A.V.* The rolling motion of a ball on a surface. New integrals and hierarchy of dynamics / A.V. Borisov, I.S. Mamaev, A.A. Kilin // Regul. Chaotic Dyn. 2002. Vol. 7. No. 2. PP. 201–219.

2. *Borisov A.V.* The Jacobi Integral in Nonholonomic Mechanics / A.V. Borisov, I.S. Mamaev, I.A. Bizyaev // Regul. Chaotic Dyn. 2015. V. 20. No. 3. PP. 383–400.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И УПРАВЛЕНИЕ

В.Н. Пичугин¹, Е.Р. Тюрюшова²

^{1,2} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ vladimir_iii@mail.ru, ² evgenia.kleopatra@yandex.ru

Использование способности некоторых объектов преобразовывать спектр радиоволн, позволяет рассматривать широкий спектр проблем, которые не могут быть решены традиционными методами, в том числе с использованием современного программного обеспечения.

В данной статье представлен приближенный метод расчета диаграммы направленности нелинейного щелевого объекта (рис. 1), основанный на гармониках основной частоты и превышающий основную.

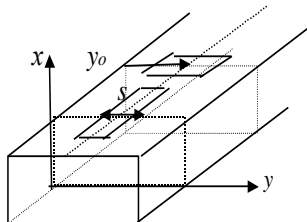


Рис. 1. Радиолокационная система волноводно-щелевого типа

Рассчитанная диаграмма направленности этой системы выглядит следующим образом:

$$F_v^2(\theta) = \left| \sum_{m=0}^M \sum_{n=0}^M \sum_{p=1}^M F_{\mu, \text{од}}^2 \sqrt{g_{mn}(v)} (U_{p, mn}^+ + U_{p, mn}^-) \times e^{i k(p-1)d \cos(\theta)} \right|^2.$$

Практическая значимость заключается в том, что результаты исследований использованы при разработке универсальной методики проектирования и отработки радиолокационных систем, способных адекватно работать в условиях рассматриваемой электромагнитной обстановки.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОЛЁСНОГО РОБОТА С УЧЁТОМ ПРЕПЯТСТВИЙ

П.С. Платонов

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

platonov1998@chuvsu.ru

Рассматривается математическая модель движения колесного робота, снабженного двумя колесами с дифференциальным приводом в задней части и рояльным колесом в передней части платформы. Заданы уравнения движения робота, как негोलомной механической системы с сервосвязями. Сервосвязи определяют программу движения робота на плоскости со стационарными и динамическими препятствиями. В работе используется метод потенциального поля [1]. Скорость робота прямо пропорциональна напряжённости потенциального поля, угол поворота робота равен направлению поля в точке нахождения робота. Построено отталкивающее потенциальное поле препятствий, которое позволит избежать столкновения при движении. Форма отталкивающего поля позволяет выбирать оптимальное направление объезда препятствия, размеры поля можно регулировать посредством изменения коэффициентов.

На основе разработанного численного алгоритма построены траектории движения робота, графики основных механических параметров и управляющих моментов на активных колесах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (проект № 23-21-10019).

Литература

1. Oroko J.A. Obstacle Avoidance and Path Planning Schemes for Autonomous Navigation of a Mobile Robot: A Review / J.A. Oroko, G.N. Nyakoe // Proceedings of the 2012 Mechanical Engineering Conference on Sustainable Research and Innovation. 2012. Vol. 4. PP. 314–318.

ЛОРЕНЦЕВЫ ЗАДАЧИ НА УНИВЕРСАЛЬНОЙ НАКРЫВАЮЩЕЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ЛИНЕЙНОЙ ГРУППЫ

А.В. Подобряев

ИПС им. А.К. Айламазяна РАН, Переславль-Залесский, Россия
alex@alex.botik.ru

Рассмотрим левоинвариантную лоренцеву структуру на группе Ли $SL(2, \mathbb{R})$, заданную квадратичной формой

$$I_1 x_1^2 - I_2 x_2^2 - I_3 x_3^2, \quad I_1, I_2, I_3 > 0,$$

где x_1, x_2, x_3 суть координаты в базисе соответствующей алгебре Ли, в котором форма Киллинга имеет матрицу $diag(-1, 1, 1)$. Ставится задача максимизации длины кривой в смысле этой квадратичной формы. Так как существуют замкнутые времени-подобные кривые, то естественно перейти к универсальной накрывающей группы $SL(2, \mathbb{R})$. Рассматриваются две серии таких лоренцевых задач: $I_2 = I_3$ и $I_1 = I_2$. Такие задачи имеют группу симметрий $SH(2)$ и $SO(3)$, соответственно. Заметим, что сублоренцева структура, исследованная в [1], является предельным случаем во второй серии.

Методами геометрической теории управления получена параметризация нормальных экстремальных траекторий (геодезических) в виде произведения двух однопараметрических подгрупп. Показано, что аномальные геодезические не строго аномальны и совпадают с светоподобными геодезическими.

Описано множество достижимости, сопряженные точки. Экстремальные траектории исследованы на оптимальность.

Литература

1. Grong E. Sub-Riemannian and sub-Lorentzian geometry on $SU(1,1)$ and on its universal cover / E. Grong, A. Vassil'ev // J. Geom. Mech. 2011. Vol. 3. No. 2. PP. 225–260.

МОДИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВНЕШНИМ ТЯГОВО-ОХЛАДИТЕЛЬНЫМ КОНТУРОМ

А.Г. Полянский
МАИ, Москва, Россия
artgpol@mail.ru

В данной работе предложен способ повышения термодинамической эффективности одноконтурного ядерного ракетного двигателя, рабочим телом которого является водород.

Обеспечить повышение термического коэффициента полезного действия предлагается путем оснащения двигателя внешним контуром, по которому протекает водород (рис. 1).

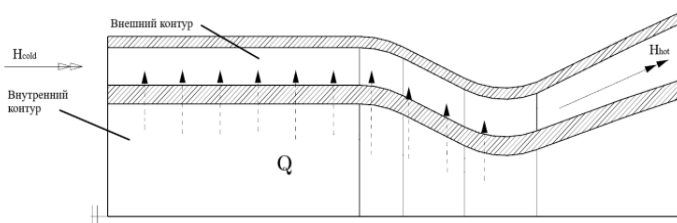


Рис. 1. Схема организации рабочего процесса в двигателе

Водород под давлением подается в кольцевой канал второго контура. При течении к нему подводится теплота через стенку от горячих газов первого контура двигателя [1-4]. Вследствие геометрического и теплового воздействия на водород увеличивается его температура и кинетическая энергия.

Таким образом, теплота, отводимая от основного контура, частично используется на нагрев водорода, тем самым создается дополнительная тяга двигателя. Так же реализуется схема охлаждения стенок сопла.

Литература

1. *Ежов А.Д.* Исследование применимости охлаждающего контура реактивного двигателя с целью повышения его термодинамической эффективности / А.Д. Ежов, А.Г. Полянский // *Тепловые процессы в технике.* 2023.
2. *Kuzenov V.V. et al.* // *Applied Sciences.* 2022. V. 12. P. 11011.
3. *Kuzenov V.V. et al.* // *Mathematics.* 2022. V. 10. P. 2130.
4. *Рудинский А.В., Ягодников Д.А. и др.* // *Письма в ЖТФ.* 2021. Т. 47. Вып. 10. С. 42–45.

МОДЕЛИ ФИЛЬТРАЦИИ В ФИКСИРОВАННЫХ ТРУБКАХ ТОКА В ЗАДАЧАХ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ ПЛАСТОВ

К.А. Поташев¹, А.Б. Мазо²

^{1,2} ИММ им. Н.И. Лобачевского КФУ, Казань, Россия

¹ kpotashev@mail.ru, ² abmazo1956@gmail.com

Проектирование и оптимизация сложных методов воздействия на нефтяные месторождения предполагает многовариантное численное моделирование фильтрационных течений с достаточным уровнем разрешения. Традиционные трехмерные симуляторы часто оказываются непригодными для этих целей, требуя неприемлемых затрат времени счета.

Для ускорения вычислений можно понизить размерность модели, перейдя к модели фильтрации в фиксированных трубках тока [1]. Учитывая преимущественно цилиндрическую структуру трубки тока с вертикальными образующими, можно строить двумерное решение в ее вертикальном сечении, детально воспроизводя фильтрационные эффекты на фоне слоистой неоднородности пласта. Такой подход применим, например, к проектированию методов повышения нефтеотдачи при изоляции высокопроницаемых слоев [2]. В ряде случаев возможно разложение исходной задачи до набора задач в одномерных трубках тока – например, фильтрация вблизи трещин гидравлического разрыва [3]. Продемонстрированы результаты применения моделей фильтрации в трубках тока с возможностью ускорения расчетов в десятки и сотни раз с сохранением высокой точности.

Литература

1. Поташев К.А., Мазо А.Б., Рамазанов Р.Г., Булыгин Д.В. // Нефть. Газ. Новации. № 4 (187). 2016. С. 32–40.

2. Поташев К.А., Куличкова К.А., Баушин В.В. // Нефть. Газ. Новации. 2020. № 7. С. 54–58.

3. Поташев К.А., Мазо А.Б., Мухина М.В., Ураимов А.А., Маклаков Д.В., Хамидуллин М.Р. // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. физ.-матем. науки. 2022. Т. 164, кн. 1. С. 101–121.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЖИМА КАВИТАЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ГЕНЕРАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ СТРУЙ

В.В. Прокофьев¹, С.А. Очеретяный²

^{1,2} *НИИ механики МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

¹ vlad.prokof@yandex.ru, ² ocheret@imec.msu.ru

Исследования течений жидкости в присутствии вентилируемой каверны с отрицательным числом кавитации, проведенные в Институте механики МГУ [1] показали, что при определенных условиях в гидравлической системе возникают кавитационные автоколебания с высокой интенсивностью пульсаций давления, как в каверне, так и в области выше по течению. Этот режим может быть использован при создании генератора импульсных струй. Наиболее очевидное применение такой генератор может найти в технологиях водоструйной разработки полезных ископаемых. Для получения струй с очень высокими параметрами обычно применяют импульсные водометы и гидропушки [2]. Исследования показали, что скорость таких струй может достигать 1600 м/с при достаточно большой дальности при истечении, как в воздух, так и в затопленное водой пространство. Применение такого способа для создания режима периодических импульсных струй затруднительно из-за сложности «перезарядки» устройства. При более умеренных скоростях высоконапорные гидроструи находят применение при разработке полезных ископаемых, таких как уголь, руда. Исследования, проводимые различными научными коллективами, показали, что при использовании пульсирующих технологий происходит заметный рост производительности струйных установок, снижается удельная энергоемкость разрушения материалов. Однако для организации пульсирующих режимов работы, как правило, используются механические устройства.

Генератор импульсных струй, использующий режим развитых кавитационных автоколебаний позволяет создать течение близкое к прерывистому естественным путем, без применения каких-либо механических устройств. В работе исследуются автоколебательные режимы в гидравлической магистрали, содержащей сопротивление (кавитатор), вентилируемую газовую каверну и сужающийся канал (сопло), через которое жидкость и газ истекают в атмосферу. Изучение механизма автоколебаний показало, что важным фактором явля-

ется фазовый сдвиг колебаний давления в форкамере и каверне, за счет которого на сопротивлении-кавитаторе в течение каждого периода колебаний формируются два импульса давления – положительный способствует истечению дискретной жидкой массы в каверну, благодаря отрицательному импульсу истечение прекращается или даже имеет место выброс газа из каверны в форкамеру. В зависимости от величины поддува газа наблюдаются два режима колебаний – при умеренных поддувах газовая полость удерживается в области за кавитатором, а при увеличении поддува происходят периодические выбросы воздуха в область перед кавитатором. Показано, что во втором режиме дальнобойность истекающей из сопла струи заметно падает, по сравнению с первым режимом, но на небольших дистанциях до экрана амплитуда ударных импульсов давления во втором режиме превосходит первый режим. Плавное сужение канала перед кавитатором может способствовать существенному увеличению амплитуды импульсов давления на экране. Важным параметром, влияющим на режимы течения, является соотношение гидравлических сопротивлений кавитатора и сопла. При большом сопротивлении кавитатора, когда ширина втекающей в каверну струи меньше ширины минимального сечения сопла, автоколебания наблюдаются только при значительных поддувах. С уменьшением сопротивления кавитатора режим колебаний с выбросом газа в подводящую воду магистраль сдвигается в сторону меньших поддувов газа. Исследования показали, что увеличение длины сопла способствует увеличению амплитуды ударных импульсов на экране. Было проведено изучение масштабного эффекта в диапазоне давлений напора жидкости от 0.05 МПа до 0.4 МПа. Экспериментальные данные показали, что амплитуда пульсаций давления в каверне, отнесенная к давлению напора, уменьшается с ростом напора, однако имеет тенденцию к выходу на горизонтальную асимптоту, что хорошо согласуется с результатами теоретических расчетов.

Литература

1. Прокофьев В.В. Использование кавитационных автоколебательных режимов для генерации периодических импульсных струй / В.В. Прокофьев, С.А. Очеретяный, Е.А. Яковлев // ПМТФ. 2021. Т. 62. №1. С. 97–108.
2. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокой скорости и их применение: монография / под общ. ред. Семко А.Н. – Донецк: ДонНУ. 2014. – 370 с.

MULTI-AGENT COVERAGE CONTROL AND ITS APPLICATIONS TO FLOOD MONITORING

Fidelia Siri¹, Yang Bai² and Mikhail Svinin³

^{1,3} *College of Information Science and Engineering,
Ritsumeikan University, Japan*

² *Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan*

³ svinin@fc.ritsumei.ac.jp

This paper deals with utilizing multiple aerial robots to monitor a dynamically changing flood area. The problem requires developing a control strategy for the robots such that the motion of the complete flood area can be caged, tracked, and covered. The strategy consists of two stages: a caging stage and a covering stage. Correspondingly, the robots are divided into two groups: one for caging, referring to as the boundary drones; the other for covering, referring as the inner drones. In the caging stage, boundary drones are uniformly distributed along the edge of the dynamic flood area, tracking its propagation with the use of a vision-based controller (based on the image segmentation).

In the covering stage, inner drones are allocated in the interior region of the flood zone, achieving an optimal coverage efficiency. An optimal configuration of the robots is generated with the use of Voronoi diagram over the coverage area, which maximizes the coverage efficiency by driving agents to the centroids in corresponding Voronoi cells. The construction of the Voronoi diagram takes into account possible obstacles. The relative importance of the region points is modeled by (possibly multiple) density functions. To address both adaptiveness and stability of the coverage control, a function approximation-based coverage controller has been developed. The asymptotic stability of the controller was established, and its validity was demonstrated by simulations in ROS/Gazebo programming environment.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАКЕТА ИОНОЛЕТА В ВОЗДУХЕ И ВАКУУМЕ

Г.М. Сорокин¹, А.И. Никитин²

^{1,2} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ gensorokmich@mail.ru, ² filialmadi@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы разработки и создания модели макета ионолета, который движется в воздухе и в вакууме не за счет органического сгорания топлива. В нашей модели используется эффект Биффельда–Брауна [1, 2].

Основой разрабатываемой конструкции является несимметричный конденсатор, состоящий из двух электродов, подключенных к источнику высокого напряжения. Эффект заключается в том, что несимметричный конденсатор при подаче высокого постоянного напряжения перемещается в сторону положительного полюса и сохраняет это движение, пока не разрядится.

В нашей работе обсуждаются эксперименты по изготовлению макета ионолета, его характеристики при движении как в воздухе при нормальных атмосферных условиях, так и в вакуумной камере при давлениях меньшем атмосферного.

Анализируя результаты наших опытов при разных условиях, мы остановились на том, что для объяснения полета макета ионолета могут быть привлечены различные гипотезы, которые обсуждаются в докладе.

Литература

1. <http://www.soteria.com/broun>. Описания патентов Брауна.
2. Лемешко А.В. Ещё об эффекте Биффельда–Брауна / А.В. Лемешко. – М.: Знание, серия «Знак вопроса», 2000. № 4. – 131 с.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ АЭРОДИНАМИКИ ПРОФИЛЕЙ ЖУКОВСКОГО

А.Д. Сухов^{1,2}, А.Г. Петров¹

¹ *ИПМ РАН, Москва, Россия,* ² *МФТИ, Москва, Россия*

¹ sukhov.ad@phystech.edu, ² petrovipmech@gmail.com

Исследование течений с отрывом вокруг цилиндров плоским ламинарным течением вязкой жидкости проводится с начала 20 века. Традиционно использовалась теория пограничного слоя Прандтля, а также теория подобия для приближенного решения уравнений. В монографии [1] дан большой обзор таких исследований различных контуров, в том числе профилей Жуковского, для которых точки отрыва рассчитываются методом Кармана–Пальгаузена, они проводились в основном немецкими учеными. Они предполагают, что точка отрыва получается из равенства касательного напряжения нулю, а циркуляция находится из взаимного равенства скоростей в точках отрыва. Значительный вклад в теорию методов пограничного слоя внесли Кочин и Лойцянский [2]. Доклад посвящен разработанной на основе упомянутых теорий модели для подсчета аэродинамических характеристик профилей [3] примененной к обобщенным профилям Жуковского.

Литература

1. Modern Development Fluid Dynamics. Vol. 2. / Ed. by S. Goldstein. Oxford University Press. 1950. – 702 p.
2. *Loitsyanskii L.G.* Mechanics of Liquids and Gases / L.G. Loitsyanskii. – Nauka, Moscow, 1973; Begell House, New York, 1996.
3. *Petrov A.G.* Laminar Flow of Viscous Fluid Around Elliptical Contours at an Angle of Attack / A.G. Petrov, A.D. Sukhov, I.N. Sibgatullin // *Lobachevskii Journal of Mathematics*. 2022. Vol. 43. No. 5. PP. 1184–1194.

СРАВНЕНИЕ СХЕМ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ

А.Г. Терентьев¹, А.Г. Петров², А.О. Казакова³

^{1,3} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

² ИПМ им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

¹ agterent@rambler.ru, ² petrovipmech@gmail.com,

³ kazakova_anastasia@bk.ru

Определение упругого равновесия в плоской задаче сводится к решению краевых задач для бигармонического уравнения. Наиболее точные результаты для произвольной области, в частности многосвязной, можно получить, используя методы граничных элементов. В настоящей работе предлагается сравнение двух схем метода граничных элементов для решения плоской задачи теории упругости в многосвязной области:

1. Численный алгоритм решения краевых задач для полигармонического уравнения, основанный на системе интегральных уравнений. Интегрирование ведется по прямолинейным отрезкам (граничные элементы) аналитически, и могут быть получены точные значения коэффициентов СЛАУ [1].

2. Алгоритм вывода аппроксимации интегральных уравнений линейной системой с учетом логарифмических особенностей ядер интегральных операторов. Используется периодичность функций, заданных на замкнутых граничных контурах. С ростом числа точек сетки погрешность аппроксимации убывает быстрее, чем шаг сетки в любой фиксированной степени [2].

Литература

1. *Терентьев А.Г.* Численное решение плоской задачи теории упругости в многосвязной области / А.Г. Терентьев, А.О. Казакова // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2016. № 2 (28). С. 35–48.

2. *Петров А.Г.* Алгоритм построения квадратурных формул с экспоненциальной сходимостью для линейных операторов, действующих на периодические функции / А.Г. Петров // Изв. вузов. Математика. 2021. № 2. С. 86–92.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИ СВЯЗАННЫХ ТЕЛ КРЫЛОВОГО ПРОФИЛЯ В ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧАХ ГИДРО- И ГАЗОДИНАМИКИ

А.А. Терентьев

ЧГУ им. И.Н. Ульянова, ООО «Энергоинновации»,

Чебоксары, Россия

taa2004@list.ru

Доклад посвящен исследованию нестационарного движения динамически взаимосвязанных тел крылового профиля в гидро- и газовых средах в рамках решения прикладных задач.

Динамически взаимосвязанные тела, образуют систему, гидро- и газодинамические свойства которой, принципиально отличаются от известных, таких как гребные винты, различного типа колеблющихся поверхностей (крылья, пластины и т.п.), т.е. систем в которых наличие одной и более, обтекаемых поверхностей, которые имеют жесткое соединение между собой (например, решетка крыльев, опять же гребные винты и пр.).

Данная динамическая система легла в основу при разработке гидродвигателя, представляющего собой разновидность плавникового движителя, в котором тяга возникает за счёт работы колеблющихся динамически взаимосвязанных поверхностей крылового профиля. Исследования показали, что в данном гидродвигателе работа колеблющихся поверхностей приводит к тому, что возникают присоединенные и свободные вихри, которые структурируют выходной поток, он становится прямолинейным и ускоренным.

Проведены сравнительные исследования данного движителя с движителями, в которых реализованы известные схемы плавниковых движителей.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОСАЖДАЮЩЕЙСЯ ДИСПЕРСНОЙ ВЗВЕСИ В ДВИЖУЩЕМСЯ ПОТОКЕ

Д.А. Тукмаков

ИММ КазНЦ РАН, Казань, Россия

tukmakovda@imm.knc.ru

В работе предоставлена математическая модель динамики осаждающейся дисперсной примеси в канале. Математическая модель основана на известных из литературы результатах [1-6]. Динамический процесс описывается как трехмерный и нестационарный. Рассмотрено влияние различных параметров моделируемого процесса на результаты расчетов.

Литература

1. *Алексеевский Н.И.* Изменение мутности воды на участках строительства переходов трубопроводов через реки / Н.И. Алексеевский, В.В. Иванов, Т.А. Федорова // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2010. № 4. С.42–57

2. *Наумов В.А.* Математическое моделирование распространения взвешенных примесей от точечного источника и их осаждения в водотоке / В.А. Наумов // Изв. КГТУ. 2017. № 44. С. 46–58.

3. *Лепихин А.П.* Оценка коэффициента Шези: традиция и современное состояние / А.П. Лепихин, А.В. Богомолов, М.П. Дальков // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2012. № 3. С. 57–77.

4. *Полянин А.Д.* Справочник по линейным уравнениям математической физики / А.Д. Полянин. – М.: Физматлит, 2001. – 576 с.

5. *Тукмаков Д.А.* Исследование влияния параметров математической модели двухмерной стационарной конвективной диффузии на расчеты концентрации осаждающихся твердых частиц в канале / Д.А. Тукмаков // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2022. № 2 (26). С. 31–41.

6. *Тукмаков Д.А.* Исследование загрязнения водотока взвесью с помощью стационарной двухмерной математической модели / Д.А. Тукмаков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2022. № 1 (45). С. 88–98.

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА МАСС ВЫСОКОМАНЕВРЕННОГО МОБИЛЬНОГО РОБОТА НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ КОЛЕС

В.А. Шестаков

ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

v.a.shestakov95@gmail.com

Развитие и применение мобильных роботов с роликонесущими колесами получает все большую популярность в различных сферах применения. При этом, часто рассматривается конструкция мобильного робота с тремя омниколесами [1, 2], гарантирующая постоянный контакт роликов колес с подстилающей поверхностью. Однако при повышенных требованиях к грузоподъемности используются конструкции с четырьмя и более колесами. В этом случае анализ сил реакций, действующих на колеса, усложняется, т.к. конструкция робота является статически неопределимой. Определено влияние положения центра масс мобильного робота с четырьмя колесами на возникновение проскальзывания колес. Зависимости опорных реакций определены с помощью введения дополнительного уравнения, описывающего условие деформации рамы. Проведено численное моделирование, в результате которого определены области допустимого положения центра масс для стационарного и нестационарного режимов движения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (FZZN-2020-0011).

Литература

1. *Мартынченко Ю.Г.* Устойчивость стационарных движений мобильного робота с роликонесущими колесами и смещенным центром масс / Ю.Г. Мартыненко // ПММ. 2010. Т. 74. № 4. С. 610–619.

2. *Mamaev I.S.* Criteria of motion without slipping for an omnidirectional mobile robot / I.S. Mamaev, A.A. Kilin, Yu.L. Karavaev, V.A. Shestakov // Russian Journal of Nonlinear Dynamics. 2021. Vol. 17. No. 4. PP. 527–546.

ЗАДАЧИ НА ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В КЛАСТЕРНЫХ ОЛИМПИАДАХ ЧУВАШСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.К. Ярдухин¹, С.А. Ярдухина²

^{1,2} ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

¹ a-yardukhin@yandex.ru, ² s-yard@mail.ru

С 2017 года Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова проводит ряд межпредметных олимпиад по математике, физике и информатике, поддержанных промышленными предприятиями региона. Ведущие предприятия электротехнической отрасли республики заключили договора о сотрудничестве с университетом. В рамках этого сотрудничества для привлечения и развития талантливых кадров была предложена система профессионально направленных турниров и конкурсов для школьников [1].

В статье приводятся классификация и примеры заданий, наиболее точно отражающих структуру и содержание профильной математической составляющей кластерных олимпиад. Особое внимание уделяется заданиям, в которых требуется смоделировать реальные ситуации на языке алгебры, составлять уравнения и неравенства по условию задачи и исследовать построенные модели с использованием аппарата алгебры, геометрии, теории вероятностей и теории графов.

Подбор математических задач, удовлетворяющих требованиям к подготовке будущего инженера электротехнического кластера, помогает сориентировать учащихся образовательных учреждений на выбор направления продолжения образования, выявить у учащихся творческие способности, поддержать интерес к научно-исследовательской деятельности, создать необходимые условия для поддержки одарённых детей.

Литература

1. *Троешестова Д.А.* Олимпиадное движение в системе партнерства школа-вуз-предприятие / Д.А. Троешестова // Высшее образование в России. 2018. Т. 27. № 12. С. 116–125.

Оглавление

Нейронные сети – методологическая основа генома материалов <i>Абруков В.С., Ануфриева Д.А., Данилов Е.В.</i>	6
Планирование спроса электроэнергии в Чувашии <i>Авдеева Е.В., Бобин Д.В., Ефимова Е.Г., Казакова А.О.</i>	7
Задача Маркова–Дубинса с управлением на треугольнике <i>Ардентов А.А.</i>	8
Движение твердых тел в поле точечной особенности <i>Артемова Е.М., Ветчанин Е.В.</i>	9
Движение эллиптического профиля в поле неподвижной особенности <i>Артемова Е.М., Лагунов Д.А.</i>	10
Сравнительный анализ подходов к изучению движения вихрей <i>Артемова Е.М., Солодянкин Д.А.</i>	11
Динамика сферической оболочки с подвижным твердым телом внутри <i>Бизяев И.А., Бердникова А.С.</i>	12
Особенности применения волновых движителей на судне с малой площадью сечения по ватерлинии <i>Бойко А.В., Прокофьев В.В., Архангельский Е.А.</i>	13
Проблемы масштабного эффекта при создании гребных винтов сложной геометрии <i>Вишневецкий Л.И., Орлов О.П.</i>	15
О разрывном условии пластичности в задаче Прандтля <i>Володина Е.В., Сироткина М.Е.</i>	17
Численное исследование плазменных вихревых структур в условиях сильного внешнего магнитного поля <i>Воронина Е.А., Кузенов В.В., Рыжков С.В., Секачѳва М.Д.</i>	18
Обратная задача кавитационного обтекания гидропрофиля по схеме Ву <i>Газизова С.Е., Маклаков Д.В.</i>	19
Схемотехническая реализация модели репрессиллятора <i>Дорошенко В.М., Станкевич Н.В., Евсеев Д.А.</i>	20
Моделирование движения надводных самоходных моделей <i>Ерошин В.А., Бойко А.В.</i>	21

Экспериментальное исследование динамики движения мобильного трехзвенного робота со свободно вращающимися колесами <i>Ефремов К.С.</i>	23
Нейросетевое управление движением мобильного робота с дифференциальным приводом <i>Звонарев И.С., Караваев Ю.Л.</i>	24
Об устойчивом вычислении псевдорешений и меры несовместности систем линейных уравнений с приближенными данными <i>Иваницкий А.Ю., Василькова М.В., Киселев М.В., Ежов В.В.</i>	25
Исследование качения динамически симметричного шарового волчка с одной неголономной связью <i>Иванова Т.Б., Килин А.А.</i>	26
Экспериментальные исследования качения тел по основанию, совершающему колебания <i>Караваев Ю.Л.</i>	27
Управление водными роботами за счет периодического вращения внутреннего ротора <i>Клековкин А.В., Караваев Ю.Л., Мамаев И.С.</i>	28
Исследование движения глайдера дискообразной формы в стратифицированной жидкости <i>Коваль К.А., Сухоруков А.Л.</i>	29
Разработка специальной процедуры поиска опорных базисных решений в задачах линейного программирования <i>Краснов В.К., Львова М.В.</i>	30
Гидродинамика пламен на капиллярных горелках <i>Ксенофонтов С.И., Васильева О.В., Лепавев А.Н.</i>	31
Задача быстрогодействия на группе движений плоскости с управлением в секторе <i>Маштаков А.П., Сачков Ю.Л.</i>	32
Хаотические явления в плоской гидродинамической задаче для эксцентрического кольца <i>Микишианина Е.А.</i>	33
Динамика систем с сервосвязями <i>Микишианина Е.А.</i>	34

О представлении решения гармонического и бигармонического уравнений в алгебрах Клиффорда <i>Мочалов В.В.</i>	35
Оценка динамики состояния объекта на основе многомерных временных рядов <i>Никитин В.В., Бобин Д.В.</i>	36
Высокоточные численные схемы метода граничных элементов и их применение для решения задач гидродинамики со свободной границей <i>Петров А.Г.</i>	37
Исследование динамики омнидиска с одной неголономной связью <i>Пивоварова Е.Н., Килин А.А.</i>	39
Динамика однородного шара на поверхности вращения <i>Пивоварова Е.Н., Петрова Ю.А.</i>	40
Математическое исследование влияния конструктивных особенностей радиолокационной системы на ее характеристики и управление <i>Пичугин В.Н., Тюрюшова Е.Р.</i>	41
Алгоритм управления движением колёсного робота с учётом препятствий <i>Платонов П.С.</i>	42
Лоренцевы задачи на универсальной накрывающей специальной линейной группы <i>Подобряев А.В.</i>	43
Модифицированная схема ракетного двигателя с внешним тягово-охлаждительным контуром <i>Полянский А.Г.</i>	44
Модели фильтрации в фиксированных трубках тока в задачах разработки нефтяных пластов <i>Поташев К.А., Мазо А.Б.</i>	45
Использование режима кавитационных автоколебаний для создания генератора импульсных струй <i>Прокофьев В.В., Очеретяный С.А.</i>	46
Multi-agent coverage control and its applications to flood monitoring <i>Siri Fidelia, Bai Yang and Svinin Mikhail</i>	48

Исследование движения макета ионолета в воздухе и вакууме <i>Сорокин Г.М., Никитин А.И.</i>	49
Аналитические и численные методы определения коэффициентов аэродинамики профилей Жуковского <i>Сухов А.Д., Петров А.Г.</i>	50
Сравнение схем метода граничных элементов для решения плоских задач теории упругости <i>Терентьев А.Г., Петров А.Г., Казакова А.О.</i>	51
Исследование нестационарного движения динамически связанных тел крылового профиля в прикладных задачах гидро- и газодинамики <i>Терентьев А.А.</i>	52
Теоретическое исследование распределения концентрации осаждающейся дисперсной взвеси в движущемся потоке <i>Тукмаков Д.А.</i>	53
Влияние положения центра масс высокоманевренного мобильного робота на возникновение проскальзывания колес <i>Шестаков В.А.</i>	54
Задачи на построение и исследование математических моделей в кластерных олимпиадах Чувашского университета <i>Ярдухин А.К., Ярдухина С.А.</i>	55

Научное издание

ГИДРОДИНАМИКА БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ
И КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ

Тезисы докладов
XIII Международной летней
научной школы-конференции,
посвященной 160-летию со дня рождения
академика А.Н. Крылова
21–23 июня 2023 г., Чебоксары

Отв. за выпуск Е.Г. Ефимова
Вёрстка А.К. Ярдухина

Согласно Закону № 436-ФЗ от 29 декабря 2010 года
данная продукция не подлежит маркировке

Подписано в печать 15.06.2023. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл. печ. л. 3,48. Уч.-изд. л. 3,3.
Тираж 100 экз. Заказ № 702.

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Типография университета
428015 Чебоксары, Московский просп., 15